



UNIVERSIDAD  
DE ALMERÍA

**“NUEVAS PERSPECTIVAS PARA EL ENTRENAMIENTO DE LA  
CAPACIDAD DE ACELERACIÓN: EFECTIVIDAD DEL TRABAJO  
ESPECÍFICO SOBRE LAS VARIABLES MECÁNICAS DEL SPRINT”**

Almería, Diciembre de 2022



**NUEVAS PERSPECTIVAS PARA EL ENTRENAMIENTO DE LA  
CAPACIDAD DE ACELERACIÓN: EFECTIVIDAD DEL TRABAJO  
ESPECÍFICO SOBRE LAS VARIABLES MECÁNICAS DEL SPRINT**

*New perspectives on acceleration capacity training: Effectiveness of specific training  
on the sprint mechanical variables*

**Autor: Fernando Capelo Ramírez**

Director: Dr. D. Pedro Jiménez-Reyes

Co-director y tutor: Dr. D. Manuel Antonio Rodríguez Pérez

Doctorado en Educación

Especialidad Motricidad, Actividad física y/o Educación, Universidad de Almería



Los directores de la tesis “Nuevas perspectivas para el entrenamiento de la capacidad de aceleración: Efectividad del trabajo específico sobre las variables mecánicas del sprint.” / *the thesis “new Perspectives on acceleration capacity training: Effectiveness of specific training on the sprint mechanical variables” supervisors: : Dr. Pedro Jiménez Reyes y Dr. Manuel Antonio Rodríguez Pérez.*

Realizan la presente declaración jurada de los directores de la tesis de que los coautores de los documentos científicos, en su caso, aceptan la utilización de los mismos como material incluido en la tesis doctoral, así como que han sido advertidos de que estos no pueden presentarse como parte o aval de otra u otras tesis doctorales.

This is an official affidavit from the directors of the thesis that the co-authors of the scientific, if any, agree to their use as material included in the doctoral thesis, and that they have been advised that they cannot be presented as part or endorsement of one or more other doctoral theses.

Almería, 2 de noviembre del 2022

Director de la tesis / Thesis  
supervisor

Director de la tesis /  
Thesis supervisor

Manuel Antonio Rodríguez  
Pérez

Pedro Jiménez Reyes



# **AGRADECIMIENTOS**





## **AGRADECIMIENTOS**

Quiero empezar por dar valor a las personas que durante estos años me han ayudado, aconsejado, dirigido, animado, soportado y empujado a acabar este proyecto tan bonito y tan duro a nivel físico y mental. Una vez terminado, se hace muy evidente que sin estas personas yo no podría haber acabado esta Tesis Doctoral. Primero me gustaría agradecer a mis padres y hermano por estar ahí y preguntarme millones de veces “¿Cómo va a la tesis?”. Sé que ha sido duro para vosotros aguantarme, pero me habéis dado ánimos y ayudado para terminar este viaje.

Otro pilar importante ha sido mi pareja, María, cuantas veces me has animado y has estado siempre cerca para que cuando no tenía fuerzas, me hacías ver que con un empujón más se terminaba. Esos empujones morales han hecho que yo pueda estar presentando este trabajo. Estoy muy contento de haber compartido todas estas experiencias contigo, nunca podré estar completamente agradecido a todo el esfuerzo que has realizado. Te quiero.

También agradecer todos los entrenadores y atletas de Almería, Murcia y Barcelona que han participado y nos han dejado trabajar con ellos.

A mi compañero y ante todo amigo, Adrián Castaño Zambudio por compartir este camino que yo termino, y espero que algún día tú también.

Y por último, a mis tutores Pedro Jiménez Reyes y Manuel Rodríguez, por no dejarme abandonar y estar en los momentos más difíciles. Personas como vosotros, que siempre transmiten ilusión y energías por esta ciencia tan bonita, hacen que cada vez más alumnos y alumnas se dispongan a emprender este camino.



# ÍNDICE



# ÍNDICE

<b>LISTA DE ABREVIATURAS</b>	15
<b>RESUMEN</b>	19
<b>1. INTRODUCCIÓN</b>	31
Introducción a la carrera de velocidad	31
Fases del sprint	33
Fases de vuelo y apoyo	37
Frecuencia vs amplitud	40
Musculatura implicada durante el sprint	43
Aplicación de fuerzas durante el sprint. GRF, RF y DRF.	45
Perfil F-v	55
Entrenamiento para la mejora del sprint	61
Variables F0 y RF	66
Variable Pmax	69
Variables v0 y DRF	71
<b>2. JUSTIFICACIÓN</b>	75
<b>3. HIPÓTESIS</b>	79
<b>4. OBJETIVOS</b>	83
<b>5. METODOLOGÍA</b>	87
<b>ESTUDIO I. ENTRENAMIENTO DE LA MÁXIMA POTENCIA A TRAVÉS DE LA CARGA ÓPTIMA DE ARRASTRE DEL SPRINT EN ATLETAS DE ÉLITE</b>	87
Diseño	87
Muestra	87
Variables	88
Procedimiento	89
Tests	91
Instrumentos de medida	96
Análisis de datos	96
<b>ESTUDIO II. CINÉTICA DE ADAPTACIÓN INDIVIDUAL DESPUÉS DE UN ENTRENAMIENTO DE ARRASTRES PESADOS EN SPRINT</b>	100
Diseño	100
Muestra	100
Variables	101
Procedimiento	102
Tests	105

Instrumentos de medida	108
Análisis de datos	109
<b>ESTUDIO III. CINÉTICA DE ADAPTACIÓN INDIVIDUAL AL ENTRENAMIENTO DE ARRASTRES DURANTE VARIAS TEMPORADAS EN UN ATLETA DE ALTO NIVEL</b>	<b>112</b>
Diseño	112
Muestra	112
Variables	113
Procedimiento	114
Tests	116
Instrumentos de medida	120
Análisis de datos	121
<b>4. RESULTADOS</b>	<b>127</b>
<b>ESTUDIO I. ENTRENAMIENTO DE LA MÁXIMA POTENCIA A TRAVÉS DE LA CARGA ÓPTIMA DE ARRASTRE DEL SPRINT EN ATLETAS DE ÉLITE</b>	<b>127</b>
Gráficas pre-post por variables	129
Gráficas pre-post por variables y género	133
<b>ESTUDIO II. CINÉTICA DE ADAPTACIÓN INDIVIDUAL DESPUÉS DE UN ENTRENAMIENTO DE ARRASTRES PESADOS EN SPRINT</b>	<b>141</b>
Gráficas de resultados con toda la muestra	144
Gráficas de resultados por género	146
<b>ESTUDIO III. CINÉTICA DE ADAPTACIÓN INDIVIDUAL AL ENTRENAMIENTO DE ARRASTRES DURANTE VARIAS TEMPORADAS EN UN ATLETA DE ALTO NIVEL</b>	<b>151</b>
Gráficas de cada temporada en aire libre y pista cubierta	156
Gráficas pre pista cubierta de todas las temporadas	159
Gráficas post pista cubierta de todas las temporadas	160
Gráficas pre aire libre de todas las temporadas	161
Gráfica post aire libre de todas las temporadas	162
<b>5. DISCUSIÓN</b>	<b>165</b>
<b>6. LIMITACIONES</b>	<b>177</b>
<b>7. FUTURAS LÍNEAS DE ESTUDIO</b>	<b>181</b>
<b>8. CONCLUSIONES</b>	<b>185</b>
<b>9. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b>	<b>189</b>
<b>10. LISTA DE FIGURAS</b>	<b>203</b>
<b>11. LISTA DE TABLAS</b>	<b>213</b>

# **LISTA DE ABREVIATURAS**





## LISTA DE ABREVIATURAS

ah, aceleración horizontal.

CM, centro de masas.

CM-h, centro de masas horizontal.

GRF, fuerzas de contacto con el suelo.

EMG, electromiografía.

ES, tamaño del efecto.

F, fuerza.

Faero, resistencia aerodinámica.

FH/Fh, fuerza horizontal.

F<sub>H</sub>, vector horizontal positivo.

FH0, fuerza horizontal máxima teórica.

F<sub>tot</sub>, fuerza total.

F-v, relación fuerza velocidad.

GSAC, complejo gastrocnemio-soleo-aquiles.

Hz, hercios.

HZT-F0. Fuerza máxima teórica (por unidad de masa corporal) en la dirección horizontal.

HZT-Pmax. Representa la potencia mecánica máxima de salida en la dirección horizontal, calculada como  $P_{max} = F_0 \times v_0/4$ .

HZT-V0. Representa la velocidad máxima teórica de carrera.

IMPH, impulso horizontal neto.

Lopt, carga óptima.

L10, carga que disminuye un 10% la velocidad máxima.

m, masa del cuerpo.

MC, masa corporal.

P, potencia.

Pmax, potencia máxima teórica.

RFD, desarrollo rápido de fuerza.

RF<sub>max</sub>, máximo ratio de fuerzas.

RF, ratio de fuerzas.

RM, repetición máxima.

RSA, capacidad para realizar sprints repetidos.

SD, desviación estándar.

SSC, sprint sin carga.

T5, tiempo en 5 metros.

T10, tiempo en 10 metros.

T30, tiempo en 30 metros.

v0, velocidad máxima teórica.

# **RESUMEN**



## RESUMEN

**Introducción:** Durante años se ha tenido la certeza que para que un atleta ganase la prueba de velocidad tenía que mover sus piernas muy rápido con el fin de aumentar la frecuencia de zancada y así alcanzar los niveles más altos de velocidad durante la fase de velocidad máxima. Pero recientemente y gracias a diversos estudios, se ha podido demostrar la importancia de la orientación en la aplicación de la fuerza durante los apoyos, siendo la fuerza horizontal un determinante en el rendimiento. Por ello, diversos factores han sido investigados con el fin de relacionar la importancia que tiene la aceleración en el rendimiento del sprint, con el fin de maximizar la transferencia entre el entrenamiento y el rendimiento específico del deporte. Para una mejor aceleración del sprint se ha comprobado que hace falta una mayor fuerza propulsora durante toda la fase de aceleración. Por este motivo, se destaca la importancia del desarrollo de la fuerza horizontal para mejorar el rendimiento individual de los atletas, siendo un parte importante la inclusión de los ejercicios que se concentran en la producción de fuerza en las orientaciones horizontales (como puede ser un entrenamiento de arrastres pesados), ya que pueden conducir a un mayor desarrollo de la velocidad. Utilizando la metodología basada en el Perfil F-v, se puede orientar los entrenamientos para incidir en el plano horizontal, viendo que el entrenamiento realizado bajo una determinada condición de carga de sprint resistida puede dar a lugar a adaptaciones específicas de la fase en el sprint.

**Objetivos:** (I) Determinar la carga óptima de arrastre para mejorar las variables determinantes de la aceleración temprana ( $F_0$ , RF y  $P_{max}$ ) en atletas de élite. (II) Analizar los efectos de un entrenamiento pesado de arrastres y su influencia en las variables claves del rendimiento en sprint durante las 3 semanas siguientes a su finalización. (III) Analizar cómo varían las variables mecánicas del sprint durante una temporada entera de un atleta de élite.

**Metodología:** (I) Treinta y seis hombres y nueve mujeres entrenados como velocistas fueron sometidos a una evaluación de su rendimiento en sprints de 30 m y de sus rendimientos mecánicos una semana antes (PRE) y después (POST) de un bloque de entrenamiento de 10 semanas (10 repeticiones de sprints resistidos de 20 m con la carga asociada al pico de su relación velocidad-potencia: es decir,  $90 \pm 10$  % de masa corporal en promedio (rango: 75-112 %)). (II) Trece hombres y nueve mujeres entrenados como

velocistas fueron sometidos a una evaluación de su rendimiento en sprints de 30 m y de sus rendimientos mecánicos una semana antes (PRE), y una (POST, S1), dos (S2), tres (S3) y cuatro (S4) semanas después de un bloque de entrenamiento de 10 semanas (10 repeticiones de sprints resistidos de 20 m con la carga asociada al óptimo de su relación velocidad-potencia: es decir,  $90 \pm 10$  % de masa corporal en promedio (rango: 75-112 %)). (III) Se hizo un seguimiento a un hombre de nivel competitivo internacional mediante la evaluación de su rendimiento durante diferentes tramos de la temporada (PRE-POST pista cubierta y PRE-POST aire libre) examinando su rendimiento mediante esprints de 30 m y de esprints resistidos de 20 m con la carga asociada al pico de su relación velocidad-potencia: es decir,  $90 \pm 10$  % de masa corporal en promedio (rango: 75-112 %).

**Resultados:** (I) Las variables F0 (porcentaje de cambio de  $2.91 \pm 10.41$ ), Pmax (porcentaje de cambio de  $4.67 \pm 12.31$ ), RFmax (porcentaje de cambio de  $2.06 \pm 9.52$ ) y los tiempos en los esprints de 5 (porcentaje de cambio de  $-1.49 \pm 4.08$ ), 10 (porcentaje de cambio de  $-1.59 \pm 4.18$ ) y 20 metros (porcentaje de cambio de  $-3.58 \pm 2.08$ ) tienen una inferencia pequeña. (II) Las variables F0 (porcentaje de cambio de  $5.41 \pm 6.96$ ), Pmax (porcentaje de cambio de  $5.39 \pm 5.87$ ), RFmax (porcentaje de cambio de  $3.19 \pm 3.69$ ), Sfv (porcentaje de cambio de  $8.45 \pm 12.45$ ), Drf (porcentaje de cambio de  $-0.52 \pm 7.78$ ) y los tiempos en los esprints de 5 (porcentaje de cambio de  $-2.11 \pm 2.38$ ), 10 (porcentaje de cambio de  $-1.82 \pm 2.22$ ) y 30 metros (porcentaje de cambio de  $-1.36 \pm 3.53$ ) tienen una inferencia pequeña cuando se comparan Pre-Post. En cambio, cuando se realizó la comparación Pre-Pico, se observaron unos cambios moderados en las variables F0 (porcentaje de cambio de  $9.89 \pm 6.06$ ), RFmax (porcentaje de cambio de  $5.46 \pm 2.91$ ) y Sfv (porcentaje de cambio de  $13.98 \pm 11.94$ ). (III) Los resultados más destacados se observan al comparar la primera temporada y la última en pista cubierta, siendo los porcentajes de cambio en la F0, la v0 y la Pmax de -1,62, 13,44, 5,31 y 21,03 respectivamente. Por otro lado, cuando se observan los porcentajes de pérdida, en la transición de la temporada 16/17 a 17/18, se ve que la F0 disminuye un 1,22%, la v0 un 0,66% y por último, la Pmax disminuye un 1,72%. En cuanto al cambio de temporada 17/18 a 18/19, se ven unas disminuciones de un 0,46%, 0,76% y 1,41% en la F0, v0 y Pmax respectivamente.

**Conclusiones:** Los protocolos de arrastre individualizado para el desarrollo de la máxima potencia pueden ser un método válido y específico para que atletas y/o deportistas puedan

desarrollar y mejorar sus capacidades en la fase de aceleración temprana. Para ello y teniendo en cuenta que estos métodos provocan una gran fatiga en el/la atleta, se debe programar este tipo de protocolos sabiendo que el pico de rendimiento no será inmediato y que se trasladará a las semanas posteriores de la extinción del mismo.

**Palabras clave:** aceleración, fuerza horizontal, entrenamiento, arrastres pesados, seguimiento, desentrenamiento.





# **ABSTRACT**



## ABSTRACT

**Introduction:** For years it has been known that for an athlete to win the speed test he had to move his legs very fast in order to increase the stride frequency and thus reach the highest levels of speed during the maximum speed phase. But recently and thanks to several studies, it has been possible to demonstrate the importance of the orientation in the application of force during the supports, being the horizontal force a determinant in the performance. Therefore, several factors have been investigated in order to relate the importance of acceleration in sprint performance, in order to maximize the transfer between training and sport-specific performance. For better sprint acceleration, it has been shown that greater propulsive force is required throughout the acceleration phase. For this reason, the importance of horizontal force development to improve individual athlete performance is highlighted, with an important part being the inclusion of exercises that focus on force production in horizontal orientations (such as heavy sled training), as they can lead to greater speed development. Using the methodology based on the F-v Profile, training can be targeted to impact the horizontal plane, seeing that training performed under a given resisted sprint load condition can lead to phase-specific adaptations in sprinting.

**Objectives:** (I) To determine the optimal drag load to improve early acceleration determinants ( $F_0$ , RF and  $P_{max}$ ) in elite athletes. (II) To analyze the effects of heavy drag training and its influence on key sprint performance variables during the 3 weeks following its completion. (III) To analyze how sprint mechanical variables vary during an elite athlete's entire season.

**Methods:** (I) Thirteen male and nine female trained sprinters had their 30-m sprint performance and mechanical outputs assessed one week before (PRE), and one (POST, W1), two (W2), three (W3) and four (W4) weeks after a 10-week training block (10 repetitions of 20-m resisted sprints at the load associated to the apex of their velocity-power relationship: i.e.  $90 \pm 10$  % body mass on average (range: 75-112 %)). (II) Thirty-six male and nine female trained sprinters had their 30-m sprint performance and mechanical outputs assessed one week before (PRE), and after (POST), after a 10-week training block (10 repetitions of 20-m resisted sprints at the load associated to the apex of their velocity-power relationship: i.e.  $90 \pm 10$  % body mass on average (range: 75-112

%). (III) An international competitive level man was followed up by evaluating his performance during different stretches of the season (PRE-POST indoor and PRE-POST outdoor) by examining his performance using 30 m sprints and 20 m resisted sprints with the load associated with the peak of his speed-power ratio: i.e.  $90 \pm 10$  % of body mass on average (range: 75-112 %).

**Results:** (I) The variables F0 (percentage change of  $2.91 \pm 10.41$ ), Pmax (percentage change of  $4.67 \pm 12.31$ ), RFmax (percentage change of  $2.06 \pm 9.52$ ) and the times in the sprints of 5 (percentage change of  $-1.49 \pm 4.08$ ), 10 (percent change of  $-1.59 \pm 4.18$ ) and 20 meters (percent change of  $-3.58 \pm 2.08$ ) have small inference. (II) The variables F0 (percent change of  $5.41 \pm 6.96$ ), Pmax (percent change of  $5.39 \pm 5.87$ ), RFmax (percent change of  $3.19 \pm 3.69$ ), Sfv (percent change of  $8.45 \pm 12.45$ ), Drf (percent change of  $-0.52 \pm 7.78$ ) and times in the 5 (percent change of  $-2.11 \pm 2.38$ ), 10 (percent change of  $-1.82 \pm 2.22$ ) and 30 meter sprints (percent change of  $-1.36 \pm 3.53$ ) have small inference when compared Pre-Post. In contrast, when comparing Pre-Peak, moderate changes were observed in the variables F0 (percentage change of  $9.89 \pm 6.06$ ), RFmax (percentage change of  $5.46 \pm 2.91$ ) and Sfv (percentage change of  $13.98 \pm 11.94$ ). (III) The most outstanding results are observed when comparing the first season and the last indoor season, with the percentages of change in F0, v0 and Pmax being -1.62, 13.44, 5.31 and 21.03 respectively. On the other hand, when looking at the percentages of loss, in the transition from the 16/17 to the 17/18 season, it is seen that the F0 decreases by 1.22%, the v0 by 0.66% and finally, the Pmax decreases by 1.72%. As for the change from 17/18 to 18/19 season, we see decreases of 0.46%, 0.76% and 1.41% in F0, v0 and Pmax respectively.

**Conclusions:** Individualized sled training protocols for the development of maximum power can be a valid and specific method for athletes and/or sportsmen and women to develop and improve their abilities in the early acceleration phase. For this purpose and taking into account that these methods cause great fatigue in the athlete, this type of protocols should be programmed knowing that the peak performance will not be immediate and that it will be transferred to the following weeks of the extinction of the same.

**Key words:** *acceleration, horizontal force, training, heavy sled, follow-up, detraining.*

# **INTRODUCCIÓN**



## **1. INTRODUCCIÓN**

### **Introducción a la carrera de velocidad**

Correr es una actividad que nos acompaña desde hace mucho tiempo, siendo una de las acciones que más ha caracterizado a la raza humana. Además, como muchas otras acciones cotidianas, el ser humano ha ido adaptándola dependiendo de los momentos históricos por los que ha pasado. Por lo tanto, de ser una acción fundamental para la supervivencia de la especie, ha pasado a ser una acción con la que los seres humanos pueden medir sus capacidades. En este sentido, existen diferentes modalidades de carrera, pero una de ellas que por su espectacularidad y corta duración atrae la atención del público en las olimpiadas. Estamos hablando de la carrera de velocidad o sprint.

El sprint es una de las acciones físicas más recurrentes en los deportes, y es considerada la acción más rápida de desplazamiento del ser humano. Tanto en deportes de equipo como en deportes individuales, ser el más rápido proporciona una ventaja en el desarrollo de la acción de juego o tener éxito en una prueba (100 y 200 metros por ejemplo). En la carrera de 100 metros un incremento en la fase de aceleración tiene un efecto inmediato en el resultado de la carrera. Incluso en carreras de larga distancia, muchas carreras se deciden en un final de sprint. Por lo tanto, una mejor comprensión de la mecánica de la carrera acelerada podría ayudar a mejorar el rendimiento de un atleta (Kugler & Janshen, 2010; Morin, Slawinski, et al., 2015). En este sentido, tener una alta capacidad de aceleración es crucial no solo en deportes donde la carrera en línea recta (100m), también una gran parte de los deportes más populares contienen algún tipo de acción que requiere un sprint, siendo en alguno de ellos una parte principal del juego ya que puede aparecer en situaciones decisivas del mismo (Colyer, Nagahara, Takai, & Salo, 2018; Cross, Lahti, et al., 2018; Simperingham, Cronin, & Ross, 2016). Debido a que se tiene el mismo objetivo en su fase inicial (es decir, recorrer la mayor cantidad de distancia en el menor tiempo posible), los estudios también se han centrado en cómo mejorar el sprint en deportes de equipo donde esta acción da con mucha frecuencia y en diferentes fases del juego (fútbol y rugby) (Wild, Bezodis, North, & Bezodis, 2018). Además, se ha establecido que en estos deportes la media de distancia durante una carrera es de 20 metros (Cross, Lahti, et al., 2018; Faude, Koch, & Meyer, 2012; Gabbett, 2012), y como consecuencia, el deportista no llega a alcanzar en la mayoría de ocasiones la velocidad

máxima. Este dato reafirma la importancia de la aceleración durante el sprint como un factor a tener en cuenta en el éxito de una acción deportiva.

En el plano del atletismo, la denominación de velocidad se atribuye a diferentes pruebas, compuestas por las distancias de 100, 200, 400 y 4x400. A estas se les puede añadir la distancia de 60 metros característica de competiciones en pista cubierta. Aunque el evento deportivo por excelencia donde se puede observar un sprint en todo su esplendor es en el evento de los 100 metros, donde el atleta puede desarrollar la máxima velocidad que un humano puede alcanzar, y en esta prueba se determina al "humano más rápido del mundo" durante un determinado periodo de tiempo (Morin et al., 2012).

Debido a que el rendimiento deportivo ha evolucionado a lo largo de estos años y ha aumentado la profesionalización en el deporte, cada vez existen más estudios con el fin de que el atleta alcance un rendimiento óptimo en una prueba deportiva. La carrera de velocidad de 100 metros se caracteriza por una salida de tacos, partiendo el atleta de una posición inicial de agachado. Las salidas de esta prueba han ido evolucionando a lo largo de los años, donde al principio cada atleta buscaba la mejor posición inicial hasta que se introdujo la salida de tacos. Esta prueba está caracterizada por una salida agachada, por lo tanto la primera fase de aceleración, debido a las fuerzas propulsoras que se producen en ella, está considerada como fundamental para el posterior éxito deportivo (Nagahara, Mizutani, Matsuo, Kanehisa, & Fukunaga, 2017).

Durante años se ha tenido la certeza que para que un atleta ganase la prueba de velocidad tenía que mover sus piernas muy rápido con el fin de aumentar la frecuencia de zancada y así alcanzar los niveles más altos de velocidad durante la fase de velocidad máxima. Pero recientemente y gracias a diversos estudios, se ha podido demostrar que la importancia no radica en cuán rápido eres moviendo tus piernas y aumentando tu frecuencia de apoyos, sino en qué orientación aplicas la fuerza durante los apoyos, siendo la fuerza horizontal un determinante en el rendimiento (Morin et al., 2012; Morin, Slawinski, et al., 2015).

Por ello, muchos factores han sido investigados con el fin de relacionar la importancia que tiene la aceleración en el rendimiento del sprint con el fin de maximizar la transferencia entre el entrenamiento y el rendimiento específico del deporte (Cross, Lahti,



et al., 2018). Alguno de estos parámetros son la frecuencia y amplitud de los apoyos, el tiempo de vuelo y el tiempo de contacto, los ángulos de las articulaciones, las fuerzas de contacto con el suelo (GRF), la rigidez o *stiffness* y la implicación muscular mediante la electromiografía (EMG) (Turner & Comfort, 2017).

### **Fases del sprint**

Numerosos autores defienden que la carrera de velocidad no es tan simple como pueda parecer, sino que es una habilidad multidimensional que está compuesta de diferentes fases. Además, cada una de estas fases tiene un papel fundamental para lograr el éxito deportivo y exigen al atleta que las desarrolle de forma óptima para conseguirlo. Se establece que en un sprint de 100 metros aparecen 3 fases diferenciadas, siendo estas la fase de aceleración, fase de velocidad constante; donde se alcanza la máxima velocidad; y fase de deceleración (Mero, Komi, & Gregor, 1992). Pero además, otros autores añaden que la carrera de velocidad también puede ser dividida en aceleración temprana, aceleración y máxima velocidad (Nagahara et al., 2017). En este sentido, otros autores establecieron que la fase de aceleración estaba dividida en dos, fase de aceleración inicial y fase de transición (Delecluse et al., 1995).

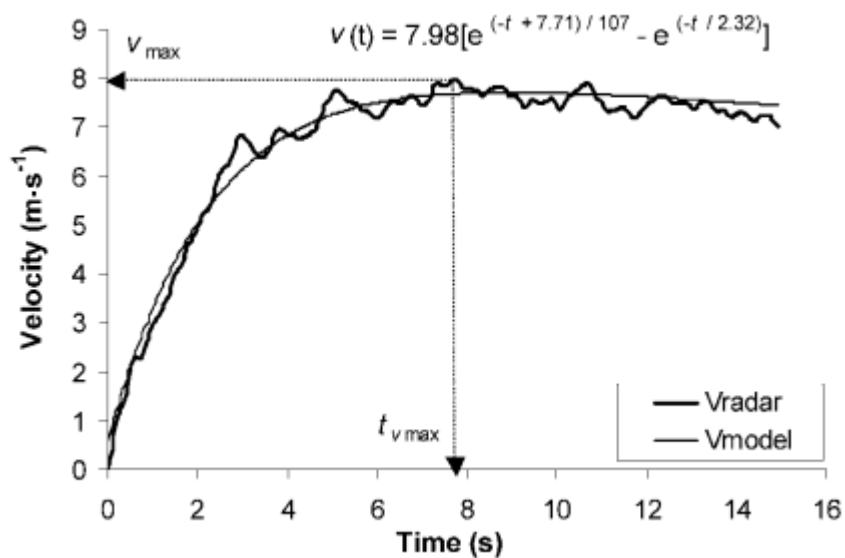
Siguiendo con las descripciones aportadas por diferentes autores Petrakos, Morin, and Egan (2016), especifican que existen diferentes fases del sprint, siendo la primera la fase de aceleración, que se define como el punto de cambio de la velocidad de carrera. En esta fase se produce una aceleración lineal positiva que provoca un incremento en la velocidad del sprint. A continuación pasamos a la fase de velocidad máxima, que es en la que se consigue la máxima velocidad de sprint y además, la aceleración es cercana a cero. Estos autores consideran la importancia de la mejora del rendimiento en estas dos fases con el fin de obtener el mejor resultado posible en la competición deportiva.

En la Figura 1 se puede observar una curva velocidad-tiempo obtenida mediante un radar y que está siendo utilizada en numerosos estudios (Morin, Jeannin, Chevallier, & Belli, 2006). En esta curva típica de un sprint se puede observar las distintas fases, donde aparece la fase de aceleración, transición y máxima velocidad que en el ejemplo que representado en la figura llega a alcanzar los 7.98m/s-1. De esta forma se observa detalladamente como en la fase de aceleración y transición la velocidad va aumentando a

medida que la aceleración va disminuyendo y cuando la velocidad es constante, la aceleración pasa a ser cero. Una vez alcanzada la velocidad máxima, el atleta tiene que tener la capacidad de frenar la pérdida de velocidad e intentar mantener esta para acabar la prueba. Por lo tanto, atletas que alcancen una velocidad máxima más tarde, aumentando el tiempo y distancia de las fases de aceleración, reducen la fase de mantenimiento/pérdida de velocidad. Esto se refleja en los estudios realizados donde atletas menos entrenados tienen una fase de aceleración más corta con respecto a atletas profesionales, siendo estos capaces de acelerar hasta distancias de 50-60 metros (Delecluse, 1997; Mero et al., 1992). De esta forma consiguen su velocidad máxima más tarde y así poder reducir la distancia en la cual van a perder velocidad. Esta descripción también coincide con la de otros autores donde explican que a medida que la velocidad de desplazamiento horizontal aumenta a través de la fase de aceleración, hay una tendencia los contactos de los apoyos contra el suelo disminuyen y el tiempo de vuelo aumenta. Además, en ese momento las fuerzas propulsoras van disminuyendo de forma constante a lo largo de la fase de aceleración y los impulsos de frenado negativos aumentan. En consecuencia, a medida que la aceleración progresa, se exhiben incrementos de velocidad de apoyos más bajos e inevitablemente los individuos alcanzarán una velocidad a la que ya no podrán generar un impulso neto positivo (Colyer, Nagahara, Takai, et al., 2018). Este logro de la velocidad máxima se produce típicamente a 30-50 m de la posición inicial en los velocistas, coincidiendo con los estudios anteriores.

### **Figura 1**

*Representación de la curva típica de velocidad-tiempo obtenida mediante un radar (línea gruesa) y modelada a través de la ecuación biexponencial (línea fina). (Morin et al., 2006).*



### *Orientación del centro de masas en las distintas fases del sprint*

Como se ha explicado anteriormente, y siguiendo las clasificaciones, la fase inicial de aceleración se caracteriza por una orientación inclinada del tronco donde el ángulo del centro de masas (CM) durante el apoyo y el despegue del pie son más pequeños y además, existe una gran capacidad de aplicar una gran cantidad de fuerzas antero-posteriores (fuerza horizontal) en comparación con la fase de transición (Kugler & Janshen, 2010). Estas acciones explican los incrementos en la velocidad de apoyo que se producen durante la fase de aceleración inicial, siendo más grandes que los obtenidos en las fase de transición (una media de 0,88 m/s por apoyo en la fase inicial VS una media de 0,24 m/s por apoyo) (von Lieres Und Wilkau, Irwin, Bezodis, Simpson, & Bezodis, 2020). Siguiendo en esta línea otros autores determinaron que el rendimiento durante la fase de aceleración inicial depende de grandes aumentos de la frecuencia de apoyo (Nagahara, Naito, Morin, & Zushi, 2014) y se ve influido por mayores magnitudes de la frecuencia de los apoyos durante la fase de aceleración (Nagahara, Mizutani, Matsuo, Kanehisa, & Fukunaga, 2018b).

Siguiendo con lo anterior, algunos autores consideran que la magnitud de la frecuencia de los apoyos, que está determinada por la suma de los tiempos de contacto y de vuelo, es un determinante importante de la velocidad de los pasos. La capacidad de aumentar rápidamente la frecuencia de los pasos durante la fase de aceleración inicial (Debaere,

Jonkers, & Delecluse, 2013; Nagahara et al., 2014) puede ser una característica importante de esta fase en comparación con las fases de transición y de velocidad máxima (von Lieres Und Wilkau et al., 2020). Por lo tanto, a medida que aumenta la capacidad de un velocista de generar mayores fuerzas propulsoras durante la fase de aceleración inicial, esto producirá mayores disminuciones en los tiempos de contacto, lo que podría permitir unos mayores aumentos en la frecuencia de los apoyos (von Lieres Und Wilkau et al., 2020)

En cuanto a la fase de transición, los aumentos que se producen en la velocidad de los apoyos se deben principalmente a los aumentos de la longitud de apoyo y que se traducen en aumentos en la distancia de vuelo (von Lieres Und Wilkau et al., 2020). Esto se traduce en que a medida que las velocidades de apoyo aumentan, los velocistas necesitan aumentar la fuerza vertical para que se produzca una disminución de los tiempos de contacto sin impedir los aumentos de apoyo a apoyo del centro de masas horizontal (CM-h) y los tiempos de vuelo (von Lieres Und Wilkau et al., 2020). Como un vector GRF más horizontal y un impulso vertical más pequeño predicen un mejor rendimiento en la aceleración, algunos autores apoyan la idea de que una magnitud ideal de la fuerza vertical facilitaría el incremento de la velocidad de apoyo sin afectar negativamente a la frecuencia de paso (tiempos de vuelo excesivamente largos) (Nagahara, Mizutani, Matsuo, Kanehisa, & Fukunaga, 2018a).

En estas fases habría que tener en cuenta el aumento en el ángulo del tronco ya que puede tener una influencia negativa debido a que puede limitar la rotación anterior del muslo y por lo tanto contribuir al aumento de las distancias de despegue. El resultado es una disminución de las fuerzas propulsoras que los velocistas pueden generar a medida que avanza un sprint (von Lieres Und Wilkau et al., 2020). Más adelante, este hecho será explicado y se observará la importancia de la inclinación del tronco en estas fases para optimizar la aplicación de fuerza horizontal.

La tercera fase, la fase de velocidad máxima se caracteriza porque los atletas suelen alcanzar entre el 92-98% de la velocidad máxima (von Lieres Und Wilkau et al., 2020). En esta fase se aprecia un aumento en la distancia de vuelo que se traduce en un aumento de la longitud de los apoyos. Diversos autores comprobaron que durante esta fase, la longitud de los apoyos va aumentando, siendo la fase con mayores longitudes y tiempos

de vuelo (Ae, Ito, & Suzuki, 1992; von Lieres Und Wilkau et al., 2020). Estas acciones se pueden explicar debido a que el atleta mantiene el tronco erguido y realiza una elevación alta de la rodilla, con lo que permite al atleta un recorrido más amplio para acelerar su pie hacia el suelo y hacia atrás antes del apoyo (von Lieres Und Wilkau et al., 2020). Por lo tanto, esta postura lo que implica es aumentar la producción de fuerza vertical antes del contacto con el (Clark & Weyand, 2014) y a reducir las fuerzas de frenado (Hunter, Marshall, & McNair, 2005).

En definitiva, y según algunos autores, a medida que un sprint progresa a través de las fases de aceleración inicial, transición y velocidad máxima, los velocistas podrían influir y centrarse en la mecánica de apoyo en lugar de la de despegue en un intento de influir en el rendimiento (von Lieres Und Wilkau et al., 2020). Aunque como se va a ver más adelante, otros autores indican que lo más importante es la dirección en la que se aplican las fuerzas generadas contra el suelo (GRF) (Morin et al., 2012; Morin, Slawinski, et al., 2015).

### **Fases de vuelo y apoyo**

La fase de apoyo durante un sprint se puede dividir en una fase de frenado, donde existe una orientación hacia atrás del vector de fuerza horizontal (FH) y un impulso de frenado; y una fase de propulsión, donde la orientación del vector FH es hacia y que existe un impulso de propulsión. El impulso horizontal neto IMPH es la suma del impulso de frenado y del impulso de propulsión (Morin, Slawinski, et al., 2015). Además, los velocistas más rápidos son los que producen las mayores cantidades de impulso neto horizontal por unidad de masa corporal, y por el contrario, el impulso de la fuerza de reacción del suelo vertical no está relacionado con el rendimiento de los velocistas en distancias menores de 40 metros (Morin, Slawinski, et al., 2015). Además, se ha visto que durante el sprint y sus diferentes fases, la posición del cuerpo y de los segmentos articulares (cadera, rodilla y tobillo) van cambiando a medida que va aumentando la velocidad. Por eso, en los primeros apoyos pasamos de una posición del tronco inclinada, con largos tiempos de apoyo para aplicar fuerza (190 ms) a una fase de máxima velocidad donde el tronco está más vertical y los apoyos tienen una menor duración (101-108 ms) para aplicar fuerza (Debaere et al., 2013; Nagahara et al., 2014; Wild et al., 2018).

En la fase de aceleración temprana se ha comprobado que una aceleración efectiva probablemente va acompañada de una mayor longitud del paso a través de un mayor impulso propulsor, hasta el octavo apoyo. En esta fase, durante los contactos iniciales con el suelo, la producción de fuerza anteroposterior durante la propulsión media-tardía se asoció con una mayor potencia externa horizontal (Colyer, Nagahara, & Salo, 2018). En resumen, los períodos de aplicación de la fuerza contra el suelo eran relativamente más largos, los sujetos podían aplicar mayores fuerzas contra el suelo (Weyand, Sandell, Prime, & Bundle, 2010).

En la fase de aceleración media y tardía, que se desarrolla del noveno al vigésimo paso, es clave que exista una mayor frecuencia de paso a través de tiempos de apoyo y aéreos más cortos y un menor impulso vertical. Además, un menor impulso de frenado, así como un mayor impulso neto anteroposterior (horizontal), serán importantes durante toda la fase de aceleración (Murata, Takai, Kanehisa, Fukunaga, & Nagahara, 2018). En este sentido, las fuerzas de reacción anteroposterior contra el suelo en la fase inicial excéntrica de la postura pueden influir en el rendimiento, ya que los atletas que disminuían en mayor medida las fuerzas de frenado, también generaban una mayor potencia externa horizontal (Colyer, Nagahara, & Salo, 2018).

A medida que la velocidad de desplazamiento horizontal aumenta a través de la fase de aceleración, hay una tendencia a que la duración del contacto con el suelo disminuya y el tiempo de vuelo aumente. Al mismo tiempo, los impulsos propulsivos disminuyen considerablemente a lo largo de la fase de aceleración y, aunque menos marcados, los impulsos de frenado (negativos) aumentan (Colyer, Nagahara, Takai, et al., 2018). En consecuencia, a medida que la aceleración progresa, se exhiben incrementos de velocidad paso a paso más bajos e inevitablemente los individuos alcanzarán una velocidad a la que ya no podrán generar un impulso neto positivo (Colyer, Nagahara, Takai, et al., 2018). En resumen, que cuando las fuerzas contra el suelo requeridas eran similares o ligeramente reducidas (fase de máxima velocidad), los sujetos no podían aplicar la fuerza con mayor rapidez (Weyand et al., 2010). Este logro de la velocidad máxima se produce típicamente a 30-50 metros de la posición inicial en los velocistas (Colyer, Nagahara, Takai, et al., 2018).

Por ello, los velocistas deben aumentar su capacidad para producir una fuerza vertical

suficiente, para soportar e invertir las fuerzas excéntricas de frenado y para generar una alta fuerza propulsora anteroposterior durante la fase de aceleración. Sin embargo, la capacidad de aplicar fuerzas verticales elevadas se considera un determinante crucial de la velocidad máxima. A medida que los atletas se acercan a su meseta de velocidad y el vector de fuerza de reacción del suelo se vuelve inevitablemente más vertical, el componente vertical de la fuerza se hace cada vez más diferenciador del rendimiento. En este sentido, estos autores han encontrado diferencias en las fuerzas verticales, y estas eran más grandes a medida que la velocidad de aterrizaje aumentaba de 8,00 m-s-1 a 8,25 m-s-1 en el grupo de velocistas (Colyer, Nagahara, Takai, et al., 2018). Por lo tanto, es importante que durante el desarrollo de la velocidad máxima de sprint se desarrollen las fuerzas verticales necesarias y se minimice el tiempo de contacto con el suelo (Barr, Sheppard, Agar-Newman, & Newton, 2014).

En consecuencia, el límite de la velocidad de carrera de sprint se impone no por las fuerzas máximas que se pueden aplicar al suelo, sino más bien por las tasas máximas a las que los miembros pueden aplicar las fuerzas requeridas en periodos cortos de tiempo (Weyand et al., 2010). Por ello, el rápido desarrollo de la fuerza (RFD) a lo largo de cortos períodos de contacto con el suelo (en lugar de la máxima cantidad de fuerza que un individuo puede producir) se ha identificado como un factor limitante de la velocidad de carrera, probablemente atribuible a la capacidad de producir mayores fuerzas a alta velocidad (Colyer, Nagahara, Takai, et al., 2018). Dada la importancia de lo anterior, es lógico que los atletas que pueden desarrollar la fuerza rápidamente tengan tiempos de contacto con el suelo más cortos y sean más rápidos en más de 10 m (Barr et al., 2014).

En cuanto a la ubicación del apoyo del pie durante la fase de apoyo, se ha observado que en relación con la posición del centro de masas era más posterior tanto en el apoyo como en el despegue para los velocistas (Wild et al., 2018). Por lo tanto, en la fase de aceleración, distancias de apoyo más pequeñas están relacionadas con un vector de fuerza de reacción del suelo (GRF) más horizontal (Bezodis, Salo, & Trewartha, 2015; Kugler & Janshen, 2010) y clave en el rendimiento (Morin et al., 2012; Morin, Edouard, & Samozino, 2011). Además, otras investigaciones han observado adaptaciones en la rigidez del tobillo a lo largo de un periodo de entrenamiento, y a medida que se desarrollaba la velocidad máxima de sprint también aumentaba la rigidez medida de la

articulación del tobillo durante la fase de velocidad máxima. Debido a estos resultados, algunos autores han sugerido que la fuerza reactiva del tobillo influye en el rendimiento en la fase de aceleración tardía, en la que la capacidad de revertir rápidamente las fuerzas de frenado excéntricas se hace más importante (Colyer, Nagahara, Takai, et al., 2018).

En la línea de lo comentado arriba, el complejo gastrocnemio-soleo-aquiles (GSAC) realiza la gran acción excéntrica durante la fase de apoyo temprana, y es el principal responsable de prevenir el desplazamiento vertical negativo del centro de masa durante el sprint. Un velocista con un mayor desplazamiento vertical negativo permanecerá más tiempo en el suelo (más tiempo durará su apoyo) y requerirá más esfuerzo para revertir la posición, lo que resultará en una disminución del rendimiento. Además la actividad concéntrica del GSAC está equilibrada, es insignificante durante la última parte de la fase de apoyo y si la actividad del GSAC se incrementara, se produciría un mayor desplazamiento vertical, no una propulsión horizontal. Lo que provocaría un mayor desplazamiento vertical, y que se traduciría en una fase de vuelo más larga. Un tiempo excesivamente largo de la fase de vuelo parece ser desventajoso para la velocidad máxima de sprint (Brown & Vescovi, 2012).

En conclusión, viendo los condicionantes para mejorar la fase de apoyo, implica que la especificidad de un ejercicio y su potencial para mejorar la velocidad de sprint puede ser diferente entre los atletas rápidos y los lentos debido a las diferencias en el tiempo de contacto con el suelo (Barr et al., 2014; Colyer, Nagahara, & Salo, 2018). En la fase de aceleración temprana se buscarán ejercicios en los que los tiempos de contacto son altos y las velocidades bajas (p.e. arrastres pesados) con ejercicios predominantemente concéntricos de los grupos de músculos extensores de las extremidades inferiores (Colyer, Nagahara, & Salo, 2018); mientras que en la fase de velocidad, los ejercicios deben ir enfocados a tiempos de contactos muy pequeños con velocidades muy altas (p.e. sprint asistido) donde el entrenamiento podría aumentar la rigidez y la capacidad del atleta para invertir rápidamente las fuerzas de frenado (Colyer, Nagahara, & Salo, 2018).

### **Frecuencia vs amplitud**

Durante una aceleración de un sprint, una mayor capacidad para aplicar el vector GRF resultante con una orientación hacia adelante está apoyado por una mayor frecuencia de



apoyos causada por un menor tiempo de contacto (Morin et al., 2012). Durante la fase de aceleración inicial existen grandes aumentos de la frecuencia de apoyo (Nagahara et al., 2018b). Además, la magnitud de la frecuencia de los apoyos, que está determinada por la suma de los tiempos de contacto y de vuelo, es un determinante importante de la velocidad de los apoyos. La capacidad de aumentar rápidamente la frecuencia de los apoyos durante la fase de aceleración inicial (Debaere et al., 2013; Nagahara et al., 2014) puede ser una característica importante de esta fase en comparación con las fases de transición y de velocidad máxima. Por lo tanto, a medida que aumenta la capacidad de un velocista para generar mayores fuerzas propulsoras durante la fase de aceleración inicial, esto producirá mayores disminuciones en los tiempos de contacto, lo que podría permitir unos mayores aumentos en la frecuencia de los apoyos (von Lieres Und Wilkau et al., 2020). En esta línea, otros autores creen que intentar maximizar el impulso horizontal neto de GRF puede dar lugar a un mayor tiempo de contacto con el suelo y a una menor frecuencia de paso, lo que podría ser perjudicial para la fuerza de aceleración del sprint en deportes de equipo (Kawamori, Nosaka, & Newton, 2013). Aunque otros autores defienden que en la aceleración temprana (hasta el 8º paso) es más importante un mayor longitud del paso a través de un mayor impulso propulsor (Murata et al., 2018).

Durante sprints repetidos se puede observar cómo la fatiga produce cambios en la carrera, donde frecuencias de apoyo más lentas inducidas por la fatiga derivadas de los cambios en el desplazamiento vertical del centro de masa (disminución de la rigidez vertical) en lugar de los cambios en la longitud de los apoyos (preservación de la rigidez de las piernas) pueden explicar los tiempos altos durante un sprint (Girard, Micallef, & Millet, 2011). En otra investigación, comprobaron que la fatiga durante la realización de sprints repetidos produce cambios en la frecuencia y amplitud de los apoyos. Encontraron que a menos producción de fuerza durante el apoyo, había una disminución significativa de los dos valores, aunque la longitud tenía un cambio menos significativo que la frecuencia de apoyos (Morin, Samozino, Edouard, & Tomazin, 2011). Por lo tanto, frecuencias de apoyos más rápidos mediante el aguante de una mayor rigidez vertical es un prerrequisito para mejorar el rendimiento durante las carreras de velocidad repetidas (Barr et al., 2014). En esta línea, otro estudio encontró que la longitud y la frecuencia de las zancadas aumentaron significativamente con cada incremento de la velocidad de la carrera, aumentando la frecuencia de las zancadas a un ritmo mayor (Brughelli, Cronin, &

Chaouachi, 2011).

Por eso, en la aceleración tardía, diversos autores se apoyan en la probabilidad de que exista una magnitud ideal de la fuerza vertical para facilitar el incremento de la velocidad de apoyo sin afectar negativamente a la frecuencia de paso debido a la producción de tiempos de vuelo excesivamente largos (von Lieres Und Wilkau et al., 2020). En resumen, una mayor frecuencia de paso a través de tiempos de apoyo y aéreos más cortos y un menor impulso vertical, y un menor impulso de frenado durante las fases de aceleración media y posterior (del 9° al 20° paso), así como un mayor impulso neto anteroposterior (horizontal) durante toda la fase de aceleración (Murata et al., 2018).

Por último, en la fase de velocidad máxima (92-98% de la velocidad máxima) se producen pequeños aumentos de las distancias de vuelo y, por tanto, de la longitud de los pasos que continuaron durante toda la fase de velocidad máxima. Estos cambios podrían explicarse por el tronco erguido y la elevación de la rodilla alta, que se asocian con esta fase del sprint y permiten a los velocistas un camino más largo para acelerar su pie hacia abajo y hacia atrás antes de aterrizar (von Lieres Und Wilkau et al., 2020).

Visto lo anterior, nos encontramos que sigue habiendo controversia en la literatura sobre si las mejoras en la velocidad máxima vienen por la mejora en la longitud de zancada o por la mejora en la frecuencia de zancada. Por ejemplo, se ha sugerido que tanto la longitud como la frecuencia de las zancadas aumentan linealmente con la velocidad de marcha hasta 7,0 m/s. Por encima de las velocidades de carrera de 7,0 m/s, se cree que la frecuencia de las zancadas aumenta a un ritmo mayor que la longitud de la zancada gracias a las acciones sinérgicas de los músculos ipsilaterales y contralaterales de la cadera, principalmente iliopsoas, glúteo máximo e isquiotibiales, que aceleran la pierna con más fuerza en el aire y proporcionan las altas frecuencias de zancada necesarias para alcanzar las velocidades de carrera más rápidas posibles (Dorn, Schache, & Pandy, 2012). Por lo tanto, se ha argumentado que hay un límite a la cantidad de tiempo que un individuo puede aumentar la longitud de la zancada y, por lo tanto, el aumento de la frecuencia de las zancadas sería más importante para mejorar la velocidad máxima de la carrera. Sin embargo, en el estudio realizado por Brughelli et al. (2011), la longitud de las zancadas se correlacionó significativamente con la máxima velocidad de marcha, pero la frecuencia de las zancadas no. Estos autores especulan que un aumento de  $F_h$  podría conducir a un

aumento de la longitud de la zancada y, en última instancia, de la velocidad máxima de marcha. Estas conclusiones están en línea con otros estudios donde se señala que la importancia de la longitud de la zancada como el segundo factor cinemático más importante después del tiempo de contacto con el suelo (Barr et al., 2014).

Aunque si algo está claro, cómo es que para una mejor aceleración del sprint, una mayor fuerza propulsora es un factor destacado durante toda la fase de aceleración, también se debería tener en cuenta que una menor fuerza de frenado también fue determinante cuando la velocidad de carrera fue mayor o igual al 70% del máximo (Murata et al., 2018). En la misma línea, hace tiempo que se estableció que mayor aplicación de fuerza contra el suelo durante la fase de apoyo, producirá mayores tiempos de vuelo y será más efectivo que intentar un decremento en la fase de vuelo y recobro de los miembros inferiores durante el sprint (Weyand, Sternlight, Bellizzi, & Wright, 2000).

Por tanto, el desarrollo de la fuerza tanto en la orientación vertical como en la horizontal sería beneficioso para los atletas y de esta forma, individualizar los programas según la fase del sprint que se quiera desarrollar. En consecuencia, en desarrollo de fuerza y potencia específicas para el sprint, los ejercicios que se concentran en la producción de fuerza en las orientaciones horizontales (como puede ser un entrenamiento de arrastres pesados) bien pueden conducir a un mayor desarrollo de la velocidad, dado que la mayoría de los ejercicios en la sala de entrenamiento con pesas acentúan la producción de fuerza en el plano vertical (Brughelli et al., 2011).

### **Musculatura implicada durante el sprint**

Dentro de la carrera de velocidad, y de sus distintas fases, podemos ver la distinta participación que tienen los músculos. La importancia de aplicar fuerzas contra el suelo (GRF) y tener la capacidad de orientarlas en un vector horizontal, es clave en el rendimiento del sprint (Morin, Edouard, et al., 2011). En este sentido, es importante saber cuáles son los músculos más importantes, y de esta forma podemos conocer qué rol tienen y las condiciones en las que ejercen fuerza. Esto es esencial para la especificidad del entrenamiento.

La mayoría de los estudios se han centrado en los extensores de cadera, los extensores de rodilla y los flexores plantares, siendo comúnmente aceptado que la mayor actividad de

estos músculos se produce en el comienzo del contacto con el suelo (Morin, Gimenez, et al., 2015).

Uno de los principales temas es la implicación de la musculatura isquiotibial, siendo objeto de estudio por numerosos autores. Por ejemplo, se ha observado que en individuos familiarizados con el sprint, había una mayor cantidad de GRF horizontal (como promedio en toda una aceleración de sprint) en sujetos que eran capaces de activar altamente sus músculos isquiotibiales justo antes del contacto con el suelo y que tenían la mayor cantidad de capacidad provisional para producir fuerza excéntrica. Esto quiere decir que la actividad de los músculos isquiotibiales durante las fases de balanceo y fin de balanceo, y el par máximo del flexor excéntrico de la rodilla (solo la cabeza larga del bíceps femoral) están relacionados con la cantidad de GRF horizontal producido durante el sprint. Por lo tanto, los extensores de la cadera, y especialmente los isquiotibiales, juegan un papel significativo en el rendimiento de la aceleración del sprint mediante la producción de GRF horizontal (Colyer, Nagahara, Takai, et al., 2018; Higashihara, Nagano, Ono, & Fukubayashi, 2016; Morin, Gimenez, et al., 2015). Sin embargo, cabe señalar que esto se relaciona con la fase de aceleración inicial (en la que los atletas están en una posición más agachada y la contracción muscular es más lenta) y potencialmente no con la fase de aceleración tardía (caracterizada por contracciones de mayor velocidad y una postura más erguida) (Colyer, Nagahara, Takai, et al., 2018).

En la misma línea, otros autores han observado que los isquiotibiales y los cuádriceps tienen un papel importante en la absorción de energía. Además, durante el balanceo inicial en el sprint, los flexores de la cadera generan grandes potencias para impulsar el muslo hacia delante. Durante la fase final del swing (donde la activación de los isquiotibiales es mayor) como en la fase final de apoyo del sprint hay una gran activación (Lee, Reid, Elliott, & Lloyd, 2009; Schache, Kim, Morgan, & Pandy, 2010). En la fase final de apoyo los músculos de los isquiotibiales se contraen fuertemente para producir momentos durante la extensión de la cadera y la flexión de la rodilla con el fin de contrarrestar resistir la flexión de la cadera y la extensión de la rodilla derivados de la fuerza de reacción del suelo (GRF), generando de esta forma una fuerza propulsora hacia adelante (Higashihara et al., 2016; Lee et al., 2009).

En cuanto al complejo gastrocnemio-soleo-aquiles (GSAC), su participación durante la

fase de apoyo temprana del sprint tiene importancia debido a que realizan una gran acción excéntrica que es principalmente responsable de prevenir el desplazamiento vertical negativo del centro de masa. Esto quiere decir que un velocista con un mayor desplazamiento vertical negativo permanecerá más tiempo en el suelo y requerirá más esfuerzo para revertir la posición, lo que resultará en una disminución del rendimiento. Otra de sus acciones es que la actividad concéntrica del GSAC está equilibrada, es insignificante o inexistente durante la última parte de la fase de apoyo y de esta forma se evita un mayor desplazamiento vertical, favoreciendo la propulsión horizontal (Brown & Vescovi, 2012). Aunque se ha observado que su participación es importante durante carreras lentas y de ritmo medio (hasta velocidades de 7 m/s-1), se ha comprobado que siguiendo con lo dicho arriba, el complejo GSAC tiene como finalidad dar estabilidad para evitar el exceso de fuerzas verticales, siendo más importante la aportación en esta fase de los músculos iliopsoas, glúteo mayor e isquiotibiales. De esta forma se acelera la pierna con más velocidad en el aire y proporcionan las altas frecuencias de zancada necesarias para alcanzar velocidades de carrera más rápidas (Dorn et al., 2012). Según Howard, Conway, and Harrison (2018), todos los grupos musculares descritos se activan en la fase tardía de balanceo en preparación para el contacto con el suelo y luego en la fase temprana de postura en un papel de estabilización (Howard et al., 2018).

En resumen, y viendo los datos aportados por la bibliografía, se puede concluir que a medida que progresan las velocidades de carrera (de 3,5 m/s a 8,95 m/s) se producen cambios biomecánicos durante las distintas fases del sprint, donde se pasa de la dominación de la rodilla a la dominación de la cadera (es decir, mayor cadera que los movimientos de extensión de la rodilla). Esto nos indica que los atletas para producir la máxima potencia y velocidad, ya sea en el plano sagital o frontal, el entrenamiento de fuerza se debe centrar en el desarrollo de la fuerza muscular de los extensores primarios de la cadera (es decir, el glúteo mayor y los isquiotibiales) (Beardsley & Contreras, 2014).

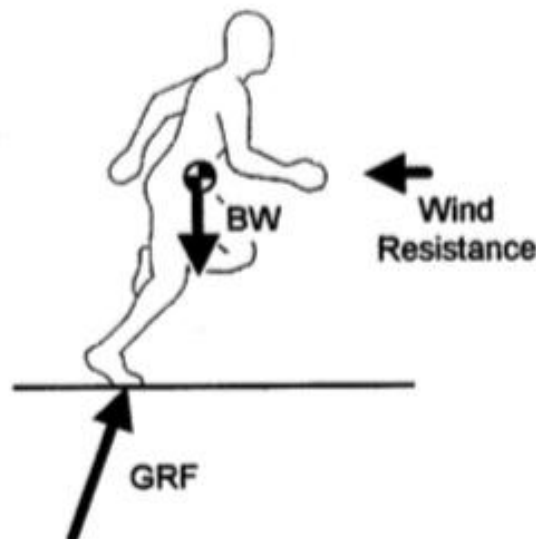
### **Aplicación de fuerzas durante el sprint. GRF, RF y DRF.**

Las leyes básicas de la dinámica y los datos experimentales explican que la aceleración en la dirección de avance está relacionada con la cantidad de fuerza horizontal neta y de impulso producida y aplicada en el suelo, que será devuelta a través del impulso de la fuerza de reacción en el suelo (GRF) (Morin, Slawinski, et al., 2015). En este sentido, y

como podemos observar en la figura 2 la aceleración del centro de masas de un velocista está determinada por la masa corporal y por tres fuerzas externas: fuerza de reacción contra el suelo (GRF), fuerza gravitacional y resistencia del viento. De estas tres fuerzas, la única que el atleta puede influenciar en mayor medida es la GRF (Hunter et al., 2005; Kawamori et al., 2013). Aparte de la fuerza gravitatoria, sólo el GRF puede acelerar o desacelerar el cuerpo humano (ignorando la resistencia del aire) (Nagahara et al., 2017).

### Figura 2

*Representación de las tres fuerzas que determinan la aceleración del centro de masas de un atleta de velocidad. Fuerza de reacción contra el suelo (GRF), fuerza gravitacional (equivalente al peso del atleta (BW)) y la resistencia del aire (Hunter et al., 2005).*



La GRF se puede dividir en tres componentes ortogonales (es decir, vertical, anterior-posterior, medial-lateral), siendo los componentes anterior-posterior (en adelante denominado GRF horizontal) y vertical los más significativos durante el sprint. La suma de los vectores horizontales y verticales da como resultado el GRF total (Morin, Edouard, et al., 2011). Además, existen dos subcomponentes del GRF horizontal que son importantes durante la carrera de velocidad: un GRF de frenado de sentido posterior y suele producirse al principio de la fase de apoyo y otro GRF de propulsión de sentido anterior y que suele producirse al final de la fase de apoyo (Hunter et al., 2005; Kawamori et al., 2013). Cada componente del GRF puede analizarse en términos de características cinéticas (por ejemplo, picos, medios, impulsos) y temporales (por ejemplo, la duración de ciertas fases), en relación con el rendimiento de la aceleración del sprint. Además, según diferentes autores, el momento angular de todo el cuerpo debe ser mantenido, la

orientación del GRF tiene que estar estrechamente vinculada a la posición del cuerpo, es decir, el desplazamiento angular del centro de masas con respecto al eje vertical a través del punto de apoyo. Lo que daría como resultado una restricción externa a la aplicación de la fuerza propulsora (Kugler & Janshen, 2010). ). A medida que aumenta la velocidad de carrera durante el sprint, la fuerza propulsora y el impulso disminuyen, mientras que la fuerza de frenado y el impulso aumentan, lo que resulta en una reducción del impulso anterior-posterior (Nagahara et al., 2017).

Existen diversas investigaciones con el fin de esclarecer la influencia que tienen estas fuerzas y cómo mejorar la aplicación de estas durante el sprint. En esta línea se ha visto que las mayores magnitudes del impulso propulsivo relativo se asociaron a velocidades de sprint más rápidas y además, se asocian velocidades de sprint más altas con magnitudes bajas de frenado (Hunter et al., 2005). Según la relación impulso-momento (Segunda Ley de Newton), el impulso horizontal neto de GRF normalizado a la masa corporal es el principal factor determinante del cambio de la velocidad horizontal del atleta durante los contactos con el suelo (Kawamori et al., 2013). Este dato reafirma que en la fase de aceleración se necesitan grandes magnitudes de propulsión horizontal para lograr una gran aceleración y que el impulso vertical en esta fase debería ser el justo para crear un tiempo de vuelo lo suficientemente largo como para permitir el reposicionamiento de las extremidades inferiores. En este sentido (Colyer, Nagahara, & Salo, 2018) sugieren que en las últimas partes de la aceleración, los velocistas deben ser capaces de tolerar rápidamente una fuerza excéntrica para atenuar los impulsos de frenado anteroposteriores y generar una potencia externa horizontal media tan alta como sea posible. Esto hace que la fase excéntrica tenga mucha importancia para reducir las fuerzas de frenado y tengan menor influencia en la reducción del vector resultante, aumentando la magnitud todo lo posible de la fuerza horizontal total.

Contrariamente, otros autores defienden que en la carrera, altos valores de GRF son contraproducentes para la aceleración hacia adelante debido a la orientación vertical predominante del vector de fuerza. Por lo tanto, la aplicación de mayores fuerzas disminuiría el tiempo de contacto con el suelo o aumentaría el tiempo de vuelo y ninguna de las dos cosas es una estrategia efectiva para aumentar la propulsión hacia delante (Kugler & Janshen, 2010). En la misma línea, Kawamori et al. (2013) concluyen que el

simple hecho de tratar de maximizar el impulso GRF horizontal neto puede no ser el mejor enfoque para mejorar el rendimiento de la aceleración del sprint porque un atleta todavía necesita producir GRF en dirección vertical para invertir el movimiento/velocidad descendente del cuerpo al aterrizar y luego propulsar el cuerpo hacia arriba para crear un tiempo de vuelo lo suficientemente largo como para reposicionar los miembros inferiores. Además, intentar maximizar el impulso horizontal neto de GRF puede dar lugar a un mayor tiempo de contacto con el suelo y a una menor frecuencia de paso, lo que podría ser perjudicial para la fuerza de aceleración del sprint. En este sentido, Weyand et al. (2010) concluyeron que cuando los períodos de aplicación de la fuerza contra el suelo eran relativamente más largos, los sujetos podían aplicar mayores fuerzas contra el suelo pero que cuando las fuerzas contra el suelo requeridas eran similares o ligeramente reducidas, los sujetos no podían aplicar la fuerza con mayor rapidez. En consecuencia, el límite de la velocidad de carrera de sprint se impone no por las fuerzas máximas que se pueden aplicar al suelo, sino más bien por las tasas máximas a las que los miembros pueden aplicar las fuerzas requeridas en periodos cortos de tiempo.

Asimismo, se observó que los sujetos más rápidos alcanzaron mayores velocidades de marcha al aplicar fuerzas más orientadas hacia adelante, pero no al aplicar las mayores fuerzas contra el suelo (Kugler & Janshen, 2010). Es decir, la importancia de la capacidad de producir grandes cantidades de fuerza horizontal y propulsiva, o en otras palabras, de aplicar la fuerza en una dirección más horizontal, parece ser importante para lograr una alta aceleración durante las carreras de 10 metros desde una salida en parado. Esto nos deja ver que en la primera fase, la fase de aceleración temprana, es muy importante dirigir el vector de GRF en dirección horizontal (Colyer, Nagahara, & Salo, 2018; Hunter et al., 2005; Kawamori et al., 2013; Kugler & Janshen, 2010; Morin et al., 2012) y además, está apoyado por una mayor frecuencia de apoyos causada por un menor tiempo de contacto (Morin et al., 2012).

Diversas investigaciones se han centrado en la activación muscular, la posición del cuerpo y la ubicación del apoyo durante la fase de aceleración del sprint. En este sentido, Morin, Gimenez, et al. (2015) observaron que individuos familiarizados con el sprint, desarrollan una mayor cantidad de GRF horizontal (como promedio en toda una aceleración de sprint) y además eran capaces de activar altamente sus músculos isquiotibiales justo antes del



contacto con el suelo y tenían la mayor capacidad para producir fuerza excéntrica. En resumen, los extensores de la cadera, y especialmente los isquiotibiales, juegan un papel significativo en el rendimiento de la aceleración en fase temprana del sprint mediante la producción de GRF horizontal (Colyer, Nagahara, Takai, et al., 2018; Morin, Slawinski, et al., 2015; von Lieres Und Wilkau et al., 2020). Sin embargo, cabe señalar que esto se relaciona con la fase de aceleración inicial (en la que los atletas están en una posición más agachada y la contracción muscular es más lenta) y potencialmente no con la fase de aceleración tardía (caracterizada por contracciones de mayor velocidad y una postura más erguida) (Colyer, Nagahara, Takai, et al., 2018).

En cuanto a la posición del cuerpo, Hunter et al. (2005) observaron que en las aceleraciones más altas se produjeron fuerzas de reacción del suelo estaban orientadas más hacia delante en combinación con posiciones del cuerpo inclinadas hacia delante. Por lo tanto, posiciones más inclinadas durante la aceleración, favorecen la propulsión debido a mayores tiempos de contacto en el suelo y debido a la orientación horizontal del vector GRF. Sin embargo, en las fases de aceleración tardía y en la de máxima velocidad la posición del cuerpo tiende a estar más erguida, y debido a que los atletas se acercan a su meseta de velocidad y el vector de fuerza de reacción del suelo se vuelve inevitablemente más vertical, el componente vertical de la fuerza se hace cada vez más diferenciador del rendimiento (Colyer, Nagahara, Takai, et al., 2018). Por ello, los atletas deben ser capaces de desarrollar altas fuerzas concéntricas a lo largo de períodos de contacto más largos a bajas velocidades (por ejemplo, durante la fase de bloqueo y los primeros pasos en la aceleración temprana), pero aun así deben ser capaces de generar una fuerza propulsora a través de marcos de tiempo muy cortos cuando corren están cerca de su velocidad máxima (Colyer, Nagahara, & Salo, 2018).

Por último, Wild et al. (2018) observaron que la ubicación del pie en relación con la posición del centro de masas era más posterior tanto en el apoyo como en el despegue para los velocistas en comparación con los jugadores de rugby. Estos datos están en línea con los comentados anteriormente donde distancias de apoyo más pequeñas están relacionadas con un vector de fuerza de reacción del suelo (GRF) más horizontal (Bezodis et al., 2015; Kugler & Janshen, 2010), siendo un determinante clave del rendimiento de la aceleración (Kawamori et al., 2013; Kugler & Janshen, 2010; Morin et al., 2012; Morin,

Edouard, et al., 2011).

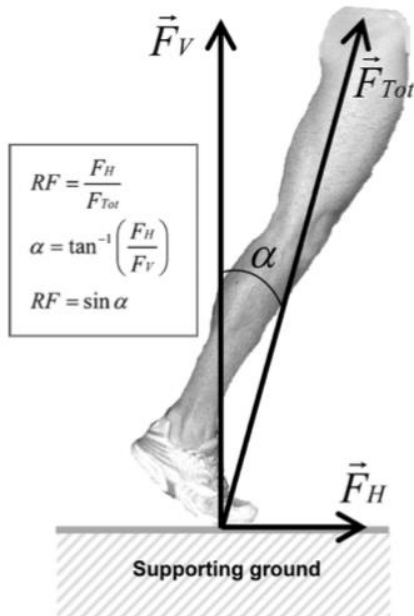
Respecto a la optimización del rendimiento en un solo sprint máximo (por ejemplo, la prueba de 60-100 metros), diversos autores creen que viene dada por el desarrollo de una gran fuerza propulsora durante toda la aceleración después de salir de tacos, la supresión de las fuerzas de frenado y verticales al acercarse a la velocidad máxima, y la producción de una gran fuerza vertical a la velocidad máxima (Nagahara et al., 2017). En este sentido una mayor fuerza propulsora, en lugar de una menor fuerza de frenado, era esencial para lograr un mejor rendimiento en el sprint en una distancia de 40 metros o en la sección de 0 a 20 metros de un sprint de 40 metros (Morin, Slawinski, et al., 2015; Rabita et al., 2015).

En resumen, los distintos estudios muestran que durante la aceleración, el componente horizontal de las fuerzas generadas durante los apoyos contra el suelo es determinante para el desplazamiento hacia delante mientras que el componente vertical no es efectivo para conseguir una gran aceleración. En cambio, cuando el atleta se acerca a la velocidad máxima, el componente vertical se vuelve más importante (Colyer, Nagahara, & Salo, 2018; Colyer, Nagahara, Takai, et al., 2018; Morin, Gimenez, et al., 2015; Morin, Slawinski, et al., 2015).

Por lo tanto y teniendo en cuenta lo visto anteriormente, los estudios se han centrado en cómo medir las fuerzas que se producen durante un sprint. En consecuencia, se crea un coeficiente con el fin de cuantificar las fuerzas resultantes, el ratio de fuerzas (RF), describe la eficacia de la aplicación de la fuerza sobre el terreno y se calcula para cada fase de apoyo como el componente horizontal neto sobre el GRF resultante o dicho de otra forma, es la relación entre la fuerza horizontal (FH) y el GRF total resultante de la fase de apoyo (Morin, Edouard, et al., 2011) y que se puede observar en la figura 3. Como el ratio de fuerzas disminuye linealmente al aumentar la velocidad durante la transición de la fase de aceleración a la fase de velocidad máxima, el índice de aplicación de fuerzas representa la disminución de la relación de fuerzas al aumentar las velocidades (Morin et al., 2012; Morin, Edouard, et al., 2011; Rabita et al., 2015).

### Figura 3

Representación del ratio de fuerzas y la expresión matemática como una función de la Fuerza total ( $F_{Tot}$ ) y la fuerza de reacción del suelo (GRF) en el vector horizontal positivo ( $F_H$ ). La orientación hacia delante del vector GRF está representada por el ángulo  $\alpha$  (Morin, Edouard, et al., 2011).



Según diversos autores, la medición de la fuerza de reacción en el suelo (GRF) para cada apoyo durante la fase de aceleración permite cuantificar el componente horizontal de GRF, pero además su relación con el GRF total. Este parámetro de RF refleja la orientación del GRF resultante en cada apoyo y, a continuación, la capacidad de los atletas para aplicar la fuerza de forma efectiva en el suelo (es decir, en dirección hacia adelante) (Rabita et al., 2015).

Este índice lo que permite es explicar muchos de los mecanismos que están envueltos durante la aceleración de un sprint, y se acerca a ser un análisis cinético del rendimiento del atleta en situaciones específicas y próximas a una competición real. Además, este índice nos sirve para comparar a un grupo de atletas y ver la capacidad técnica que tienen para aplicar fuerza con el fin de diferenciar su rendimiento. Como se ha comentado anteriormente, numerosas investigaciones han coincidido en que comparando sujetos del mismo grupo se ha observado que aquellos que han tenido un mejor rendimiento en un sprint de 100 metros se ha debido a que han tenido una mejor orientación del vector GRF

durante la aceleración y no debido a la mayor cantidad total de GRF ( $GRF_{TOTAL}$ ) (Colyer, Nagahara, Takai, et al., 2018; Kugler & Janshen, 2010; Morin et al., 2012; Morin, Edouard, et al., 2011; Rabita et al., 2015; Turner & Comfort, 2017).

Este análisis de la aplicación de fuerza durante todo el sprint va de la mano con la teoría que argumenta que el RF presente en cada apoyo de la carrera varía durante esta, y se observa que durante las primeras fases del sprint, sobre todo en la fase de aceleración temprana, el componente horizontal tiene unos valores altos y por lo consiguiente, produce un mayor RF (Turner & Comfort, 2017). Esto confirma lo explicado anteriormente mediante los diferentes estudios llevados a cabo y resalta la importancia de los primeros apoyos como el momento donde se observan los valores más altos del índice de fuerzas horizontales (RFmax). Esto es debido a las posiciones más inclinadas del tronco durante las primeras fases del sprint y las velocidades bajas de desplazamiento que hacen necesaria la aplicación de grandes cantidades de fuerza horizontal con el fin de lograr el desplazamiento hacia delante y acelerar el cuerpo (Colyer, Nagahara, Takai, et al., 2018; Turner & Comfort, 2017). Además, Rabita et al. (2015) concluyeron en que más allá de la capacidad de producir una elevada potencia o una gran cantidad de fuerza hacia adelante, la eficacia de la aplicación de la fuerza de los apoyos durante la fase de aceleración (representada por el ratio de fuerza promedio) es una de las capacidades más relacionadas con el rendimiento. Sin embargo, A medida que la velocidad va aumentando y el atleta se acerca a su velocidad máxima, el RF va descendiendo debido a la imposibilidad de mantener la aceleración (ya que va disminuyendo hasta ser 0), esto también es consecuencia de la reducción en los tiempos de apoyo y que debido a las posiciones más erguidas del cuerpo, se favorece la transmisión de las fuerzas antes que la generación de estas (Colyer, Nagahara, Takai, et al., 2018; Turner & Comfort, 2017).

Para cuantificar el descenso de la RF a medida que va aumentando la velocidad, recientes investigaciones han desarrollado un índice de la orientación de la fuerza (DRF). El DRF representa la capacidad de los corredores para producir y mantener valores óptimos de RF en toda la aceleración, a pesar del enderezamiento general de su cuerpo con el aumento de la velocidad. Es un mejor índice de la capacidad técnica de los corredores para aplicar la fuerza de forma efectiva en el suelo durante toda la fase de aceleración que la media o máxima RF (Morin, Edouard, et al., 2011; Morin, Samozino, et al., 2011).

Concretamente, en el estudio llevado a cabo por Morin, Edouard, et al. (2011) se mostró que la capacidad técnica de los velocistas, representada por la RF y el DRF, más que su capacidad física de producir fuerza total ( $F_{tot}$ ), está relacionada con la aceleración y el rendimiento específico en un prueba de 100 m. En este sentido, aquellos atletas que sean capaces de mantener su habilidad para producir fuerza horizontal mientras están acelerando y la mantienen a pesar del aumento de velocidad producirán mayores valores de DRF. En cambio, aquellos atletas que sus valores de RF disminuyan rápidamente a medida que aumentan su velocidad obtendrán valores bajos de DRF. Estos dos parámetros corresponden a capacidades diferentes e independientes y, por lo tanto, deberían ser el centro de programas y ejercicios de entrenamiento específicos. En este estudio se observó que una disminución del valor del DRF significa un enderezamiento más rápido del vector de fuerza total durante la aceleración desde el inicio del sprint. Además, una RF más baja al comienzo de la aceleración ( $RF_{max}$ ) se acumuló con un DRF más bajo (es decir, una pendiente más pronunciada de la relación RF-velocidad), lo que condujo a fases de aceleración más cortas y menos efectivas (Morin, Samozino, et al., 2011).

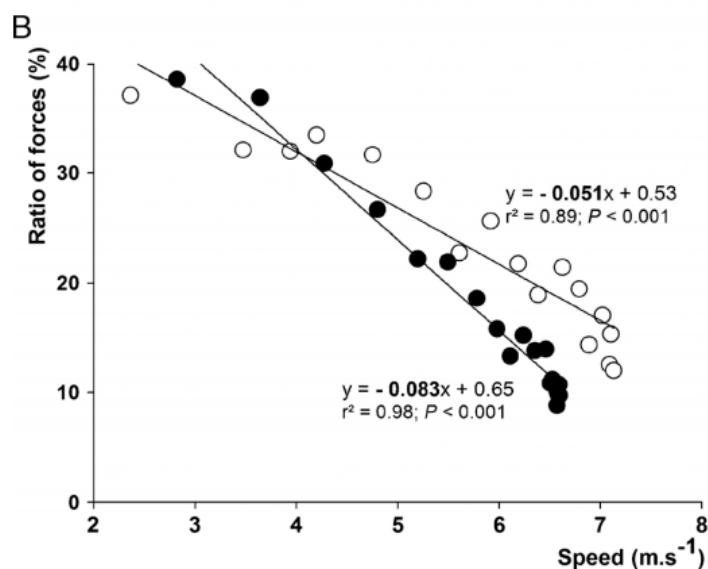
Además, estos autores resaltan la ventaja y la novedad de poder medir continuamente el GRF y el RF y calcular el DRF en toda la fase de aceleración de un sprint máximo, ampliando la visión y entendimiento sobre el rendimiento del atleta. De esta forma, la técnica de aplicación de la fuerza, y más precisamente la capacidad de limitar el descenso en la RF estaba altamente correlacionada con el rendimiento de los 100 m de campo. En conclusión, la forma en que los corredores aplican la fuerza en el suelo (capacidad técnica), más concretamente, aquellos que son capaces de generar las fuerzas en el vector horizontal y transmitir las en esa dirección mientras su velocidad va aumentando, tiene más importancia para el rendimiento del sprint que la cantidad de fuerza total que son capaces de producir (capacidad física) (Morin, Edouard, et al., 2011; Morin, Samozino, et al., 2011).

En la figura 4 podemos ver las diferencias que existen entre dos atletas a pesar de que los dos parten con la misma RF máxima inicial. A medida que va aumentando la velocidad, el sujeto 2 (puntos blancos) es capaz de mantener la producción de fuerza horizontal mientras que el sujeto 1 (puntos negros) no tiene tanta capacidad técnica para mantenerla.

Esto se traduce en un peor índice de DRF por parte del sujeto 1, y de esta forma se da una mejor visión del rendimiento de dos atletas que partían con mismos niveles de RF.

#### Figura 4

Relación lineal entre el RF y la velocidad durante la fase de aceleración en una cinta de correr (desde el segundo apoyo hasta el apoyo de máxima velocidad) entre dos sujetos, sujeto 1 (puntos negros), sujeto 2 (puntos blancos). Cada punto corresponde con los valores de RF y velocidad media durante el apoyo. A pesar de tener valores máximos de RF iniciales, sus DRF difieren fuertemente (Morin, Edouard, et al., 2011).



Diversas investigaciones han resaltado este índice como un indicador significativo del rendimiento y han observado que puede variar significativamente debido a la fatiga producida por series de sprint. Dado que como se ha comentado anteriormente de que la orientación del vector fuerza resultante aplicado contra el suelo durante el apoyo en la aceleración del sprint era más importante para el rendimiento que su magnitud, estos autores observaron que en sprint repetidos, donde la fatiga incide en el DRF, hay una mayor importancia de la capacidad relativa del sistema neuromuscular para seguir produciendo niveles relativamente altos de fuerza horizontal a velocidades altas y muy altas, en lugar de producir niveles muy altos de fuerza máxima (Morin et al., 2012).

Siguiendo con las alteraciones que provoca la fatiga en la aplicación de fuerza, se registraron cambios en la cinética de los sprints y en la cinemática en una serie de 12 sprints de 40 metros. Se observó que los picos positivos del GRF horizontal y los impulsos

positivos y netos horizontales disminuyeron, pero los picos del GRF vertical no cambiaron con la fatiga (Girard et al., 2011; Morin, Samozino, et al., 2011). Como la fuerza vertical máxima no se modificó por las repeticiones de sprint, es probable que las frecuencias de zancadas más lentas inducidas por la fatiga derivadas de los cambios en el desplazamiento vertical del centro de masa (disminución de la rigidez vertical) expliquen los tiempos de sprint más largos en las pruebas, no teniendo relación con los cambios en la longitud de las piernas (preservación de la rigidez de las piernas) (Girard et al., 2011). Este dato reafirma lo comprobado en otra investigación donde se muestra que los velocistas más rápidos son los que producen las mayores cantidades de impulso neto horizontal por unidad de masa corporal, y que el impulso de la fuerza de reacción del suelo vertical no está relacionado con el rendimiento de los velocistas de 40 metros. Además, dentro de esta mayor cantidad de impulso horizontal neto, los velocistas más rápidos son los que pueden "empujar más" (es decir, producir una mayor cantidad de impulso horizontal propulsor), pero no necesariamente "frenar menos" (es decir, producir una menor cantidad de impulso de frenado), especialmente en la sección de 0-20 m del sprint (Morin, Slawinski, et al., 2015).

### **Perfil F-v**

Durante un sprint, el atleta tiene que acelerar durante un periodo largo de tiempo y esto resalta la importancia que tiene la capacidad para aplicar de forma específica altas cantidades de GRF en dirección horizontal durante las diferentes fases y velocidades que se dan en la carrera. Estas capacidades están bien descritas mediante las relaciones fuerza-velocidad lineal (F-v) y potencia-velocidad (Morin et al., 2012; Morin, Samozino, Bonnefoy, Edouard, & Belli, 2010; Rabita et al., 2015; Samozino, Rejc, Di Prampero, Belli, & Morin, 2012). La relación fuerza-velocidad se describe mediante la relación de la capacidad que posee el músculo para generar fuerza y la máxima velocidad de movimiento. En esta relación, se observa que a una determinada producción de fuerza constante, esta disminuye a medida que aumenta la velocidad (Cross, Brughelli, Samozino, & Morin, 2017; Samozino et al., 2012).

Teniendo en cuenta que la potencia mecánica es el producto de la fuerza y la velocidad, la pendiente de la relación lineal F-V nos resalta la importancia de estas cualidades para determinar la potencia máxima de salida, y así, conocer el perfil F-V individual de cada

atleta (Morin et al., 2010). Además, estos perfiles de F-V describen los cambios que se producen en la producción de fuerzas horizontales a medida que aumenta la velocidad de carrera y se pueden resumir a través de sus dos variables principales: la fuerza horizontal máxima teórica que las piernas pueden producir durante una fase de contacto a velocidad nula (FH0), y la velocidad máxima teórica que las piernas pueden producir durante la misma fase con una carga cero ( $v_0$ ) (Morin et al., 2012). En este sentido, y puesto que estas dos capacidades (producir la mayor fuerza y velocidad de contracción posible) están conectadas, la relación F-V define la capacidad de producir y maximizar la potencia. La potencia máxima (Pmax) es el pico de la relación entre la fuerza y velocidad obtenida en un preciso momento de una contracción (Cross, Brughelli, Samozino, & Morin, 2017). Por lo tanto se puede concluir que la mejora de la potencia puede venir por el incremento de la habilidad de generar fuerzas a baja velocidades, siendo un perfil de fuerza, o mejorando la velocidad a bajos niveles de fuerza, en este caso el perfil sería orientado a la velocidad. Pero además de las dos orientaciones anteriores, la mejora de la potencia puede venir dada por la mejora de los dos parámetros, tanto de la velocidad como de la fuerza (Morin & Samozino, 2016).

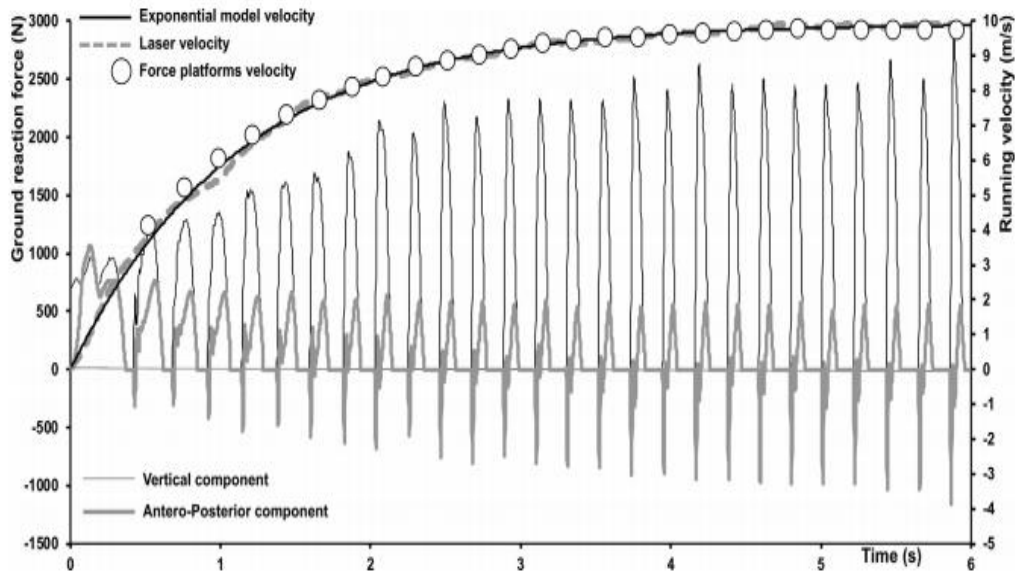
Estas variables que se obtienen por este método fueron obtenidas mediante mediciones en un entorno controlado, en un laboratorio con una cinta de correr con una plataforma de fuerzas integrada (Morin et al., 2012; Morin et al., 2010). La gran necesidad de medir al atleta en su entorno específico, es decir en una pista y realizando un sprint, dieron a estos autores a desarrollar y validar un método simple para obtener las variables anteriormente descritas. Este método se basa en un cálculo inverso y macroscópico del análisis del centro de masas durante la carrera. Los tiempos y la velocidad en ellos son ajustados mediante funciones exponenciales y la velocidad instantánea derivada es usada para calcular la fuerza horizontal neta en el plano antero-posterior durante el contacto con el suelo (F) y la potencia en la dirección horizontal (P) (Samozino et al., 2016). En la figura 5 se puede ver lo explicado y las variables que se obtienen mediante el registro de un sprint con el radar.

### **Figura 5**

*Ejemplo de una curva velocidad, fuerzas de reacción del suelo verticales y anteroposteriores durante los primeros 6 segundos de un sprint de 60 metros. Las líneas*



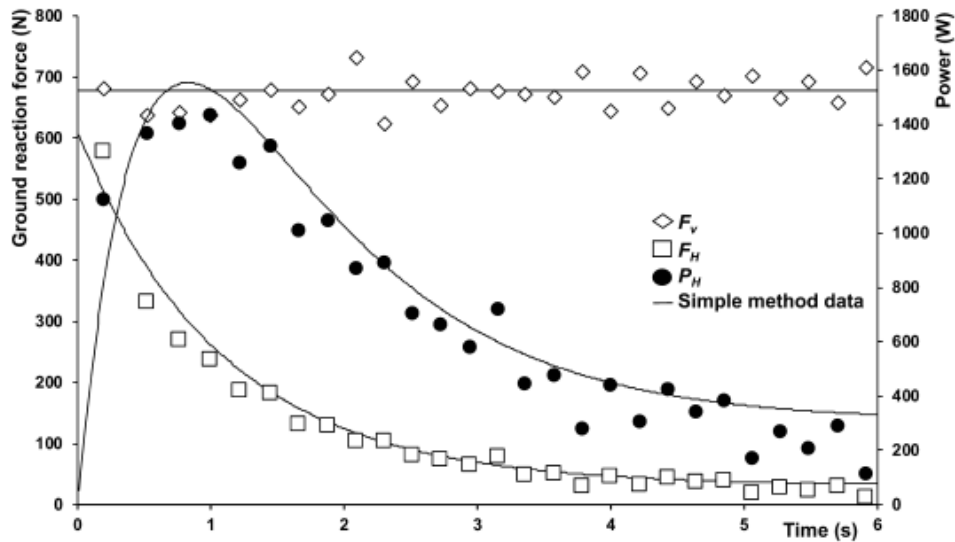
discontinuas son las muestras recogidas por el radar, los círculos blancos son la aplicación de fuerza extrapolada y la línea continua negra hace referencia al modelo exponencial de la velocidad (Morin, Samozino, Murata, Cross, & Nagahara, 2019).



A partir de aquí, se puede extraer la relación lineal de las variables fuerza-velocidad individualizada donde se puede extrapolar para calcular la máxima fuerza teórica ( $F_0$ ), y velocidad ( $v_0$ ) y teniendo estas dos variables se puede obtener la máxima potencia horizontal externa ( $P_{max}$ ) (figura 6).

### Figura 6

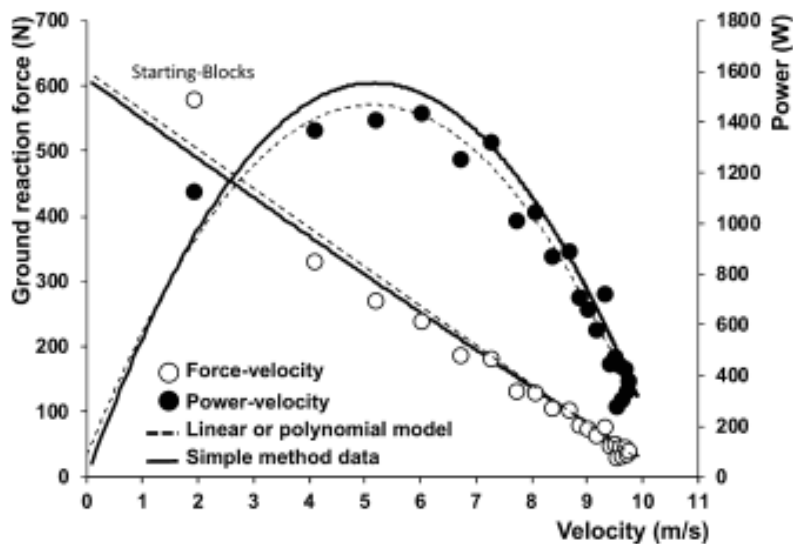
Se muestran los componentes de la fuerza de reacción del suelo en el vector vertical y antero-posterior de cada apoyo durante la aceleración. El método simple hace referencia a las líneas continuas oscuras. Donde los romboides blancos son la fuerza vertical ( $F_v$ ), los cuadrados blancos son la fuerza horizontal ( $F_h$ ) y la potencia horizontal está representada por los círculos negros (Morin et al., 2019).



La relación F-v se describe mediante la máxima fuerza horizontal teórica ( $F_0$ , expresada en  $\text{N}\cdot\text{kg}^{-1}$ ) que las piernas pueden producir en contacto con el suelo cuando la velocidad es nula; y en el otro caso, la máxima velocidad teórica ( $v_0$ , que está expresada en  $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ ) que se puede producir durante la fase de contacto sin que se produzca fuerza. Esto representa que atletas que tengan valores altos de  $F_0$  tienen una capacidad alta de aplicar fuerza horizontal a velocidades bajas, es decir, una gran capacidad de acelerar. Si su valor de  $v_0$  es alto, los atletas serán capaces de generar fuerza horizontal en altas velocidades, es decir, su rendimiento es destacado en las fases donde se consigue la máxima velocidad (figura 7).

### Figura 7

*Ejemplo típico de relaciones de fuerza-velocidad y de potencia calculadas a partir de valores promediados por apoyos (círculos blancos y negros, líneas discontinuas) y utilizando el método simple (líneas continuas negras) (Morin et al., 2019).*



A partir de estos análisis realizados por el método simple propuesto por estos autores, obtenemos variables importantes para interpretar los resultados y el rendimiento que ha tenido el atleta en su contexto deportivo. Las variables más importantes han sido descritas anteriormente, y son las siguientes (Morin & Samozino, 2016):

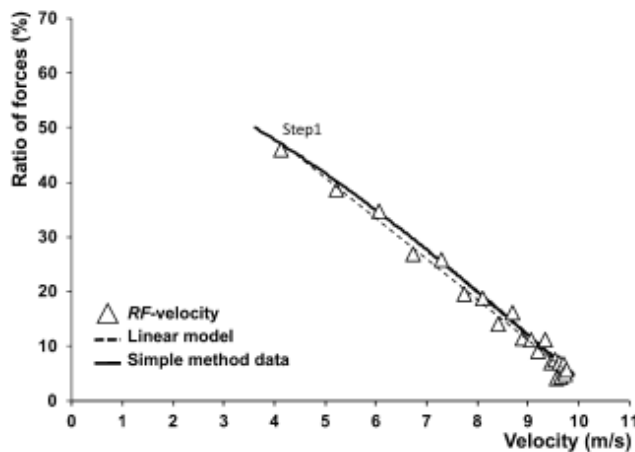
- HZT-F0. Representa la producción de fuerza máxima teórica (por unidad de masa corporal) en la dirección horizontal, extrapolada a partir de la relación lineal F-v. En este caso corresponde al empuje inicial del atleta hacia el suelo durante la aceleración del sprint. Cuanto más alto es el valor, mayor es la producción de fuerza horizontal específica del sprint (figura 8).
- HZT-V0. Representa la velocidad máxima teórica de carrera extrapolada de la relación lineal F-v. La velocidad máxima teórica de carrera que el atleta sería capaz de alcanzar si las resistencias mecánicas (es decir, internas y externas) contra el movimiento fueran nulas. También representa la capacidad de producir una fuerza horizontal a velocidades de carrera muy altas (figura 8).
- HZT-Pmax. Representa la potencia mecánica máxima de salida en la dirección horizontal, calculada como  $P_{max} = F_0 \times V_0/4$ . Capacidad de potencia máxima del atleta en la dirección horizontal (por unidad de masa corporal) durante la aceleración del sprint (figura 8).
- RF. Ratio de fuerza, calculada como la relación entre el componente horizontal promedio de la fuerza de reacción del suelo y la correspondiente fuerza resultante.

Es la medición directa de la proporción de la producción total de fuerza que se dirige en la dirección del movimiento hacia adelante, es decir, la eficacia mecánica de la aplicación de la fuerza del atleta. Cuanto más alto es el valor, más importante es la parte de la producción total de fuerza dirigida hacia adelante (figura 8).

- RFmax. Valor máximo de RF, Es la máxima eficacia de la aplicación de la fuerza teórica. Medición directa de la proporción de la producción total de fuerza que se dirige en la dirección de movimiento hacia adelante en el inicio del sprint (figura 8).
- DRF. La tasa de disminución de la RF con el aumento de la velocidad durante la aceleración del sprint, calculada como la pendiente de la relación lineal RF-V. Describe la capacidad del atleta de limitar la inevitable disminución de la eficacia mecánica con el aumento de la velocidad, es decir, un índice de la capacidad de mantener una producción de fuerza horizontal neta a pesar del aumento de la velocidad de carrera. Cuanta más negativa es la pendiente, más rápido se pierde la eficacia de la aplicación de la fuerza durante la aceleración, y viceversa.

### Figura 8

Representación del método simple lineal (línea continua) con el modelo lineal (línea discontinua) de la variable ratio de fuerza (RF) (Morin et al., 2019).



Por lo tanto, mediante el análisis de las relaciones F-v mediante este tipo de metodologías permite evaluar la capacidad del sistema neuromuscular para generar la máxima potencia. Estos parámetros integran diferentes características mecánicas del sistema neuromuscular durante la carrera de sprint como la composición de las fibras musculares, las

características estructurales, la disposición anatómica de las articulaciones, los niveles de activación neuronal y los aspectos técnicos (Cormie, McGuigan, & Newton, 2011). Con esta herramienta, se proporciona una visión integradora del perfil mecánico F-v de un atleta en su contexto específico deportivo, un sprint (Morin et al., 2012; Rabita et al., 2015). Además, las variables obtenidas a partir de las relaciones F-v, P-v y RF-v proporcionan información clave sobre las capacidades de fuerza, velocidad y potencia, y sobre la eficacia de la aplicación de la fuerza. Esta información obtenida es de gran interés para optimizar el rendimiento de la aceleración de la carrera de velocidad mediante la comparación de las cualidades P-F-v de los diferentes atletas, con el fin de realizar una mejor orientación y una individualización de los ejercicios mediante el control y supervisión de entrenamiento o rehabilitación en los deportes que utilizan aceleraciones de velocidad (por ejemplo, eventos de atletismo, deportes de equipo) (Samozino et al., 2016).

### **Entrenamiento para la mejora del sprint**

Está claro que el interés por saber cuáles son los mejores métodos de entrenamiento en las diferentes especialidades deportivas es uno de los objetivos de cualquier entrenador, preparador y/o atleta. Muchos han sido los entrenamientos que se han estudiado para dar con la clave del rendimiento óptimo. Numerosos estudios han tenido como objetivo principal la mejora del rendimiento del sprint a través de protocolos de entrenamiento. Estos protocolos se basan en la experiencia y en las nuevas perspectivas, por eso se pueden encontrar protocolos en base a entrenamientos de sprint resistido, asistido, libre, entrenamientos de fuerza (mediante ejercicios no específicos), potencia, pliométricos y por último, una combinación de todos ellos (Rumpf, Lockie, Cronin, & Jalilvand, 2016).

Dada la importancia de los músculos extensores de cadera a medida que se desarrollan las diferentes fases de un sprint, tal y como se ha explicado anteriormente, es posible que a medida que la demanda del movimiento aumenta, los individuos encuentren que son capaces de moverse más rápido o levantar más peso inclinándose más hacia adelante, lo que puede llevar a un cambio en la proporción de momentos de extensión de la cadera y la rodilla a favor de la cadera (Beardsley & Contreras, 2014). El fortalecimiento de los músculos de la cadena posterior se traduce en una mejora de una acción compleja como la velocidad máxima de sprint, donde teóricamente los músculos de los isquiotibiales son

claves en el movimiento (Beardsley & Contreras, 2014; Lockie, Murphy, Schultz, Knight, & Janse de Jonge, 2012; Mendiguchia et al., 2015; Moran, Sandercock, Rumpf, & Parry, 2017). Además, el entrenamiento centrado en acciones para el desarrollo de la fuerza concéntrica puede respaldar el rendimiento de los sprints en distancias más cortas, mientras que las actividades de estiramiento pueden tener más influencia a medida que aumenta la distancia (Moran et al., 2017). Por otro lado, se ha observado que un aumento de la fuerza excéntrica de los isquiotibiales, y a su vez, la relación funcional H/Q, ayuda a la mejora de la aceleración durante un sprint (Mendiguchia et al., 2015). Estos datos corroboran que para que los atletas entrenen con el objetivo de producir la máxima potencia y velocidad, ya sea en el plano sagital o frontal, el desarrollo de la fuerza muscular de los extensores primarios de la cadera (es decir, el glúteo mayor y los isquiotibiales) debe ser un objetivo principal. En este sentido, ejercicios que beneficien esas mejoras y que proporcionen un trabajo complementario en el gimnasio deben comprender movimientos de cadera dominantes, tanto bilaterales como unilaterales (Mendiguchia et al., 2015). Estos ejercicios son peso muerto rumano, buenos días, extensiones de espalda, empujes de cadera (*hip thrust*) con pesas y/o *swings*, zancadas (Beardsley & Contreras, 2014; Mendiguchia et al., 2015).

Otra de las variables a tener en cuenta cuando realizamos entrenamientos con cargas altas, del 60-100% del RM, es de las adaptaciones que se generan y cómo afectan al rendimiento. Este efecto llamado tapering, busca producir un estímulo y/o sobrecarga en el sistema neuromuscular con el fin de mediante la disminución o desaparición del estímulo, provocar una mejora en la fuerza. Diversos estudios han observado que a partir de un protocolo de entrenamiento, donde se ha sobrecargado el sistema neuromuscular, las adaptaciones a ese entrenamiento no han aparecido inmediatamente, sino después de un periodo de tiempo. Por ejemplo, un estudio determinó que el tiempo óptimo de tapering, donde se producen las mejoras y los picos de rendimiento relacionados con el sprint, la fuerza y el RSA (*repeat sprint ability*), se obtienen entre 1 y dos semanas de duración (Marrier et al., 2017). Pero en casos donde el entrenamiento y el estímulo sea demasiado intenso, ese pico de rendimiento puede que no se de en ese periodo de tiempo. En este sentido, otros autores han encontrado que después de un protocolo intenso de fuerza el rendimiento en 40 metros no se vio aumentado después de 7 días (Coutts, Reaburn, Piva, & Rowsell, 2007).

Más variables que tienen un peso importante a la hora de la planificación son la intensidad, volumen y frecuencia de los entrenamientos de fuerza para la mejora del sprint. En este sentido, diversas revisiones han observado que el aumento del rendimiento en el sprint mediante programas de entrenamiento basados en el trabajo de fuerza viene precedido por sesiones realizadas entre 2-4 veces por semana a 60-100% de 1RM (Bolger, Lyons, Harrison, & Kenny, 2015). Estos autores destacan la importancia de una base de fuerza general junto con la programación de fuerza específica orientada para el entrenamiento de los velocistas competitivos. Además, esta revisión hace ver cómo las diferentes formas de entrenamiento de fuerza dan como resultado mejoras en el rendimiento, aunque establecen que no hay un modelo claro que sea óptimo para el desarrollo de la velocidad (Bolger et al., 2015).

En cuanto a la especialización y el uso de los diferentes protocolos, se ha comprobado que una de las mejores opciones es que a medida que el atleta avanza, el trabajo de fuerza podría pasar a ser una transición hacia variaciones más especializadas de sentadillas y levantamiento de pesas (ejercicios complementarios), ejercicios pliométricos de mayor intensidad y entrenamiento de sprint con resistencia. De esta manera, un enfoque multidisciplinar en atletas jóvenes parece ser el mejor (Moran et al., 2017).

Todos los estudios han tenido una fuerte influencia por la importancia de la transferencia entre el entrenamiento y la competición. Es de vital importancia conocer las características del sprint para saber el tipo de entrenamiento adecuado a cada fase de este. Que el entrenamiento sea específico y otorgue mejoras en competición, es uno de los grandes retos de cualquier profesional involucrado en el rendimiento (Turner & Comfort, 2017). Como se ha explicado anteriormente, el componente horizontal es clave en el rendimiento de sprint, siendo fundamental en la fase de aceleración. Por eso, muchos métodos de entrenamiento, tradicionalmente aceptados parecen no ser muy efectivos a la hora de desarrollar la aplicación de fuerza horizontal ya que la orientación del trabajo de fuerza en la mayoría de estos métodos es vertical (Turner & Comfort, 2017). Sin embargo, la importancia de la aplicación de fuerza en ambas direcciones (vertical y horizontal) es fundamental para la carrera, aunque como se ha dicho más arriba, el componente horizontal es de vital importancia en la fase de aceleración (Morin et al., 2012; Morin, Gimenez, et al., 2015; Rabita et al., 2015). Como se ha visto mediante una revisión, el

trabajo para la ganancia de fuerza en la extremidades inferiores puede afectar positivamente al rendimiento durante el sprint, aunque la importancia de la dirección donde se genera la fuerza refuerza que los ejercicios seleccionados deben ir enfocados a la mejora de la producción de fuerza específica en el sprint, más concretamente a la mejora de la fuerza horizontal (Beardsley & Contreras, 2014; Contreras et al., 2017; Seitz, Reyes, Tran, Saez de Villarreal, & Haff, 2014).

Por tanto, sabiendo que la velocidad y dirección de la fuerza son parámetros claves para tener unas adaptaciones específicas durante el entrenamiento, conocer las variables que nos aporta el perfil F-v puede ser una estrategia perfecta para individualizar el entrenamiento. Por tanto, conociendo el concepto que fuerza se desarrolla a una determinada velocidad, podemos realizar un mapa completo de las características necesarias para que los ejercicios seleccionados trabajen unas determinadas variables (Turner & Comfort, 2017). Siendo el caso que la variable a mejorar sea la  $F_0$  (que es la representación de la máxima fuerza teórica a velocidad nula), es comprensible que los ejercicios seleccionados sean realizados desarrollando altas fuerzas en velocidades bajas. Mientras que para desarrollar la  $v_0$ , los ejercicios deberían ser para mejorar la fuerza a una alta velocidad. Este método, facilita el seguimiento de los atletas durante sus periodos de entrenamiento, aportando mucha información sobre los parámetros claves del sprint, por lo que puede usarse durante largos periodos de tiempo (Morin & Samozino, 2016).

El control del entrenamiento utilizando el análisis del perfil F-v y de las variables del sprint, nos puede indicar cómo los factores determinantes en el rendimiento van cambiando a lo largo de la temporada. Este punto es muy importante porque nos aporta una herramienta útil y sencilla con el fin de orientar los entrenamientos. Como se ha observado en estudios prolongados durante una temporada, los cambios en deportes donde la fase de aceleración temprana es clave en el rendimiento pueden ser variados comparando los obtenidos durante la pretemporada y los obtenidos a final de temporada. Por eso, el seguimiento es muy importante, y en este caso, valores clave como la  $F_0$  puede experimentar un descenso en el final de temporada. Mediante un entrenamiento específico al conocer ese descenso, se podrían reajustar los estímulos con el fin de mejorar la capacidad de esprintar, y así, mejorar la velocidad máxima y las capacidades de aceleración temprana (Jiménez-Reyes et al., 2020).



Como se ha descrito arriba, es importante saber interpretar esas variables debido a que nos aportan información valiosa y práctica sobre el rendimiento de los atletas en las diferentes etapas de su temporada. A partir del análisis individualizado, viene la configuración del entrenamiento que mejor se ajusta al desarrollo óptimo de las variables ( $F_0$ ,  $v_0$ ,  $P_{max}$ ,  $DRF$  y  $RF$ ) que necesiten ser mejoradas o incrementadas. De estas variables presentadas y con la información presentada en las páginas anteriores, cualquier programa de entrenamiento basado en el perfil  $F-v$  tiene como objetivo último, la mejora de la  $P_{max}$ . Esta mejora puede venir dada por la mejora de sus componentes, tanto la  $F_0$ , la  $v_0$  o ambos (Morin & Samozino, 2016; Turner & Comfort, 2017). Aunque es complejo, conocer el estado de las variables de los atletas es un paso importante para el diseño de los programas de entrenamiento, ya que mediante estos datos se puede programar el entrenamiento en base a las características que se quieran mejorar. La siguiente guía, ha sido establecida durante los recientes años por numerosos autores, facilitando la comprensión de las distintas partes del perfil  $F-v$  para establecer una división clara de los diferentes espectros de la relación (Morin & Samozino, 2016; Turner & Comfort, 2017). Como se puede ver en la siguiente figura 9, la relación lineal del perfil fuerza velocidad se puede dividir en 3 fases, adaptado de Turner and Comfort (2017):

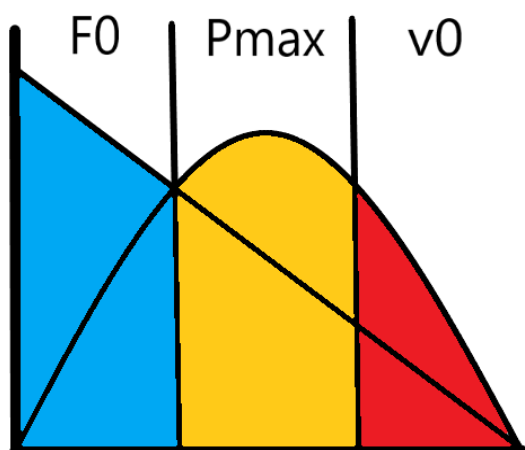
Fase de fuerza ( $F_0$ ): Se debe centrar en ejercicios donde la aplicación de fuerza es de grandes cantidades en velocidades bajas. Esto facilitará la mejora de los componentes  $F_0$  y  $RF$  del perfil  $F-v$ .

Fase de potencia máxima ( $P_{max}$ ): El objetivo de los ejercicios debe estar en la aplicación de fuerzas medias a velocidades medias. Esto da como resultado una mejora de la variable  $P_{max}$  del perfil  $F-v$ .

Fase de velocidad ( $v_0$ ): En esta fase, los ejercicios deben centrarse en la aplicación de fuerzas bajas en velocidades altas. Como resultado, se producirá un incremento del rendimiento de las variables  $DRF$  y  $v_0$  del perfil  $F-v$ .

### **Figura 9**

*Representación de las zonas del perfil  $F-v$  para la selección de ejercicios. Las variables son la  $F_0$  (zona azul),  $P_{max}$  (zona naranja) y la  $v_0$  (zona roja).*



Siguiendo las indicaciones de los autores citados anteriormente (Turner & Comfort, 2017), se va a revisar los entrenamientos que podrían incrementar la mejora de las variables descritas arriba.

### **Variables F0 y RF**

En la fase de aceleración temprana, comienza con velocidades bajas y grandes cantidades de fuerza, dirigiendo el vector de GRF en dirección horizontal (Colyer, Nagahara, & Salo, 2018; Hunter et al., 2005; Kawamori et al., 2013; Kugler & Janshen, 2010; Morin et al., 2012). Además las posiciones del cuerpo inclinadas que se mantienen durante esta fase, favorecen la propulsión debido a mayores tiempos de contacto en el suelo y debido a la orientación horizontal del vector GRF (Hunter et al., 2005).

Por lo tanto, en la búsqueda de ejercicios que desarrollen la capacidad de generar altas fuerzas en dirección horizontal a velocidades bajas lleva a pensar en arrastrar, tirar o cargar con un trineo pesado con el fin de generar una resistencia horizontal (Petrakos et al., 2016; Rumpf et al., 2016), siendo uno de los métodos más estudiado para el desarrollo de la fuerza horizontal durante el sprint. Durante el sprint, el atleta generará una fuerza horizontal neta igual al producto de la masa total del sistema (es decir, la masa del cuerpo ( $m$ ) multiplicada por la aceleración que se produce ( $ah$ ), combinada con la resistencia aerodinámica ( $F_{aero}$ ) para presentar un valor de fuerza horizontal final (es decir,  $F_h = m \cdot ah + F_{aero}$ ) (Cross, Tinwala, et al., 2017).

Aunque es uno de los métodos que más controversia ha generado por la escasa evidencia

que existe. Sin embargo, para cumplir con las pautas anteriores, cabe pensar que el entrenamiento de arrastres pesados puede ser de gran ayuda para desarrollar grandes fuerzas horizontales, a bajas velocidades y con una inclinación del cuerpo parecida a los primeros apoyos durante la aceleración ayudando al atleta a no caerse buscando esa inclinación provocada por la alta carga que arrastra (Turner & Comfort, 2017). Esto ayuda a desarrollar la fuerza de los extensores de cadera, rodilla y tobillo con el fin de generar una propulsión (Beardsley & Contreras, 2014).

Uno de los estudios que mejores resultados obtuvo se llevó a cabo con jugadores de fútbol amateur con el fin de mejorar la producción de fuerza horizontal. Estos autores utilizaron arrastres muy pesados (por encima del 80% de la masa corporal), y determinaron que el entrenamiento con trineos muy pesados (80% MC) es efectivo para la mejora del rendimiento del sprint en distancias de 5 y 20 metros. Además, se mejoró la eficacia mecánica de los jugadores a la hora de realizar sprints en corta distancia, es decir, se produjo una mejora de la fase de aceleración temprana, donde la aplicación de fuerza horizontal es clave. Por lo tanto, estos autores concluyen con que este método de entrenamiento es válido para desarrollar específicamente las variables F0 y RFmax, y puede ser interesante usarlo en el contexto de un entrenamiento individualizado basado en el perfil de fuerza-velocidad en el sprint para esos atletas que son deficientes en la fuerza horizontal máxima o eficacia mecánica (Morin et al., 2017). Es importante resaltar, que estos autores no observaron cambios significativos en las variables  $v_0$  y DRF. Esto puede ser porque el método de entrenamiento es específico de la fase de aceleración temprana (F0 altas a velocidades bajas) y refuerza la teoría que se está describiendo.

En esta línea, se ha comprobado que este método de arrastres pesados, tan controvertido tradicionalmente, puede ser muy útil a la hora de desarrollar fuerzas horizontales. El trabajo con arrastres pesados puede mejorar el rendimiento en la aceleración del sprint y enseña a los atletas a dirigir el impulso de GRF más horizontalmente, algo que como ya se ha descrito anteriormente, es fundamental en el sprint. Además, estos autores afirman que es posible que el remolque de trineos con pesas mejore las capacidades neuromusculares involucradas en el sprint de una manera específica, y son estos músculos más fuertes y poderosos los que permiten a los atletas dirigir el impulso de GRF más horizontalmente, lo que no era posible con músculos más débiles (Kawamori, Newton,

Hori, & Nosaka, 2014). Por último, respecto a la regla no escrita tradicionalmente de no sobrepasar el 10% del peso corporal en los trabajos de arrastres, estos autores concluyen que no pudieron validar esta pauta indican el beneficio potencial de usar una carga más pesada para el remolque de trineos con peso (Kawamori et al., 2014).

Algunas revisiones han observado que el entrenamiento resistido, es uno de los más específicos a la hora de la mejora del sprint, ya que se han visto mejoras en la parte de la aceleración (0-30 metros) (Beardsley & Contreras, 2014). Estos autores observaron que cargas altas de entrenamiento (mayores al 10% de peso corporal o un peso que causará una disminución de más del 10% en el tiempo de sprint) pueden aumentar la velocidad de sprint, y además aumentar la producción de fuerza horizontal, además de aumentar la longitud de zancada y reducir los tiempos de contacto (Rumpf et al., 2016). En otro estudio se observó que las mejoras en la aceleración después del entrenamiento de sprint libre y/o resistido parecen estar relacionadas principalmente con el aumento de la potencia de salida horizontal y reactiva, lo que permite a los atletas aplicar la fuerza de manera más eficiente durante los contactos con el suelo (Lockie et al., 2012). Otra revisión establece que puede ser interesante el uso del entrenamiento resistido, siendo un método eficaz para mejorar el rendimiento del sprint, principalmente mediante la mejora de la fase de aceleración temprana (Alcaraz, Carlos-Vivas, Oponjuru, & Martínez-Rodríguez, 2018). Aunque estos autores indican que este método no es más eficaz que el mismo entrenamiento sin sobrecarga ya que no observaron diferencia entre los grupos con trineos y controles (mismo entrenamiento sin trineo). Además, insisten en que las cargas > 20% de MC pueden mejorar la fuerza máxima, siempre y cuando se respete el patrón de movimiento, y el atleta no modifique sustancialmente su técnica de carrera (Alcaraz et al., 2018).

Como podemos observar, hay discrepancia en los resultados obtenidos, donde muchos resultados obtenidos no presentan diferencias entre los métodos de entrenamiento resistido y entrenamiento de sprint sin carga (SSC). En la misma línea de controversia, otros autores encontraron que el uso a largo plazo (8 semanas) del entrenamiento con arrastres sólo tiene una influencia relativamente menor en la cinemática de la aceleración y la marcha y además, el rendimiento de la aceleración, la fuerza reactiva, la potencia de las extremidades inferiores y el rendimiento del SSC horizontal se mejoraron, pero no de

forma más eficaz que mediante un programa de entrenamiento no resistido (Spinks, Murphy, Spinks, & Lockie, 2007). Estos autores determinan que la utilización de una carga de trineo del 10% de la masa corporal parece asegurar que la cinemática de la aceleración no se vea afectada negativamente, mientras que se sigue sobrecargando la mecánica de aceleración de un atleta y desarrollando el reclutamiento específico de los extensores de la cadera y la rodilla, lo que resulta en una mayor aplicación de poder en la dirección horizontal (Spinks et al., 2007).

En resumen, el entrenamiento realizado bajo una determinada condición de carga de sprint resistida puede pasar a adaptaciones específicas de la fase en el sprint. Es importante señalar que, aunque esta teoría destaca que las cargas muy pesadas previamente reprimidas por otros estudios (Alcaraz et al., 2018; Alcaraz, Palao, & Elvira, 2009) se puede observar un desarrollo de fuerza o potencia horizontal máxima a velocidades bajas (Cross, Brughelli, Samozino, Brown, & Morin, 2017; Cross, Samozino, Brown, & Morin, 2018; Morin et al., 2017).

### **Variable Pmax**

Esta fase, tal y como está descrita en las páginas anteriores, se caracteriza por la generación de fuerzas medias a velocidades medias. Estas características se dan después de la fase temprana de la aceleración y de los primeros apoyos. Esta fase se caracteriza por la búsqueda de la carga óptima con el fin de desarrollar la potencia óptima, que es el resultado de la combinación de la fuerza y velocidad óptimas (Turner & Comfort, 2017). Medir la producción de potencia que genera un atleta en un determinado movimiento puede dar claves para la orientación del entrenamiento, ya sea para el desarrollo de la potencia máxima, alguna capacidad determinante que necesite mejora o de otra capacidad ligada al contexto específico del rendimiento del deportista. La carga óptima puede determinarse a partir de un solo sprint, siempre que se conozcan las características del coeficiente de fricción de la superficie donde se realiza el test (Cross, Samozino, et al., 2018).

En la misma línea, se conoce que el entrenamiento en torno a las condiciones óptimas de potencia se considera en general un medio eficaz para mejorar el Pmax, con pruebas de los beneficios en una variedad de capacidades neuromusculares y fisiológicas (Cross,

Brughelli, Samozino, Brown, et al., 2017). Estos autores dan una visión sencilla de la introducción de las cargas óptimas en el entrenamiento ya que su ejecución es transferible al gesto competitivo. A partir de esta investigación, se determinó que el perfil óptimo se puede calcular, además estos autores defienden que la utilización de cargas óptimas para la máxima potencia son mucho mayores que la que se utiliza actualmente en la literatura. En este sentido, establecen que la carga óptima ( $L_{opt}$ ) en torno al 69-96% del peso corporal y una reducción de la velocidad óptima ( $v_{opt}$ ) con respecto a la velocidad máxima del 48-52%. En cambio, otros autores recomiendan cargas por debajo del 43% del peso corporal y que no se traduzcan en una reducción del 30% de la velocidad máxima ( $v_{max}$ ). Esto da una nueva perspectiva e intenta dar luz a la controversia que existe en torno a las directrices con las que se implementan los sprints resistidos (Cross, Brughelli, Samozino, Brown, et al., 2017).

Este estudio, da unas pautas que ayudan a mejorar este espectro del perfil F-v, ya que estas técnicas pueden integrarse en el entrenamiento permitiendo a un atleta trabajar a la máxima velocidad resistida (a través de su carga óptima ( $L_{opt}$ ) o carga que genere una disminución de más o menos el 50% en la disminución de su velocidad máxima de sprint y además, mantener el máximo esfuerzo que permita un trabajo prolongado con el fin de maximizar la potencia (por ejemplo: alrededor de los 5 segundos de trabajo o 10-20 m de distancia de arrastre) (Cross, Brughelli, Samozino, Brown, et al., 2017).

En este sentido, y para reforzar la teoría de la efectividad de este entrenamiento dentro del debate sobre la idoneidad de las cargas altas de arrastres, se llevó a cabo un estudio para ver cómo cambiaban las variables del perfil F-v mediante el uso de la carga óptima para el desarrollo de la  $P_{max}$ . Los protocolos se dividieron en dos grupos, en el primero utilizaron cargas que representaban la máxima potencia de salida ( $L_{opt}$ ) y una disminución del 50% en la velocidad máxima de sprint sin resistencia. En el segundo grupo, se usaron cargas más ligeras, que representaban una disminución del 10% en la velocidad máxima de sprint sin resistencia. La muestra utilizada en este estudio estuvo compuesta por futbolistas y jugadores de rugby, que tuvieron su análisis individualizado con el fin de sacar la carga óptima para el desarrollo de la máxima potencia ( $L_{opt}$ ) y la carga que supusiera una pérdida del 10 % en la velocidad máxima. La intervención estaba compuesta de 12 sesiones donde se realizaba un entrenamiento de 10 repeticiones de 20

metros de arrastres (cada grupo con su peso correspondiente; L10 o Lopt). Los resultados que obtuvieron estos autores al cabo de 12 semanas fueron que ambos protocolos obtuvieron similares mejoras en las variables mecánicas del perfil F-v, por lo que no se pudo esclarecer si el protocolo a través de la potencia óptima es más efectivo a la hora de mejorar la Pmax (Cross, Lahti, et al., 2018). Además, estos autores señalan que los resultados tan variados obtenidos pueden deberse a que las adaptaciones pueden depender de las características de fuerza-velocidad previas al entrenamiento. Señalando de esta forma, que sería interesante ver las adaptaciones que podría tener una muestra especializada en este tipo de entrenamientos, como son los atletas de velocidad. Otro de los aspectos a tener en cuenta para explicar los resultados obtenidos por estos autores, y que ellos mismos señalan, son las adaptaciones que provocan los entrenamientos resistidos de alta intensidad. Por ejemplo, se determinó que el tiempo óptimo de tapering, donde se producen las mejoras y los picos de rendimiento relacionados con el sprint, la fuerza y el RSA, se obtienen entre 1 y dos semanas de duración (Marrier et al., 2017), mientras que en esta investigación, se realizaron los post-test justo a la semana siguiente de la finalización del entrenamiento. En este sentido, Cross, Lahti, et al. (2018), señalan que podría ser interesante ver los efectos que produce este tipo de entrenamiento en las variables mecánicas del perfil F-v a lo largo de varias semanas de seguimiento.

### **Variables $v_0$ y DRF**

Mientras la velocidad va incrementando durante la fase de aceleración, tal y como se ha explicado anteriormente, la aplicación de fuerza va cambiando. Durante la fase de máxima velocidad, la posición del cuerpo es casi vertical, donde la rodilla realiza una extensión durante la fase de apoyo, por lo tanto, la única forma de llevar el pie hacia atrás es mediante la extensión de cadera (Turner & Comfort, 2017). Esta acción es de vital importancia y puede ser un factor limitante para la aplicación de fuerzas horizontales, ya que los atletas que producen altos valores de RF y por lo tanto, tienen una alta efectividad mecánica, son mejores en la producción de fuerzas horizontales a altas velocidades (Morin et al., 2012). Teniendo en cuenta estas características que se dan en esta fase, se puede determinar que para el desarrollo de las variables mecánicas relacionadas con este espectro del perfil F-v ( $v_0$  y DRF) es necesario un trabajo que enfatice en la aplicación de fuerzas a altas velocidades, donde los extensores de cadera se activen altamente.

Observando la gran cantidad de bibliografía sobre la mejora de la velocidad en el sprint, se ha visto que uno de los métodos que puede ser clave en el desarrollo de esas variables mecánicas es el entrenamiento de sprint, sin cargas ni asistido. Este método puede ser el más eficaz para la mejora de la fase de máxima velocidad (a partir de 30 metros) (Rumpf et al., 2016). Además, hay que tener en cuenta la selección de ejercicios que ayuden a aumentar el índice de desarrollo de la fuerza en menos de 0,10 s puede ser muy importante para mejorar la velocidad máxima de sprint en jugadores que ya son capaces de alcanzar altas velocidades de sprint (Barr et al., 2014). Por otro lado, Cross, Samozino, et al. (2018), recomiendan que un entrenamiento de arrastres en el cual las cargas ligeras (por ejemplo, un descenso de más o menos el 10% en  $v_{max}$ ) podrían proporcionar un estímulo efectivo para el desarrollo de la fuerza horizontal a velocidades altas. Este tipo de ejercicios podrían ser efectivos en la mejora de la  $v_0$  y del DRF a través de la aplicación de fuerzas a altas velocidades (Turner & Comfort, 2017).



# **JUSTIFICACIÓN**



## 2. JUSTIFICACIÓN

Después de haber comprobado y analizado toda la bibliografía existente, se puede observar que existe una situación problemática sobre una temática concreta y que se da la situación perfecta para la justificación de uno o varios problemas relevantes de investigación. Las consideraciones a tener en cuenta en los estudios podrían ser las que se indican a continuación:

- Los estudios precedentes que se centran en la relación entre los factores determinantes del rendimiento en sprint evaluados a través del Perfil F-v y la aplicación de este modelo mediante test no es habitual en la población de atletas de alto rendimiento. Por lo tanto, conocer los parámetros para la mejora de la potencia máxima en atletas de élite y su influencia en el rendimiento es un problema que no ha sido resuelto anteriormente y se puede abordar.
- Como se ha observado en la literatura, existe controversia acerca de la idoneidad de los arrastres pesados y su influencia en las mejoras de los parámetros en el rendimiento del sprint. Por lo que parece necesario abordar esta problemática en relación a evaluación y entrenamiento.
- Existe gran controversia acerca de si el uso del entrenamiento resistido o de arrastres pesados mejora la potencia máxima a través de la carga óptima. Viendo las escasas investigaciones al respecto, y que no se ha llevado a cabo con poblaciones especializadas en ese tipo de entrenamiento, ese problema puede ser abordado.
- No se ha encontrado ningún estudio que observe el *tapering* que se produce después de un entrenamiento con cargas pesadas. Por esa razón, ese problema tiene una oportunidad de ser resuelto.
- Por último, no hemos encontrado estudios acerca de cómo se comportan las variables mecánicas determinantes de perfil F-v en sprint y siguiendo un entrenamiento individualizado para la mejora de estas variables durante varias temporadas en un atleta de alto nivel. Esto nos hace vislumbrar un escenario del que se podría sacar conclusiones que puedan ayudar a otras investigaciones y/o entrenadores en un futuro.

Dada la necesidad de resolver estas cuestiones, nos planteamos las siguientes interrogantes:

1. ¿Es el entrenamiento de arrastres pesados adecuado para la mejora de las variables mecánicas del sprint?
2. ¿Qué cargas son las adecuadas para atletas de élite con el fin de desarrollar la potencia óptima?
3. ¿Existe una carga óptima para el entrenamiento con arrastre?
4. ¿Cómo se comporta el rendimiento de un atleta de élite después de un periodo de entrenamiento con cargas pesadas de arrastre?
5. ¿Cómo pueden variar las diferentes variables determinantes en el sprint del perfil F-v de un atleta de élite durante una temporada completa?

# **HIPÓTESIS**



### 3. HIPÓTESIS

Conociendo toda la información acerca del tema que se aborda y apoyándonos en ella, en relación a cómo mejorar las variables determinantes del sprint mediante el control y análisis del perfil F-v, proponemos las siguientes hipótesis:

Hipótesis 1. Las variables mecánicas del Perfil F-v horizontal, en concreto las que son determinantes en la fase de aceleración (F0, DRF y Pmax) serían optimizadas a través de un entrenamiento de sprint resistido usando la carga óptima individual (es decir, en la zona de producción Pmax de la relación F-v).

Hipótesis 2. Sabiendo que un entrenamiento con una intensidad elevada, como son los arrastres con cargas pesadas, y teniendo en cuenta el estrés neuromuscular que sufren los atletas, se puede asegurar que el pico de rendimiento se obtiene después de varias semanas y no en la primera semana post-entreno como es habitual en este tipo de investigaciones. Por lo tanto se tiene que tener en cuenta el *tapering* individual producido por este tipo de entrenamientos para la mejora de las variables determinantes en la aceleración temprana del sprint mediante la carga óptima de arrastre.

Hipótesis 3. Las variables mecánicas del sprint varían durante toda la temporada, y a través de este seguimiento, de una intervención sobre ellas y el rendimiento en la temporada se puede conocer las necesidades individuales del atleta en cada momento. De esta forma se podrá intervenir e individualizar el entrenamiento según las necesidades del momento.





# **OBJETIVOS**



## **4. OBJETIVOS**

### **Objetivos generales:**

- Determinar la carga óptima de arrastre para mejorar las variables determinantes de la aceleración temprana ( $F_0$ ,  $RF$  y  $P_{max}$ ) en atletas de élite.
- Analizar los efectos de un entrenamiento pesado de arrastres y su influencia en las variables claves del rendimiento en sprint durante las 3 semanas siguientes a su finalización.
- Analizar cómo varían las variables mecánicas del sprint durante una temporada entera de un atleta de élite.

### **Objetivos específicos:**

- Determinar qué variables mecánicas del Perfil F-v horizontal mejoran después de un entrenamiento resistido con cargas altas (estudio I).
- Comprobar qué variables mecánicas del Perfil F-v horizontal están relacionadas con la aceleración temprana (estudio I).
- Comprobar cuál es el tiempo que necesita un atleta de élite para aumentar su rendimiento después de un entrenamiento intenso de cargas altas de arrastre. (estudio II).
- Comprobar si para este tipo de entrenamientos es mejor una análisis post tradicional (1 semana después de terminar) o por el contrario, 2 o 3 semanas después de terminar el entrenamiento (estudio II).
- Determinar la variabilidad de las variables mecánicas del perfil F-v horizontal durante varias temporadas completas y saber cuáles son determinantes (estudio III).



# **METODOLOGÍA**



## 5. METODOLOGÍA

### ESTUDIO I. ENTRENAMIENTO DE LA MÁXIMA POTENCIA A TRAVÉS DE LA CARGA ÓPTIMA DE ARRASTRE DEL SPRINT EN ATLETAS DE ÉLITE

#### *Diseño*

Se realizará una investigación descriptiva en la que los sujetos son elegidos de forma intencionada. Se analizarán los resultados al comienzo y al final del periodo del estudio para ver los cambios producidos a través del tiempo.

#### *Muestra*

La muestra para este estudio estaba compuesta por 36 atletas (hombres y mujeres) de nivel nacional e internacional especializados en pruebas de velocidad (desde 100 a 400 metros) con edades comprendidas entre los 17 y los 28 años (Tabla 1). Todos los participantes fueron informados detalladamente sobre el contenido, objetivos, posibles riesgos y beneficios del estudio, y este fue realizado de acuerdo con la Declaración de Helsinki. Como criterios de inclusión, todos debían competir a nivel nacional e internacional en pruebas de velocidad (100, 200 y 400 metros), tener entre 17 y 28 años, no tener ningún tipo de lesión en el momento del estudio y estar libre de lesiones en los 6 meses previos al estudio. Como criterios de exclusión se consideraron tener menos de 17 años y los atletas que no hubiesen competido a nivel nacional.

- Criterios de inclusión: Atletas velocistas de nivel nacional e internacional con edades comprendidas entre los 17 y 28 años.
- Criterios de exclusión: Atletas con molestias musculares o lesiones que les impidan realizar los test. Atletas menores de 17 años. Atletas que nunca hayan competido a nivel nacional.

#### **Tabla 1**

*Características generales de la muestra del estudio I.*

Género	Edad (años)	Altura (m)	Peso (kg)
--------	-------------	------------	-----------

---

Hombres (n=24)	21,8 ±3,2	1,77±0,05	69,27±8,1
Mujeres (n=12)	20,8±2,6	1,64±0,05	55,9±5,1

---

### *Variables*

Las variables consideradas en este estudio fueron:

Variables mecánicas del Perfil F-v horizontal en sprint y con las diferentes cargas (25, 50, 75 y 100% del peso corporal) para estimar la carga de potencia óptima:

- F0
- Pmax
- RF
- RFmax
- DRF
- v0
- Velocidad máxima
- Lopt

Variables de rendimiento:

- T5m
- T10m
- T30m

Control de variables extrañas

En estudios como los que se han llevado a cabo, se ha controlado todas las posibles



variables extrañas que pudieran intervenir en los resultados. Estas variables podrían estar provocadas por errores en la validez del instrumento de medida, la ejecución técnica o el cumplimiento del protocolo de entrenamiento. En este caso los instrumentos de medida que se utilizaron eran complementarios, y por lo tanto se pueden validar mutuamente. Cada uno de los instrumentos utilizados, medía directamente las variables citadas anteriormente, con lo que estaba garantizada su validez con respecto a esas variables ya que los instrumentos medían lo que se pretendía medir. Por otro lado, para asegurar la precisión de estos instrumentos, se calibró y comparó con instrumentos validados. Las variables medidas indirectamente quedaron validadas por la validez concurrente, que calculamos al relacionarlas con las variables que medían directamente cada uno de los instrumentos.

El protocolo en la ejecución de los ejercicios se controló debidamente en el momento de realización de los test. Para asegurar la validez y fiabilidad de los protocolos aplicados, los sujetos realizaron los test en las mismas condiciones y con las mismas indicaciones, y de esta forma, no existieron variables situacionales. El efecto de aprendizaje se controló ya que los entrenadores realizaron 2 semanas de familiarización con arrastres con el fin de que estuvieran preparados y evitar de esta forma, que hubiera interferencias en los resultados debido al aprendizaje.

### *Procedimiento*

Para la realización de este primer estudio se realizó una búsqueda de sujetos y su posterior selección. Dada la dificultad de encontrar muestra relacionada con el alto rendimiento, los atletas elegidos fueron atletas especialistas en pruebas de velocidad que pertenecían a un mismo grupo de entrenamiento. Posteriormente, se explicó detenidamente en qué consistía el estudio y se informó de los posibles riesgos y beneficios del mismo. Se explicó a los entrenadores el procedimiento de entrenamientos ya que era imposible estar con ellos mientras lo realizaban y quedaron claras todas las dudas. Además, los investigadores estábamos en contacto constante con los entrenadores para resolver cualquier duda o problema que surgiera. Para hacer más fácil el entendimiento y el seguimiento de los entrenadores, se les entregó un documento donde se les describe perfectamente las cargas individualizadas y el entrenamiento a realizar cada semana. Como se puede ver en la Tabla 2, el procedimiento general de entrenamiento quedaba

descrito ahí. En este estudio, la muestra quedó dividida en un grupo de 36 sujetos. Los sujetos, dadas sus características como atletas, eran físicamente activos y estaban familiarizados con el entrenamiento de fuerza.

La primera toma de datos se realizó en las instalaciones de la pista de atletismo de Alcantarilla y en el estadio Joan Serrahima de Barcelona durante el mes de octubre, unos meses antes del comienzo de la temporada de competiciones de pista cubierta y se midió a los atletas jornada. Se realizaron los test relacionados con el perfil F-v horizontal y el test para la determinación de la carga óptima de arrastre.

La duración total de los test se programó para tres horas. Se realizó la medición teniendo en cuenta la franja horaria de 17:00 a 20:00 horas. Los sujetos fueron informados del orden de ejecución de los test y la orden de participación de cada uno de ellos en los distintos test. El orden de ejecución de los test fue el mismo para todos los sujetos. El calentamiento que se realizó ha sido descrito en el apartado de tests.

El protocolo de entrenamiento consiste en 12 semanas, de las cuales la 1 y la 12 corresponden a los días donde se realizan el pre y el post intervención respectivamente. Las semanas que incluyen las sesiones de entrenamiento, de la 2 a la 11, se realizarán de la siguiente forma:

**Tabla 2**

*Protocolo de entrenamiento de arrastres en sprint del grupo experimental para el estudio I. Abreviaturas: m, metros; MC, masa corporal; L10, carga que supone un 10% disminución de la velocidad máxima; Lopt, carga óptima.*

Sesión	Registro Velocidad-Potencia	Perfil Fuerza-	Grupo
			experimental Lopt × 20-m
1	2 sin carga × 30-m		0
	4 con carga × 30-20-m		

(25, 50, 75 y 100% MC)

---

2		10
<hr/>		
3		10
<hr/>		
4		10
<hr/>		
5		10
<hr/>		
6		10
<hr/>		
7		10
<hr/>		
8		10
<hr/>		
9		10
<hr/>		
10		10
<hr/>		
11		10

---

2 sin carga × 30-m

12                      4 con carga × 30-20-m                      0

(25, 50, 75 y 100% BM)

---

*Tests*

Antes del comienzo de los test, todos los sujetos realizaron un calentamiento estándar

dirigido por el entrenador y establecido por los investigadores. Este calentamiento estandarizado consistió en 10 minutos de trote continuo, ejercicios de técnica de carrera y 3 progresivos de 50 metros con un descanso de 3 minutos entre cada progresivo.

- Perfil Fuerza-velocidad Horizontal (F-v Hzt)

Para determinar la mecánica del sprint y el rendimiento, los atletas realizaron dos carreras de 30 metros desde dos apoyos (se le instruyó de esta forma para que siempre salieran igual y que no hubiera interferencias por diferencias de salida). Cada intento requería que el atleta estuviera detrás de una línea marcada y la salida debía ser hacia adelante, sin ningún movimiento de retroceso previo al salir. Se tenía en cuenta el mejor tiempo de esos intentos, el rendimiento en el sprint y los resultados mecánicos se calcularon utilizando el método de campo propuesto por Samozino et al. (2016). Los datos de velocidad-tiempo fueron medidos con un dispositivo de radar (Stalker ATS Pro II, Applied Concepts, TX, USA), para después ser ajustados por una función exponencial y por último, se derivaron para computar los parámetros clave de las relaciones fuerza-velocidad, siendo obtenidos la fuerza máxima teórica ( $F_0$ ),  $v_0$  y  $P_{max}$ , el RF y DRF. Por último, la eficacia de la aplicación de la fuerza en cada apoyo se cuantificó mediante la relación de fuerza horizontal terrestre resultante (RF en %), y el valor máximo de RF se denominó RFmax.

- Test de carga óptima a través del perfil F-v horizontal

Para determinar la carga utilizada para el entrenamiento, se calculó individualmente como propusieron los distintos autores y se determinó como  $L_{opt}$  (Cross et al., 2018). Los atletas fueron instruidos para inclinarse hacia delante y que la cuerda estuviera tensa antes de iniciar cualquier movimiento con el fin de asegurar que no hubiera sacudidas o rebotes del trineo (Figuras 10, 11 y 12). Los atletas fueron instruidos para estar tan inclinados como fuera posible, y así eliminar cualquier movimiento hacia atrás o contra movimiento que podría afectar a sus resultados en el sprint. Se proporcionó un estímulo verbal para asegurar un máximo esfuerzo en cada prueba. En la Figura 13 se puede observar la velocidad máxima de carrera las distintas cargas totales de arrastre (en kg) para cada prueba porcentaje individualizados, 25, 50, 75 y 100 % de la masa corporal (MC). Estos datos de velocidad de carga fueron entonces ajustados con una regresión lineal al cuadrado para calcular el  $L_{opt}$  individualizado (Cross et al., 2018), con los datos de sprint

no resistidos usados como un punto de "carga cero". En las cargas de 75 y 100 metros se redujo la distancia a 20 metros porque los sujetos alcanzaban la velocidad máxima antes de los 20 metros, así redujimos la fatiga producida por el test.

Por lo tanto, el test y post test se compuso de la siguiente estructura representada en la siguiente tabla:

**Tabla 3**

*Estructura de los test pre y post para determinar la carga óptima de arrastre para el desarrollo de la máxima potencia.*

Test	Repeticiones	Distancia (m)	Carga (% MC)
	2	30	Sin carga
	1	30	25
Pre	1	30	50
	1	20	75
	1	20	100
	2	30	Sin carga
	1	30	25
Post	1	30	50
	1	20	75
	1	20	100

**Figura 10**

*Posición inicial del atleta para la realización del test para establecer la carga óptima de arrastre.*



**Figura 11**

*Fotografía del momento del primer tirón y la colocación del arrastre para determinar la carga óptima de arrastre durante un sprint de 30 metros.*



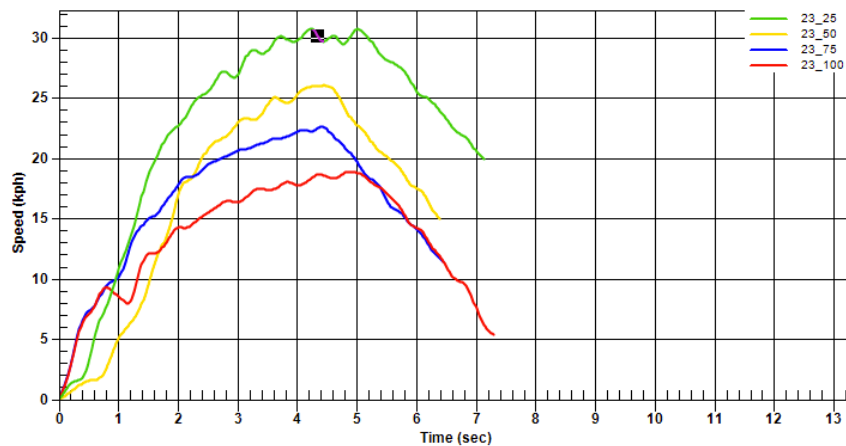
## Figura 12

Fotografía del procedimiento para determinar la carga óptima de arrastre durante un sprint de 30 metros. Se utilizó un radar con el fin de medir la velocidad máxima que alcanzaba con esa carga.



## Figura 13

Curva de velocidad-tiempo recogida mediante el radar de cada uno de los porcentajes necesarios para estimar la carga óptima de arrastre para el desarrollo de la potencia óptima. Las cargas visualizadas en la figura son el 25% del peso corporal (línea verde), 50% del peso corporal (línea amarilla), 75% del peso corporal (línea azul) y 100% del peso corporal (línea roja).



### *Instrumentos de medida*

Algunos de los instrumentos de medida han sido empleados y descritos en el estudio I. Se podrán consultar en el apartado metodología del mencionado estudio. Además de los instrumentos comunes, en este estudio II se empleó el medidor lineal.

#### Radar

Las pistolas radar son, en su más simple forma, un transceptor de radio: envían una señal de radio, y luego recibe la misma señal que se ha reflejado en un blanco. La frecuencia de radar es diferente cuando retorna, y esas diferencias pueden calcularse dando la velocidad del objeto en cuestión. Su haz de radar es similar al haz de luz que se expande con la distancia a medida que la señal de origen se incrementa, y algunos reflejos del haz desde el objeto vuelven a la pistola, y ésta usa el efecto *Doppler* para calcular su velocidad. Usando la comparación del cambio de frecuencia entre lo enviado y lo recibido se detecta su velocidad.

El radar es un instrumento capaz de medir de forma directa e inmediata la velocidad de los objetos en movimiento de las actividades deportivas. Su facilidad de uso y el rápido aporte de información, hace de él un instrumento útil para el ámbito deportivo. Los sistemas de radar más utilizados son las denominadas pistolas radar, que pueden ser empleadas sujetándose con la mano o sobre un trípode. La principal ventaja del radar como instrumento de medida en el ámbito deportivo, reside precisamente en la rápida aportación de la información, su posibilidad de ser utilizado en situaciones próximas a la realidad competitiva, incluso en competición, y su facilidad de uso que apenas requiere formación.

Se utilizó el radar Stalker ATS System (Radar Sales, Mineapolis, MN, US) con una frecuencia de muestreo de 35 Hz. para la medición del perfil F-V en sprint de 40m.

#### *Análisis de datos*

En este estudio se aplicaron dos tipos de procesamiento y análisis de datos, uno para la evaluación las variables mecánicas de los sprint a partir de la fase de aceleración de un sprint no resistido utilizando el método simple de Samozino et al. (2016) y el otro para el cálculo de los parámetros de carga individual de múltiples sprint resistidos combinados en una relación carga-velocidad (Cross et al., 2018).



## Perfil F-v horizontal

Para cada prueba no resistida, la producción de fuerza horizontal externa se modeliza a partir del centro de movimiento de la masa utilizando un método validado (Samozino et al., 2016). Seguidamente, se aplicó una función mono-exponencial a la velocidad-tiempo bruta mediante una plataforma de software. A partir de este punto, la aceleración del centro de masas del atleta puede calcularse con respecto a la evolución de la  $v_h$  a lo largo del tiempo. Las fuerzas de reacción netas horizontales anteroposteriores del suelo ( $F_h$ ) pueden modelarse considerando la masa total del sistema ( $m$ ; en este caso, la masa corporal de cada atleta), y la fuerza de fricción aerodinámica ( $F_{aero}$ ). A partir de este punto, las relaciones  $F_v$  y  $P_v$  se generaron ajustando los datos  $F_h$  y  $v_h$  con regresiones lineales cuadradas, y los datos  $P_h$  y  $v_h$  con ajustes polinómicos de segundo orden (Samozino et al., 2016).  $F_0$ ,  $v_0$  y  $SF_v$  se determinaron como las interceptaciones  $x$  e  $y$  de la regresión lineal y la pendiente (respectivamente) y la  $P_{max}$  se determinó como la combinación óptima entre  $F_0$  y  $v_0$  ( $[F_0, v_0]/4$ ) (Samozino et al., 2016). Las condiciones óptimas de potencia ( $v_{opt}$  y  $F_{opt}$ ) se calcularon en el punto de  $P_{max}$ , que corresponde a  $0,5 v_0$  y  $0,5 F_0$ .

También se calculó un descenso del 10% de  $v_{max}$  para su aplicación al perfil de velocidad de carga, que se explica en el siguiente apartado. La orientación del vector de la fuerza de reacción del suelo se cuantificó mediante la relación de fuerza (RF), calculada como la relación entre el componente orientado horizontalmente (anteroposterior) (es decir,  $F_h$ ) y el total estimado de la reacción del suelo señal de fuerza. RF se expresa en porcentaje, pero es el equivalente matemático del ángulo de la fuerza de reacción del suelo orientación del vector. La disminución lineal de la RF con la velocidad fue calculada y presentada como un índice de orientación del vector de la fuerza de reacción terrestre a lo largo de la fase de aceleración (DRF) (Samozino et al., 2016).

## Carga óptima de arrastre

La relación fuerza-velocidad utilizando múltiples ensayos de cargas resistidas ha sido previamente validada, demostrando ser lineal (Cross, Brughelli, Samozino, Brown, & Morin, 2017). En consecuencia, se puede crear un perfil lineal de velocidad de carga asociado para conocer qué variables mecánicas pueden ser mejoradas.

La velocidad máxima promediada de 2 segundos (es decir, la velocidad media alcanzada

y mantenida durante 2 segundos al máximo esfuerzo) se tomó para cada carga de arrastre que el atleta utilizó, y se comparó con el protocolo de resistencia exacto de cada sprint respectivo (lo más cercano posible a 25, 50, 75, y el 100% del peso promedio de los atletas (MC)). Los datos fueron ajustados con una regresión lineal cuadrada negativa para generar un perfil de velocidad de carga individualizado para cada atleta. En estos datos, el sprint no resistido se incluyó como una condición de "carga cero", o contra el mínimo posible resistencia proporcionada por el equipo (para los arrastres). Estos datos se combinaron entonces con los calculados mediante el método simple (Samozino et al., 2016), para calcular los parámetros de entrenamiento individualizados que se aplicarán para cada semana de entrenamiento.

Por lo tanto, el entrenamiento mediante la carga óptima ( $L_{opt}$ ), la velocidad a la que se produjo  $P_{max}$  ( $v_{opt}$ ) fue sustituida en la ecuación determinada a partir de la regresión lineal para proporcionar la carga que correspondía a esta velocidad.. Concretamente, los parámetros de carga sobre la base de que la velocidad de carrera correspondiente es  $v_{opt} = 0,5v_0$  y la relación lineal carga- $v_{max}$  permite calcular el  $L_{opt}$  a partir del  $v_{opt}$  conocido. Como resultado, cada atleta fue provisto de unos parámetros de entrenamiento individualizados.

#### Análisis de las variables

Se realizó una estadística descriptiva que se presenta en la sección de resultados como media  $\pm$  desviación estándar. Los cambios en las variables de los atletas fueron evaluados usando tamaños de efecto (ES) y límites de confianza del 90%. Las inferencias basadas en la magnitud se calcularon utilizando hojas de cálculo Excel de estadísticas modificadas de sportsci.org (xPostOnlyCrossover.xls; xParallelGroupsTrial.xls). Se utilizó un método estadístico con el fin de evaluar la eficacia del método de entrenamiento. En este sentido, se realizó un análisis previo y posterior de cada grupo datos (pre y post test), para proporcionar un efecto claro de si se produjeron cambios sustanciales y claros como resultado de la intervención de entrenamiento. Los umbrales utilizados para interpretar la magnitud de los efectos medidos se basaron en el trabajo de Hopkins, Marshall, Batterham, and Hanin (2009). Las probabilidades de que las diferencias fueran mayores, inferior o similar a la menor diferencia que valga la pena (preestablecida en un valor de 0,20) se evaluaron cualitativamente como: posiblemente,

25-74,9%; probable, 75-94,9%, muy probable, 95-99,5%; la mayoría (extremadamente) probablemente, >99,5% (Hopkins et al., 2009). En todos los casos se consideró estadísticamente significativo si la probabilidad de error era igual o menor que el 5% ( $p \leq 0,05$ ).

## ESTUDIO II. CINÉTICA DE ADAPTACIÓN INDIVIDUAL DESPUÉS DE UN ENTRENAMIENTO DE ARRASTRES PESADOS EN SPRINT

### *Diseño*

Se realizará una investigación descriptiva en la que los sujetos son elegidos de forma intencionada. Se analizarán los resultados al comienzo y al final del periodo del estudio para ver los cambios producidos a través del tiempo.

### *Muestra*

La muestra para este estudio estaba compuesta por 13 hombres (edad:  $22,1 \pm 3,4$  años; altura:  $1,77 \pm 0,05$  m; masa corporal:  $68,1 \pm 6,1$  kg) y 9 mujeres ( $21,8 \pm 3,0$  años;  $1,62 \pm 0,08$  m;  $54,2 \pm 6,2$  kg) (Tabla 4), los velocistas entrenados dieron su consentimiento informado a participar en este estudio. Los atletas tenían experiencia (promedio de  $7.64 \pm 2.01$  años de sprint de entrenamiento), pertenecía al mismo grupo de entrenamiento, y seguía en general un programa de entrenamiento muy similar durante la temporada competitiva. El mejor tiempo personal de los atletas en los 100 metros fue de  $10.93 \pm 0.32$  s para los hombres y  $12,76 \pm 0,40$  s para las mujeres. Todos ellos estaban actualmente compitiendo a nivel nacional en España y el estudio se realizó de acuerdo con la declaración de Helsinki, después de la aprobación del comité de ética local.

- Criterios de inclusión: Atletas velocistas de nivel nacional e internacional con edades comprendidas entre los 17 y 26 años.
- Criterios de exclusión: Atletas con molestias musculares o lesiones que les impidan realizar los test. Atletas menores de 17 años. Atletas que nunca hayan competido a nivel nacional.

**Tabla 4**

*Características generales de la muestra del estudio II.*

Género	Edad (años)	Altura (m)	Peso (kg)
Hombres (n=13)	$22,1 \pm 3,4$	$1,77 \pm 0,05$	$68,1 \pm 6,1$

Mujeres (n=9) 21,8±3,0 1,62±0,08 54,2±6,2

---

### *Variables*

Las variables consideradas en este estudio fueron:

Variables mecánicas del Perfil F-v horizontal en sprint y con las diferentes cargas (25, 50, 75 y 100% del peso corporal) para estimar la carga de potencia óptima:

- F0
- Pmax
- RF
- RFmax
- DRF
- v0
- Velocidad máxima
- Lopt

Variables de rendimiento:

- T5m
- T10m
- T30m

Control de variables extrañas

En estudios como los que se han llevado a cabo, se ha controlado todas las posibles variables extrañas que pudieran intervenir en los resultados. Estas variables podrían estar provocadas por errores en la validez del instrumento de medida, la ejecución técnica o el cumplimiento del protocolo de entrenamiento. En este caso los instrumentos de medida

que se utilizaron eran complementarios, y por lo tanto se pueden validar mutuamente. Cada uno de los instrumentos utilizados, medía directamente las variables citadas anteriormente, con lo que estaba garantizada su validez con respecto a esas variables ya que los instrumentos medían lo que se pretendía medir. Por otro lado, para asegurar la precisión de estos instrumentos, se calibró y comparó con instrumentos validados. Las variables medidas indirectamente quedaron validadas por la validez concurrente, que calculamos al relacionarlas con las variables que medían directamente cada uno de los instrumentos.

El protocolo en la ejecución de los ejercicios se controló debidamente en el momento de realización de los test. Para asegurar la validez y fiabilidad de los protocolos aplicados, los sujetos realizaron los test en las mismas condiciones y con las mismas indicaciones, y de esta forma, no existieron variables situacionales. El efecto de aprendizaje se controló ya que los entrenadores realizaron 2 semanas de familiarización con arrastres con el fin de que estuvieran preparados y evitar de esta forma, que hubiera interferencias en los resultados debido al aprendizaje.

### *Procedimiento*

Las pruebas y los entrenamientos realizados para este estudio se produjeron durante el período de entrenamiento de la temporada de atletismo, con atletas que siguen un programa de entrenamiento similar y que está basado en el entrenamiento de sprint y fuerza, con el fin de asegurar que los efectos observados fueran causados principalmente por la intervención. El sprint mecánico y sus variables claves del rendimiento se evaluaron antes (PRE), y una (POST, S1), dos (S2), tres (S3) y cuatro (S4) semanas después de la última sesión de entrenamiento. La evaluación de carga de arrastres pesados y el protocolo de entrenamiento se adaptaron del estudio realizado por Cross et al. (2018). Después de la progresiva carga y la familiarización completa con los arrastres pesados, los atletas realizaron un bloque de 12 sesiones de entrenamiento. Los perfiles de fuerza-velocidad-potencia del sprint se determinaron en las sesiones 1 (PRE) y 12 (POST, S1). Se determinó el Lopt para cada atleta durante la sesión 1, después de la cual los atletas entrenaron en su Lopt individual durante las sesiones 2 a 11 (10 repeticiones de sprints de 20 m resistidos, separados por 5 minutos de descanso). Todos los atletas reanudaron su programa de entrenamiento regular de S1 a S4. Las sesiones de entrenamiento eran

supervisadas por un entrenador, y comenzaban con un calentamiento estandarizado, una vez comenzaba el entrenamiento, se les pedía a los atletas realizar cada sprint con el máximo esfuerzo. En la Tabla 5 se puede ver la configuración de las sesiones y las semanas

La primera toma de datos se realizó en la pista de atletismo de Alcantarilla durante el mes de octubre, unos meses antes del comienzo de la temporada de competiciones de pista cubierta y se midió a los atletas jornada. Se realizaron los test relacionados con el perfil F-v horizontal y el test para la determinación de la carga óptima de arrastre.

La duración total de los test se programó para tres horas. Se realizó la medición teniendo en cuenta la franja horaria de 17:30 a 20:30 horas. Los sujetos fueron informados del orden de ejecución de los test y la orden de participación de cada uno de ellos en los distintos test. El orden de ejecución de los test fue el mismo para todos los sujetos. El calentamiento que se realizó ha sido descrito en el apartado de tests.

El protocolo de entrenamiento consiste en 12 semanas, de las cuales la 1, 12, 13, 14 y 15 corresponden a los días donde se realizan el pre y el post intervención respectivamente. Las semanas que incluyen las sesiones de entrenamiento, de la 2 a la 11, se realizaron 10 sprints resistidos de 20 metros con la carga  $L_{opt}$ . En la siguiente tabla (Tabla 5) se puede observar la disposición de los entrenamientos y la recogida de datos.

**Tabla 5**

*Protocolo de entrenamiento de arrastres en sprint del grupo experimental para el estudio II. Abreviaturas: m, metros; MC, masa corporal; y  $L_{opt}$ , carga óptima.*

Sesión	Registro Perfil Fuerza-Velocidad-Potencia	Grupo experimental
		$L_{opt} \times 20\text{-m}$
1	2 sin carga $\times$ 30-m	0
	4 con carga $\times$ 30-20-m	

(25, 50, 75 y 100% MC)

2		10
3		10
4		10
5		10
6		10
7		10
8		10
9		10
10		10
11		10

2 sin carga × 30-m

12	4 con carga × 30-20-m	0
----	-----------------------	---

(25, 50, 75 y 100% BM)

13	2 sin carga × 30-m	0
14	2 sin carga × 30-m	0



---

*Tests*

Antes del comienzo de los test, todos los sujetos realizaron un calentamiento estándar dirigido por el entrenador y establecido por los investigadores. Este calentamiento estandarizado consistió en 10 minutos de trote continuo, ejercicios de técnica de carrera y 3 progresivos de 50 metros con un descanso de 3 minutos entre cada progresivo.

- Perfil Fuerza-velocidad Horizontal (F-v Hzt)

Para determinar la mecánica del sprint y el rendimiento, los atletas realizaron dos carreras de 30 metros desde dos apoyos (se le instruyó de esta forma para que siempre salieran igual y que no hubiera interferencias por diferencias de salida). Cada intento requería que el atleta estuviera detrás de una línea marcada y la salida debía ser hacia adelante, sin ningún movimiento de retroceso previo al salir. Se tuvo en cuenta el mejor tiempo de esos intentos, el rendimiento en el sprint y los resultados mecánicos se calcularon utilizando el método de campo propuesto por Samozino et al. (2016). Los datos de velocidad-tiempo fueron medidos con un dispositivo de radar (Stalker ATS Pro II, Applied Concepts, TX, USA), para después ser ajustados por una función exponencial y por último, se derivaron para computar los parámetros clave de las relaciones fuerza-velocidad, siendo obtenidas la fuerza máxima teórica ( $F_0$ ),  $v_0$  y  $P_{max}$ , el RF y DRF. Por último, la eficacia de la aplicación de la fuerza en cada apoyo se cuantificó mediante la relación de fuerza horizontal terrestre resultante (RF en %), y el valor máximo de RF se denominó RFmax. Este test se realizó en la semana 1 (PRE), 12 (POST-S1), 13 (POST-S2), 14 (POST-S3) y 15 (POST-S4) como se puede ver en la Tabla 6.

- Test de carga óptima a través del perfil F-v horizontal

Para determinar la carga utilizada para el entrenamiento, se calculó individualmente como propusieron los distintos autores y se determinó como  $L_{opt}$  (Cross et al., 2018). Los atletas fueron instruidos para inclinarse hacia delante y que la cuerda estuviera tensa antes de iniciar cualquier movimiento con el fin de asegurar que no hubiera sacudidas o rebotes del trineo (Figuras 14 y 15). Los atletas fueron instruidos para estar tan inclinados como

fuera posible, y así eliminar cualquier movimiento hacia atrás o contra movimiento que podría afectar a sus resultados en el sprint. Se proporcionó un estímulo verbal para asegurar un máximo esfuerzo en cada prueba. Se registraron las distintas cargas totales de arrastre (en kg) para cada prueba porcentaje individualizados, 25, 50, 75 y 100 % de la masa corporal (MC). Estos datos de velocidad de carga fueron entonces ajustados con una regresión lineal al cuadrado para calcular el  $L_{opt}$  individualizado (Cross et al., 2018), con los datos de sprint no resistidos usados como un punto de "carga cero". En las cargas de 75 y 100 metros se redujo la distancia a 20 metros porque los sujetos alcanzaban la velocidad máxima antes de los 20 metros, así redujimos la fatiga producida por el test. Este test se realizó en la semana 1 (PRE) y en la semana 12 (POST-S1) como se puede ver en la Tabla 6.

Por lo tanto, el test y post test se compuso de la siguiente estructura:

**Tabla 6**

*Representación de los test pre, post-s1, post-s2, post-s3 y post-s4 para determinar el perfil F-v horizontal y la carga óptima individual para el desarrollo de la Pmax.*

Test	Repeticiones	Distancia (m)	Carga (% MC)
	2	30	Sin carga
	1	30	25
PRE	1	30	50
	1	20	75
	1	20	100
POST S1	2	30	Sin carga

	1	30	25
	1	30	50
	1	20	75
	1	20	100
POST S2	2	30	Sin carga
POST S3	2	30	Sin carga
POST S4	2	30	Sin carga

**Figura 14**

*Posición inicial del atleta para la realización del test para establecer la carga óptima de arrastre.*



## Figura 15

*Fotografía del procedimiento para determinar la carga óptima de arrastre durante un sprint de 30 metros. Posición inicial del atleta esperando recibir la orden de salida.*



### *Instrumentos de medida*

Algunos de los instrumentos de medida han sido empleados y descritos en el estudio I. Se podrán consultar en el apartado metodología del mencionado estudio. Además de los instrumentos comunes, en este estudio II se empleó el medidor lineal.

### Radar

Las pistolas radar son, en su más simple forma, un transceptor de radio: envían una señal de radio, y luego recibe la misma señal que se ha reflejado en un blanco. La frecuencia de radar es diferente cuando retorna, y esas diferencias pueden calcularse dando la velocidad del objeto en cuestión. Su haz de radar es similar al haz de luz que se expande con la distancia a medida que la señal de origen se incrementa, y algunos reflejos del haz desde el objeto vuelven a la pistola, y ésta usa el efecto *Doppler* para calcular su velocidad. Usando la comparación del cambio de frecuencia entre lo enviado y lo recibido se detecta su velocidad.

El radar es un instrumento capaz de medir de forma directa e inmediata la velocidad de los objetos en movimiento de las actividades deportivas. Su facilidad de uso y el rápido aporte de información, hace de él un instrumento útil para el ámbito deportivo. Los sistemas de radar más utilizados son las denominadas pistolas radar, que pueden ser empleadas mediante la sujeción con la mano o sobre un trípode. La principal ventaja del

radar como instrumento de medida en el ámbito deportivo, reside precisamente en la rápida aportación de la información, su posibilidad de ser utilizado en situaciones próximas a la realidad competitiva, incluso en competición, y su facilidad de uso que apenas requiere formación.

Se utilizó el radar Stalker ATS System (Radar Sales, Mineapolis, MN, US) con una frecuencia de muestreo de 35 Hz. para la medición del perfil F-V en sprint de 40m.

### *Análisis de datos*

En este estudio se aplicaron dos tipos de procesamiento y análisis de datos, uno para la evaluación de las variables mecánicas de los sprint a partir de la fase de aceleración de un sprint no resistido utilizando el método simple de Samozino et al. (2016) y el otro para el cálculo de los parámetros de carga individual de múltiples sprint resistidos combinados en una relación carga-velocidad (Cross et al., 2018).

#### Perfil F-v horizontal

Para cada prueba no resistida, la producción de fuerza horizontal externa se modeliza a partir del centro de movimiento de la masa utilizando un método validado (Samozino et al., 2016). Seguidamente, se aplicó una función mono-exponencial a la velocidad-tiempo bruta mediante una plataforma de software. A partir de este punto, la aceleración del centro de masas del atleta puede calcularse con respecto a la evolución de la  $v_h$  a lo largo del tiempo. Las fuerzas de reacción netas horizontales anteroposteriores del suelo ( $F_h$ ) pueden modelarse considerando la masa total del sistema ( $m$ ; en este caso, la masa corporal de cada atleta), y la fuerza de fricción aerodinámica ( $F_{aero}$ ). A partir de este punto, las relaciones  $F_v$  y  $P_v$  se generaron ajustando los datos  $F_h$  y  $v_h$  con regresiones lineales cuadradas, y los datos  $P_h$  y  $v_h$  con ajustes polinómicos de segundo orden (Samozino et al., 2016).  $F_0$ ,  $v_0$  y  $SF_v$  se determinaron como las interceptaciones  $x$  e  $y$  de la regresión lineal y la pendiente (respectivamente) y la  $P_{max}$  se determinó como la combinación óptima entre  $F_0$  y  $v_0$  ( $[F_0, v_0]/4$ ) (Samozino et al., 2016). Las condiciones óptimas de potencia ( $v_{opt}$  y  $F_{opt}$ ) se calcularon en el punto de  $P_{max}$ , que corresponde a  $0,5 v_0$  y  $0,5 F_0$ .

También se calculó un descenso del 10% de  $v_{max}$  para su aplicación al perfil de velocidad de carga, que se explica en el siguiente apartado. La orientación del vector de la fuerza

de reacción del suelo se cuantificó mediante la relación de fuerza (RF), calculada como la relación entre el componente orientado horizontalmente (anteroposterior) (es decir,  $F_h$ ) y el total estimado de la reacción del suelo señal de fuerza. RF se expresa en porcentaje, pero es el equivalente matemático del ángulo de la fuerza de reacción del suelo orientación del vector. La disminución lineal de la RF con la velocidad fue calculada y presentada como un índice de orientación del vector de la fuerza de reacción terrestre a lo largo de la fase de aceleración (DRF) (Samozino et al., 2016).

### Carga óptima de arrastre

La relación fuerza-velocidad utilizando múltiples ensayos de cargas resistidas ha sido previamente validada, y ha sido demostrada como una relación lineal (Cross et al., 2017). En consecuencia, se puede crear un perfil lineal de velocidad de carga asociado para conocer qué variables mecánicas pueden ser mejoradas.

La velocidad máxima promediada de 2 segundos (es decir, la velocidad media alcanzada y mantenida durante 2-s al máximo esfuerzo) se tomó para cada carga de arrastre que el atleta utilizó, y se comparó con el protocolo de resistencia exacto de cada sprint respectivo (lo más cercano posible a 25, 50, 75, y el 100% del peso promedio de los atletas (MC)). Los datos fueron ajustados con una regresión lineal cuadrada negativa para generar un perfil de velocidad de carga individualizado para cada atleta. En estos datos, el sprint no resistido se incluyó como una condición de "carga cero", o contra el mínimo posible resistencia proporcionada por el equipo (para los arrastres). Estos datos se combinaron entonces con los calculados mediante el método simple (Samozino et al., 2016), para calcular los parámetros de entrenamiento individualizados que se aplicarán para cada semana de entrenamiento.

Por lo tanto, el entrenamiento mediante la carga óptima ( $L_{opt}$ ), la velocidad a la que se produjo  $P_{max}$  ( $v_{opt}$ ) fue sustituida en la ecuación determinada a partir de la regresión lineal para proporcionar la carga que correspondía a esta velocidad. Concretamente, los parámetros de carga sobre la base de que la velocidad de carrera correspondiente es  $v_{opt} = 0,5 v_0$  y la relación lineal carga- $v_{max}$  permite calcular el  $L_{opt}$  a partir del  $v_{opt}$  conocido. Como resultado, cada atleta fue provisto de unos parámetros de entrenamiento individualizados.

### Análisis de las variables

Los valores se presentan como media  $\pm$  SD (desviación típica). La normalidad de los datos fue confirmada por la prueba de Shapiro-Wilk. Se utilizó un análisis de varianza de medidas repetidas en una dirección (tiempo) para comparar los cambios intra-sujeto en la Pmax entre las mediciones PRE, POST (S1), S2, S3 y S4, y se realizó una comparación múltiple post-hoc de Bonferroni para ver si se observaba un efecto principal significativo. Las diferencias PRE-POST y PRE-PEAK en Pmax (objetivo principal de este estudio) se compararon mediante pruebas t-Student de pares. Además, los cambios inducidos por el entrenamiento fueron cuantificados usando porcentajes y tamaños de efecto con límites de confianza del 90%, interpretados usando valores umbrales de <0,2, 0,2, 0,6, y 1,2 como diferencias triviales, pequeñas, moderadas y grandes, respectivamente. Basado en la magnitud, las inferencias se calcularon utilizando hojas de cálculo estadísticas modificadas de Excel disponibles en [sportsci.org](http://sportsci.org) (xPostOnlyCrossover.xls; xParallelGroupsTrial.xls), con probabilidades de que las diferencias eran más altas, más bajas o similares al menor cambio significativo (preestablecido en un valor estandarizado de ES = 0.20) evaluado cualitativamente. En todos los casos se consideró estadísticamente significativo si la probabilidad de error era igual o menor que el 5% ( $p \leq 0,05$ ).

### ESTUDIO III. CINÉTICA DE ADAPTACIÓN INDIVIDUAL AL ENTRENAMIENTO DE ARRASTRES DURANTE VARIAS TEMPORADAS EN UN ATLETA DE ALTO NIVEL

#### *Diseño*

Se realizará una investigación descriptiva en la que el sujeto es elegido de forma intencionada. Se analizarán los resultados al comienzo, durante y al final del periodo del estudio para ver los cambios producidos a través del tiempo.

#### *Muestra*

La muestra para este estudio estaba compuesta por 1 varón (edad:  $20,1 \pm 1,4$  años; altura:  $1,77 \pm 0,05$  m; masa corporal:  $75,3 \pm 1,4$  kg) (Tabla 7), el velocista entrenado dió su consentimiento informado a participar en este estudio. El atleta tenía experiencia (promedio de  $7.64 \pm 2.01$  años de sprint de entrenamiento), pertenecía a un solo grupo de entrenamiento, y seguía en general un programa de entrenamiento muy similar durante la temporada competitiva. El mejor tiempo personal del atleta en 100 y 60 metros fue de 10.36 y 6,69 respectivamente. El atleta estaba actualmente compitiendo a nivel nacional en España e internacional y el estudio se realizó de acuerdo con la declaración de Helsinki, después de la aprobación del comité de ética local.

- Criterios de inclusión: Atletas velocistas de nivel nacional e internacional con edades comprendidas entre los 17 y 26 años.
- Criterios de exclusión: Atletas con molestias musculares o lesiones que les impidan realizar los test. Atletas menores de 17 años. Atletas que nunca hayan competido a nivel nacional.

#### **Tabla 7**

##### *Características generales de la muestra del estudio III*

Género	Edad (años)	Altura (m)	Peso (kg)
Hombre (n=1)	$20,1 \pm 1,4$	$1,77 \pm 0,05$	$75,3 \pm 1,4$



## *Variables*

Las variables consideradas en este estudio fueron:

Variables mecánicas del Perfil F-v horizontal en sprint y con las diferentes cargas (25, 50, 75 y 100% del peso corporal) para estimar la carga de potencia óptima:

- F0
- Pmax
- RF
- RFmax
- DRF
- v0
- Velocidad máxima
- Lopt

Variables de rendimiento:

- T5m
- T20m
- T30m

Control de variables extrañas

En estudios como los que se han llevado a cabo, se ha controlado todas las posibles variables extrañas que pudieran intervenir en los resultados. Estas variables podrían estar provocadas por errores en la validez del instrumento de medida, la ejecución técnica o el cumplimiento del protocolo de entrenamiento. En este caso los instrumentos de medida que se utilizaron eran complementarios, y por lo tanto se pueden validar mutuamente. Cada uno de los instrumentos utilizados, medía directamente las variables citadas anteriormente, con lo que estaba garantizada su validez con respecto a esas variables ya que los instrumentos medían lo que se pretendía medir. Por otro lado, para asegurar la

precisión de estos instrumentos, se calibró y comparó con instrumentos validados. Las variables medidas indirectamente quedaron validadas por la validez concurrente, que calculamos al relacionarlas con las variables que medían directamente cada uno de los instrumentos.

El protocolo en la ejecución de los ejercicios se controló debidamente en el momento de realización de los test. Para asegurar la validez y fiabilidad de los protocolos aplicados, los sujetos realizaron los test en las mismas condiciones y con las mismas indicaciones, y de esta forma, no existieron variables situacionales. El efecto de aprendizaje se controló ya que los entrenadores realizaron 2 semanas de familiarización con arrastres con el fin de que estuviera preparado y evitar de esta forma, que hubiera interferencias en los resultados debido al aprendizaje.

### *Procedimiento*

Las pruebas y los entrenamientos realizados para este estudio se produjeron durante el período de entrenamiento de varias temporadas de atletismo, con atletas que siguen un programa de entrenamiento similar y que está basado en el entrenamiento de sprint y fuerza, con el fin de asegurar que los efectos observados fueran causados principalmente por la intervención. La intervención se realizó durante las temporadas 2016/2017 (pista cubierta y aire libre), 2017/2018 (pista cubierta y aire libre) y 2018/2019 (pista cubierta). El sprint mecánico y sus variables claves del rendimiento se evaluaron antes (PRE), y una semana después del periodo de arrastres (POST), además, justo antes de iniciar las competiciones de pista cubierta y aire libre se hizo una medición del perfil F-v (PRECOMP). La evaluación de carga de arrastres pesados y el protocolo de entrenamiento se adaptaron del estudio realizado por Cross et al. (2018). Después de la progresiva carga y la familiarización completa con los arrastres pesados, los atletas realizaron un bloque de 12 sesiones de entrenamiento. Los perfiles de fuerza-velocidad-potencia del sprint se determinaron en las sesiones 1 (PRE) y 12 (POST). Se determinó el Lopt individualizado del atleta durante la sesión 1, después de la cual usaron en su Lopt individual durante las sesiones 2 a 11 (10 repeticiones de sprints de 20 m resistidos, separados por 5 minutos de descanso). Después, el atleta reanudó su programa de entrenamiento regular hasta la medición tomada antes de las competiciones. Las sesiones de entrenamiento eran supervisadas por un entrenador, y comenzaban con un

calentamiento estandarizado, una vez comenzaba el entrenamiento, se les pedía a los atletas realizar cada sprint con el máximo esfuerzo. En la Tabla 8 se puede ver la configuración de las sesiones y las semanas

Las mediciones se realizaron todas en la pista de atletismo de Alcantarilla unos meses antes del comienzo de la temporada de competiciones de pista cubierta. Posteriormente, al término de los programas de entrenamiento, se volvía a medir y justo antes de empezar las competiciones. Se realizaron los test relacionados con el perfil F-v horizontal y el test para la determinación de la carga óptima de arrastre.

La duración total de los test se programó para una hora. Se realizó la medición teniendo en cuenta la franja horaria de 19:00 a 20:00 horas. El sujeto fue informado del orden de ejecución de los test. El calentamiento que se realizó ha sido descrito en el apartado de test.

El protocolo de entrenamiento consiste en 12 semanas, de las cuales la 1, 12, 13, 14 y 15 corresponden a los días donde se realizan el pre y el post intervención respectivamente. Las semanas que incluyen las sesiones de entrenamiento, de la 2 a la 11, se realizan 10 sprints resistidos de 20 metros con la carga Lopt. En la siguiente tabla se puede observar la disposición de los entrenamientos y la recogida de datos.

**Tabla 8**

Protocolo de entrenamiento de arrastres en sprint del grupo experimental para el estudio III. Abreviaturas: m, metros; MC, masa corporal y Lopt, carga óptima.

Sesión	Registro Perfil Fuerza-Velocidad- Potencia	Grupo experimental  Lopt × 20-m
	2 sin carga × 30-m	
1	4 con carga × 30-20-m  (25, 50, 75 y 100% MC)	0

2		10
3		10
4		10
5		10
6		10
7		10
8		10
9		10
10		10
11		10
	2 sin carga × 30-m	
12	4 con carga × 30-20-m	0
	(25, 50, 75 y 100% BM)	
13	2 sin carga × 30-m	0

### *Tests*

Antes del comienzo de los test, todos los sujetos realizaron un calentamiento estándar dirigido por el entrenador y establecido por los investigadores. Este calentamiento estandarizado consistió en 10 minutos de trote continuo, ejercicios de técnica de carrera

y 3 progresivos de 50 metros con un descanso de 3 minutos entre cada progresivo.

- Perfil Fuerza-velocidad Horizontal (F-v Hzt)

Para determinar la mecánica del sprint y el rendimiento, los atletas realizaron dos carreras de 30 metros desde dos apoyos (se le instruyó de esta forma para que siempre salieran igual y que no hubiera interferencias por diferencias de salida). Cada intento requería que el atleta estuviera detrás de una línea marcada y la salida debía ser hacia adelante, sin ningún movimiento de retroceso previo al salir. Se tuvo en cuenta el mejor tiempo de esos intentos, el rendimiento en el sprint y los resultados mecánicos se calcularon utilizando el método de campo propuesto por Samozino et al. (2016). Los datos de velocidad-tiempo fueron medidos con un dispositivo de radar (Stalker ATS Pro II, Applied Concepts, TX, USA), para después ser ajustados por una función exponencial y por último, se derivaron para computar los parámetros clave de las relaciones fuerza-velocidad, siendo obtenidas la fuerza máxima teórica ( $F_0$ ),  $v_0$  y  $P_{max}$ , el RF y DRF. Por último, la eficacia de la aplicación de la fuerza en cada apoyo se cuantificó mediante la relación de fuerza horizontal terrestre resultante (RF en %), y el valor máximo de RF se denominó RFmax. Este test se realizó en la semana 1 (PRE), 12 (POST) y antes de la competición (PRECOMP) durante todas las temporadas como se puede ver en la Tabla 9.

#### Test de carga óptima a través del perfil F-v horizontal

Para determinar la carga utilizada para el entrenamiento, se calculó individualmente como propusieron los distintos autores y se determinó como  $L_{opt}$  (Cross et al., 2018). Los atletas fueron instruidos para inclinarse hacia delante y que la cuerda estuviera tensa antes de iniciar cualquier movimiento con el fin de asegurar que no hubiera sacudidas o rebotes del trineo. Los atletas fueron instruidos para estar tan inclinados como fuera posible, y así eliminar cualquier movimiento hacia atrás o contra movimiento que podría afectar a sus resultados en el sprint. Se proporcionó un estímulo verbal para asegurar un máximo esfuerzo en cada prueba. Se registraron las distintas cargas totales de arrastre (en kg) para cada prueba porcentaje individualizados, 25, 50, 75 y 100 % de la masa corporal (MC). Estos datos de velocidad de carga fueron entonces ajustados con una regresión lineal al cuadrado para calcular el  $L_{opt}$  individualizado (Cross et al., 2018), con los datos de sprint no resistidos usados como un punto de "carga cero". En las cargas de 75 y 100 metros se

redujo la distancia a 20 metros porque los sujetos alcanzaban la velocidad máxima antes de los 20 metros, así redujimos la fatiga producida por el test. Este test se realizó en la semana 1 (PRE) y en la semana 12 (POST) durante todas las temporadas como se puede ver en la Tabla 9.

Por lo tanto, el test y post test se compuso de la siguiente estructura representada en la Tabla 9 y en la Figura 16.

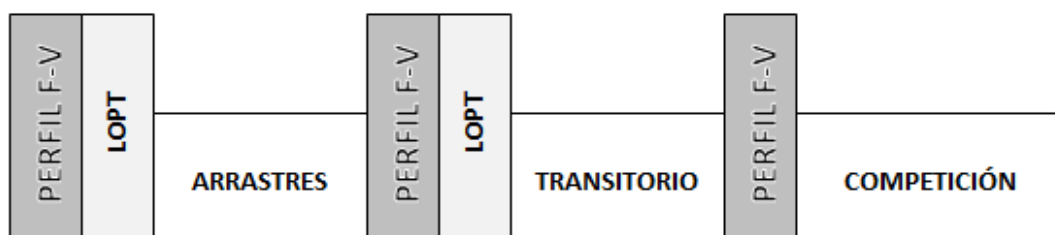
**Tabla 9.** Representación de los test pre, post y precomp para determinar el perfil F-v horizontal y la carga óptima individual para el desarrollo de la Pmax en una temporada.

	Test	Repeticiones	Distancia (m)	Carga (% MC)
<b>PISTA</b>		2	30	Sin carga
		1	30	25
	PRE	1	30	50
		1	20	75
		1	20	100
<b>CUBIERTA</b>		2	30	Sin carga
		1	30	25
	POST	1	30	50
		1	20	75
		1	20	100

	PRECOMP	2	30	Sin carga
		2	30	Sin carga
		1	30	25
	PRE	1	30	50
		1	20	75
		1	20	100
<b>AIRE LIBRE</b>		2	30	Sin carga
		1	30	25
	POST	1	30	50
		1	20	75
		1	20	100
	PRECOMP	2	30	Sin carga

## Figura 16

*Estructura de la toma de datos durante cada periodo de la temporada.*



### *Instrumentos de medida*

Algunos de los instrumentos de medida han sido empleados y descritos en el estudio I. Se podrán consultar en el apartado metodología del mencionado estudio. Además de los instrumentos comunes, en este estudio II se empleó el medidor lineal.

#### Radar

Las pistolas radar son, en su más simple forma, un transceptor de radio: envían una señal de radio, y luego recibe la misma señal que se ha reflejado en un blanco. La frecuencia de radar es diferente cuando retorna, y esas diferencias pueden calcularse dando la velocidad del objeto en cuestión. Su haz de radar es similar al haz de luz que se expande con la distancia a medida que la señal de origen se incrementa, y algunos reflejos del haz desde el objeto vuelven a la pistola, y ésta usa el efecto *Doppler* para calcular su velocidad. Usando la comparación del cambio de frecuencia entre lo enviado y lo recibido se detecta su velocidad.

El radar es un instrumento capaz de medir de forma directa e inmediata la velocidad de los objetos en movimiento de las actividades deportivas. Su facilidad de uso y el rápido aporte de información, hace de él un instrumento útil para el ámbito deportivo. Los sistemas de radar más utilizados son las denominadas pistolas radar, que pueden ser empleadas mediante su uso manual o con tal de asegurar la estabilidad y dirección durante todo el sprint, un trípode. La principal ventaja del radar como instrumento de medida en



el ámbito deportivo, reside precisamente en la rápida aportación de la información, su posibilidad de ser utilizado en situaciones próximas a la realidad competitiva, incluso en competición, y su facilidad de uso que apenas requiere formación.

Se utilizó el radar Stalker ATS System (Radar Sales, Mineapolis, MN, US) con una frecuencia de muestreo de 35 Hz. para la medición del perfil F-V en sprint de 40m.

### *Análisis de datos*

En este estudio se aplicaron dos tipos de procesamiento y análisis de datos, uno para la evaluación de las variables mecánicas de los sprint a partir de la fase de aceleración de un sprint no resistido utilizando el método simple de Samozino et al. (2016) y el otro para el cálculo de los parámetros de carga individual de múltiples sprint resistidos combinados en una relación carga-velocidad (Cross et al., 2018).

### Perfil F-v horizontal

Para cada prueba no resistida, la producción de fuerza horizontal externa se modeliza a partir del centro de movimiento de la masa utilizando un método validado (Samozino et al., 2016). Seguidamente, se aplicó una función mono-exponencial a la velocidad-tiempo bruta mediante una plataforma de software. A partir de este punto, la aceleración del centro de masas del atleta puede calcularse con respecto a la evolución de la  $v_h$  a lo largo del tiempo. Las fuerzas de reacción netas horizontales anteroposteriores del suelo ( $F_h$ ) pueden modelarse considerando la masa total del sistema ( $m$ ; en este caso, la masa corporal de cada atleta), y la fuerza de fricción aerodinámica ( $F_{aero}$ ). A partir de este punto, las relaciones  $F_v$  y  $P_v$  se generaron ajustando los datos  $F_h$  y  $v_h$  con regresiones lineales cuadradas, y los datos  $P_h$  y  $v_h$  con ajustes polinómicos de segundo orden (Samozino et al., 2016).  $F_0$ ,  $v_0$  y  $SF_v$  se determinaron como las intercepciones  $x$  e  $y$  de la regresión lineal y la pendiente (respectivamente) y la  $P_{max}$  se determinó como la combinación óptima entre  $F_0$  y  $v_0$  ( $[F_0, v_0]/4$ ) (Samozino et al., 2016). Las condiciones óptimas de potencia ( $v_{opt}$  y  $F_{opt}$ ) se calcularon en el punto de  $P_{max}$ , que corresponde a  $0,5 v_0$  y  $0,5 F_0$ .

También se calculó un descenso del 10% de  $v_{max}$  para su aplicación al perfil de velocidad de carga, que se explica en el siguiente apartado. La orientación del vector de la fuerza de reacción del suelo se cuantificó mediante la relación de fuerza (RF), calculada como

la relación entre el componente orientado horizontalmente (anteroposterior) (es decir,  $F_h$ ) y el total estimado de la reacción del suelo señal de fuerza. RF se expresa en porcentaje, pero es el equivalente matemático del ángulo de la fuerza de reacción del suelo orientación del vector. La disminución lineal de la RF con la velocidad fue calculada y presentada como un índice de orientación del vector de la fuerza de reacción terrestre a lo largo de la fase de aceleración (DRF) (Samozino et al., 2016).

#### Carga óptima de arrastre

La relación fuerza-velocidad utilizando múltiples ensayos de cargas resistidas ha sido previamente validada, demostrando ser lineal (Cross et al., 2017). En consecuencia, se puede crear un perfil lineal de velocidad de carga asociado para conocer qué variables mecánicas pueden ser mejoradas.

La velocidad máxima promediada de 2 segundos (es decir, la velocidad media alcanzada y mantenida durante 2-s al máximo esfuerzo) se tomó para cada carga de arrastre que el atleta utilizó, y se comparó con el protocolo de resistencia exacto de cada sprint respectivo (lo más cercano posible a 25, 50, 75, y el 100% del peso promedio de los atletas (MC)). Los datos fueron ajustados con una regresión lineal cuadrada negativa para generar un perfil de velocidad de carga individualizado para cada atleta. En estos datos, el sprint no resistido se incluyó como una condición de "carga cero", o contra el mínimo posible resistencia proporcionada por el equipo (para los arrastres). Estos datos se combinaron entonces con los calculados mediante el método simple (Samozino et al., 2016), para calcular los parámetros de entrenamiento individualizados que se aplicarán para cada semana de entrenamiento.

Por lo tanto, el entrenamiento mediante la carga óptima ( $L_{opt}$ ), la velocidad a la que se produjo  $P_{max}$  ( $v_{opt}$ ) fue sustituida en la ecuación determinada a partir de la regresión lineal para proporcionar la carga que correspondía a esta velocidad. Concretamente, los parámetros de carga sobre la base de que la velocidad de carrera correspondiente es  $v_{opt} = 0,5 \cdot v_0$  y la relación lineal carga- $v_{max}$  permite calcular el  $L_{opt}$  a partir del  $v_{opt}$  conocido. Como resultado, cada atleta fue provisto de unos parámetros de entrenamiento individualizados.

#### Análisis de las variables

Los valores se presentan como media  $\pm$  SD (desviación típica). Las diferencias PRE-POST, POST-PRECOMP, PRE-PRECOMP y PRECOMP-PRE en F0, v0y Pmax (objetivo principal de este estudio) se compararon mediante pruebas t-Student de pares en las diferentes etapas competitivas. En todos los casos se consideró estadísticamente significativo si la probabilidad de error era igual o menor que el 5% ( $p \leq 0,05$ ).



# **RESULTADOS**



## 4. RESULTADOS

### ESTUDIO I. ENTRENAMIENTO DE LA MÁXIMA POTENCIA A TRAVÉS DE LA CARGA ÓPTIMA DE ARRASTRE DEL SPRINT EN ATLETAS DE ÉLITE

Como se puede observar en la tabla 10, los análisis muestran que el protocolo de entrenamiento llevado a cabo provocó unos porcentajes de cambio entre el pre y el post en las variables determinantes del Perfil F-v horizontal en la muestra de velocistas. Asimismo, las variables F0 (porcentaje de cambio de  $2.91 \pm 10.41$ ), Pmax (porcentaje de cambio de  $4.67 \pm 12.31$ ), RFmax (porcentaje de cambio de  $2.06 \pm 9.52$ ) y los tiempos en los esprines de 5 (porcentaje de cambio de  $-1.49 \pm 4.08$ ), 10 (porcentaje de cambio de  $-1.59 \pm 4.18$ ) y 20 metros (porcentaje de cambio de  $-3.58 \pm 2.08$ ) tienen una inferencia pequeña. De otro lado, las variables v0 (porcentaje de cambio de  $1.19 \pm 3.19$ ), Sfv (porcentaje de cambio de  $-0.95 \pm 9.39$ ), Drf (porcentaje de cambio de  $-0.52 \pm 7.78$ ) tienen como resultado una inferencia trivial.

Igualmente, para representar los cambios producidos por el entrenamiento, se puede observar de forma gráfica las diferencias en las variables Pmax (figura 17 y 18), v0 (figura 19 y 20), F0 (figura 21 y 22) y Sfv (figura 23 y 24). Por otro lado, se ha dividido la muestra en hombres y mujeres, observando cómo las distintas variables cambian su comportamiento. En este sentido, en las figuras 25 y 26 podemos ver el desarrollo de la Pmax en hombres, mientras que en las figuras 27 y 28 se puede observar el de las mujeres. En cuanto a la v0, las figuras 29 y 30 hacen referencia a los velocistas hombres y las figuras 31 y 32 corresponden a las mujeres. Seguidamente, las figuras 33 y 34 reflejan lo ocurrido con la variable F0 en la muestra compuesta por hombres, mientras que las figuras 35 y 36 reflejan las diferencias en las mujeres. Por último, la variable Sfv es representada gráficamente en las figuras 37 y 38 para la muestra de hombres, y para la muestra de mujeres está representada en las figuras 39 y 40.

**Tabla 10**

*Variables de masa corporal, mecánica, técnica y rendimiento del sprint durante el pre, post y el pico de rendimiento.*

	LOPT (n=36)				
	Pre $\bar{x} \pm SD$	Post $\bar{x} \pm SD$	$\% \Delta \pm SD$	Post – Pre ES; $\pm 90\% CL$	Inferencia
Masa corporal (kg)	64.81 $\pm$ 9.64	65.01 $\pm$ 9.23	0.31; $\pm 0.05$	0.02; $\pm 0.02$	<b>Trivial****</b> (neutral)
$v_0$ (m·s <sup>-1</sup> )	9.03 $\pm$ 0.84	9.20 $\pm$ 0.83	1.19; $\pm 3.19$	0.20; $\pm 0.09$	<b>Trivial*</b> (Neutral)
$F_0$ (N·kg <sup>-1</sup> )	6.94 $\pm$ 0.83	7.14 $\pm$ 0.79	2.91; $\pm 10.41$	0.23; $\pm 0.24$	<b>Pequeña*</b> (positiva)
$P_{max}$ (W·kg <sup>-1</sup> )	15.67 $\pm$ 2.98	16.37 $\pm$ 2.97	4.67; $\pm 12.31$	0.23; $\pm 0.17$	<b>Pequeña*</b> (positiva)
$S_{Fv}$ (%)	-49.90 $\pm$ 8.71	-50.32 $\pm$ 8.38	-0.95; $\pm 9.39$	-0.05; $\pm 0.15$	<b>Trivial **</b> (positiva)
$RF_{max}$ (%)	46.38 $\pm$ 4.06	47.37 $\pm$ 4.42	2.06; $\pm 9.52$	0.23; $\pm 0.30$	<b>Pequeña*</b> (positiva)
$D_{RF}$	-7.03 $\pm$ 0.69	-6.99 $\pm$ 0.57	-0.52; $\pm 7.78$	0.001; $\pm 0.04$	<b>Trivial **</b> (positiva)
5-m (s)	1.41 $\pm$ 0.08	1.39 $\pm$ 0.07	-1.49; $\pm 4.08$	-0.23; $\pm 0.18$	<b>Pequeña*</b> (negativa)
10-m (s)	2.17 $\pm$ 0.14	2.14 $\pm$ 0.12	-1.59; $\pm 4.18$	-0.21; $\pm 0.07$	<b>Pequeña*</b> (negativa)
20-m (s)	3.51 $\pm$ 0.24	3.39 $\pm$ 0.21	-3.58; $\pm 2.08$	-0.53; $\pm 0.09$	<b>Pequeña ****</b> (negativa)
$v_{max}$ (m·s <sup>-1</sup> )	8.55 $\pm$ 0.77	8.72 $\pm$ 0.73	0.99; $\pm 3.57$	0.21; $\pm 0.11$	<b>Pequeña*</b> (positiva)

Los valores son media  $\pm$  desviación estándar, porcentaje de cambio  $\pm$  desviación estándar y tamaño del efecto estandarizado;  $\pm 90\%$  límite de confianza. Abreviaturas: n, tamaño de la muestra;  $\bar{x}$ , media; SD, desviación estándar,  $\% \Delta$ , porcentaje de cambio; ES, tamaño del efecto; 90% CL, 90% límites de confianza; kg, kilogramos;  $v_0$ , velocidad máxima teórica; m, metros; s, segundos;  $F_0$ , fuerza máxima horizontal teórica; N, newton;  $P_{max}$ , potencia máxima; W, vatios;  $S_{Fv}$ , Curva de la relación lineal del perfil F-v;  $RF_{max}$ , ratio de fuerzas máximo;  $D_{RF}$ , disminución del ratio de fuerzas;  $v_{max}$ , velocidad máxima. Inferencias cualitativas son triviales ( $< 0.20$ ), pequeñas ( $0.20 - < 0.60$ ) y moderadas ( $0.60 - < 1.20$ ): \* posible, 25 –  $< 75$ ; \*\* probable, 75 –  $< 95\%$ ; \*\*\* muy probable, 95 –  $< 99.5\%$ ; \*\*\*\* más que probable,  $> 99.5\%$ . Los descriptores cualitativos positivo, neutral y negativo describen el cambio entre los valores post- y pre- y su importancia relativa en una variable específica.

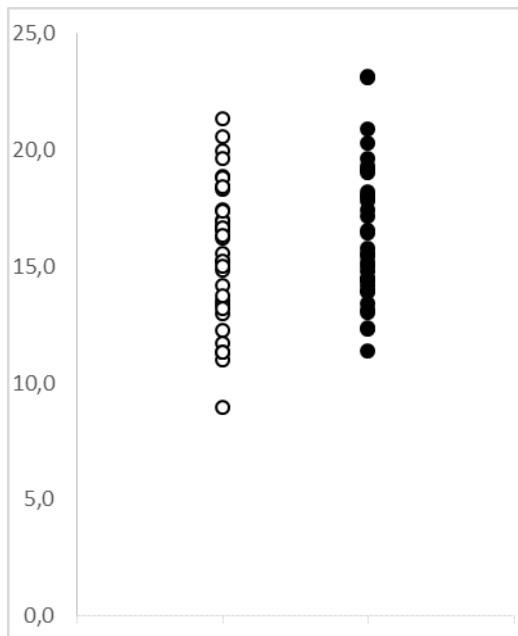


*Gráficas pre-post por variables*

**Pmax**

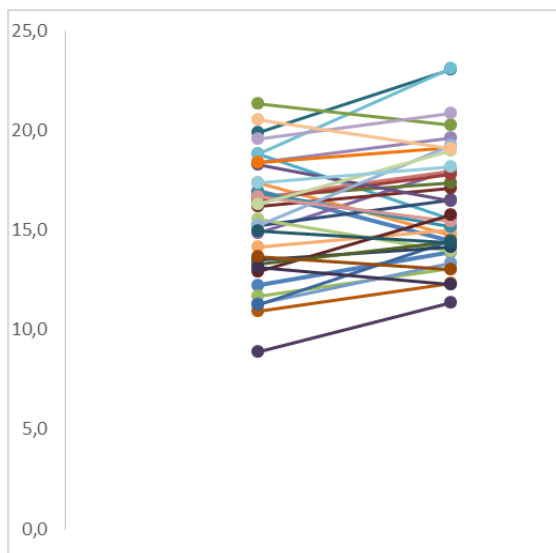
**Figura 17**

Diferencias entre pre (círculos blancos) y post (círculos negros) para la variable Pmax.



**Figura 18**

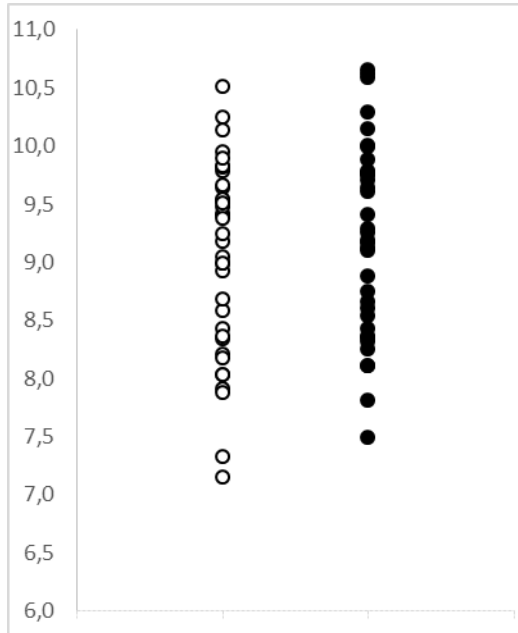
*Diferencias entre pre (círculos izquierda) y post (círculos derecha) para la variable Pmax. Las líneas que conectan los puntos son la relación de cada sujeto, viendo así, los respondedores y no respondedores.*



v0

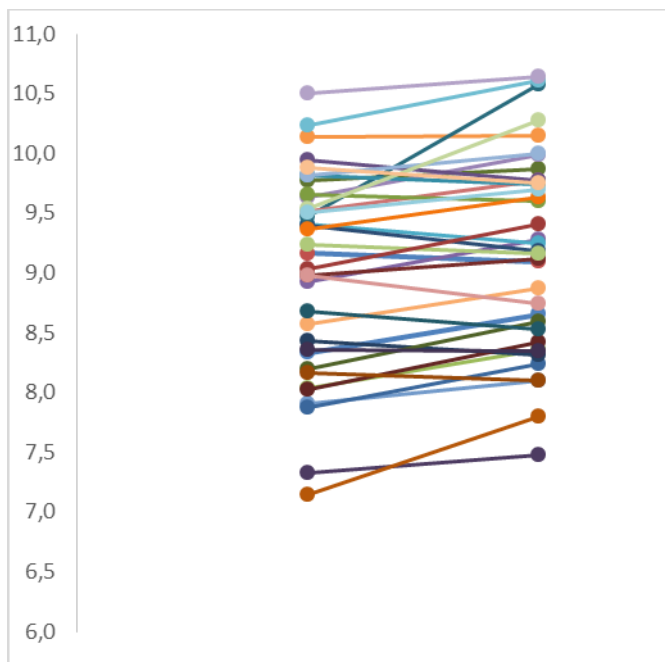
**Figura 19.**

*Diferencias entre pre (círculos blancos) y post (círculos negros) para la variable v0.*



**Figura 20**

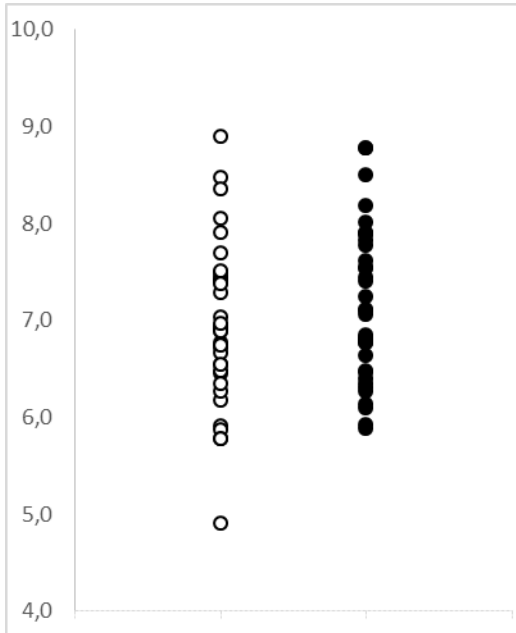
*Diferencias entre pre (círculos izquierda) y post (círculos derecha) para la variable v0. Las líneas que conectan los puntos son la relación de cada sujeto, viendo así, los respondedores y no respondedores.*



## F0

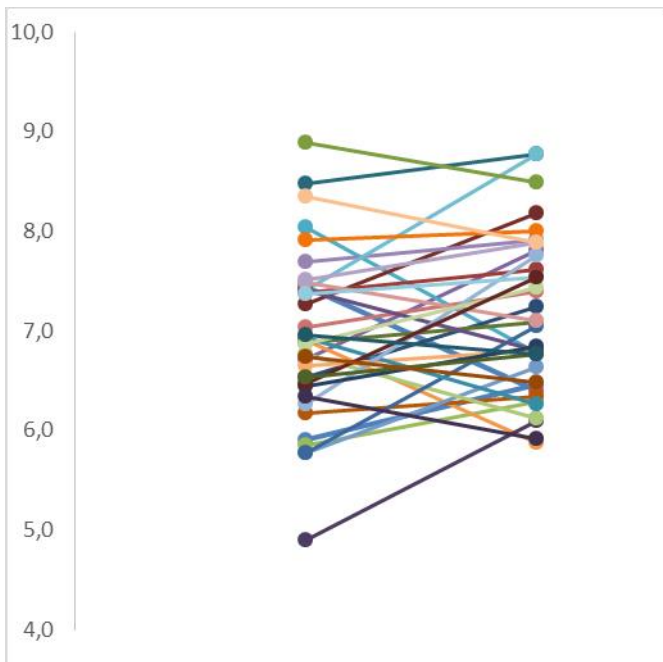
**Figura 21**

*Diferencias entre pre (círculos blancos) y post (círculos negros) para la variable F0.*



**Figura 22**

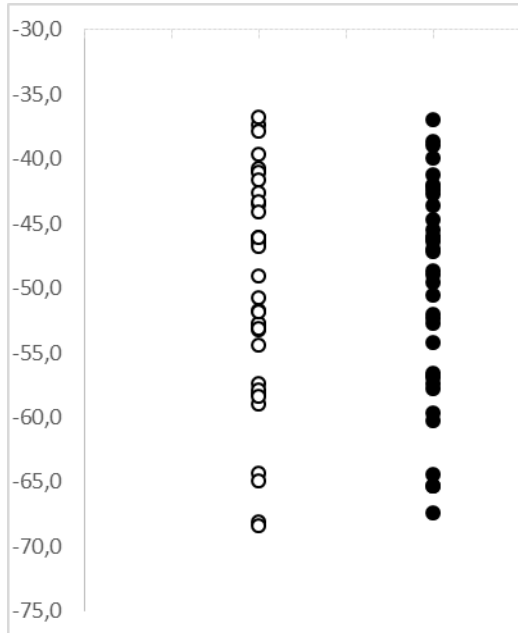
*Diferencias entre pre (círculos izquierda) y post (círculos derecha) para la variable F0. Las líneas que conectan los puntos son la relación de cada sujeto, viendo así, los respondedores y no respondedores.*



Sfv

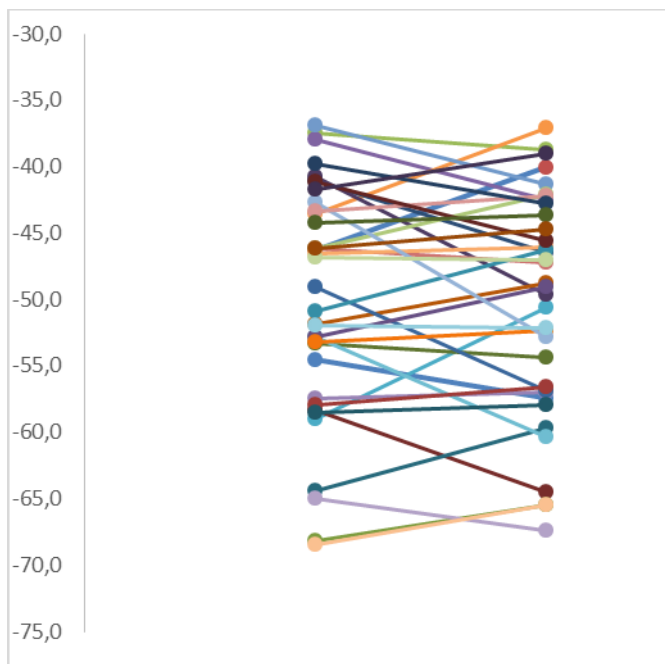
**Figura 23**

*Diferencias entre pre (círculos blancos) y post (círculos negros) para la variable Sfv.*



**Figura 24**

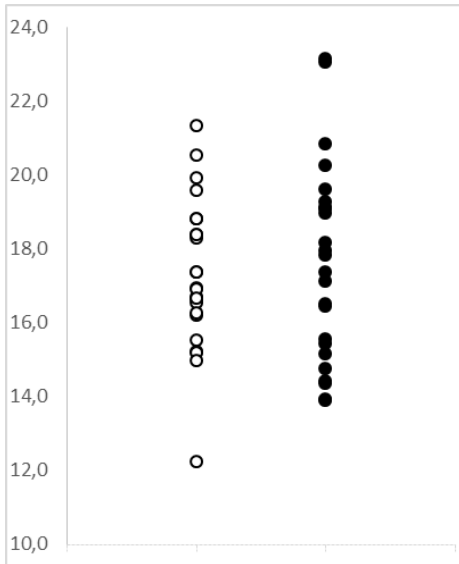
*Diferencias entre pre (círculos izquierda) y post (círculos derecha) para la variable Sfv. Las líneas que conectan los puntos son la relación de cada sujeto, viendo así, los respondedores y no respondedores.*



**Pmax en hombres**

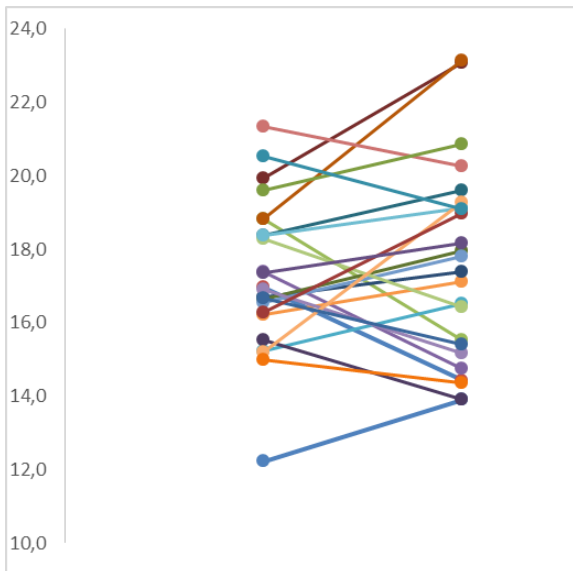
**Figura 25**

Diferencias entre pre (círculos blancos) y post (círculos negros) para la variable Pmax para hombres (n=24).



**Figura 26**

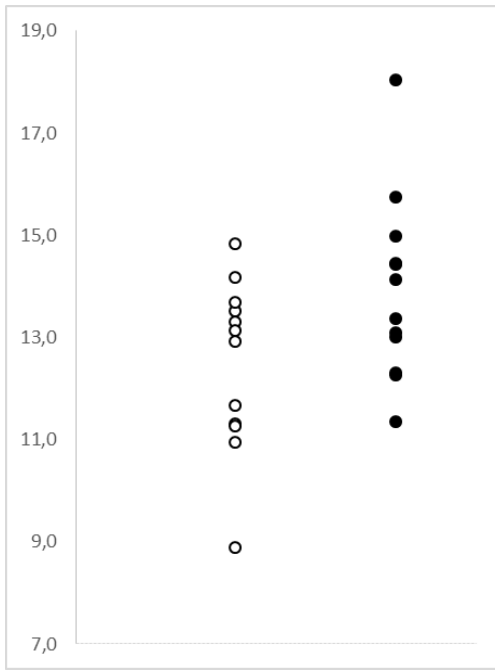
Diferencias entre pre (círculos izquierda) y post (círculos derecha) para la variable Pmax para hombres (n=24). Las líneas que conectan los puntos son la relación de cada sujeto, viendo así, los respondedores y no respondedores.



## Pmax en mujeres

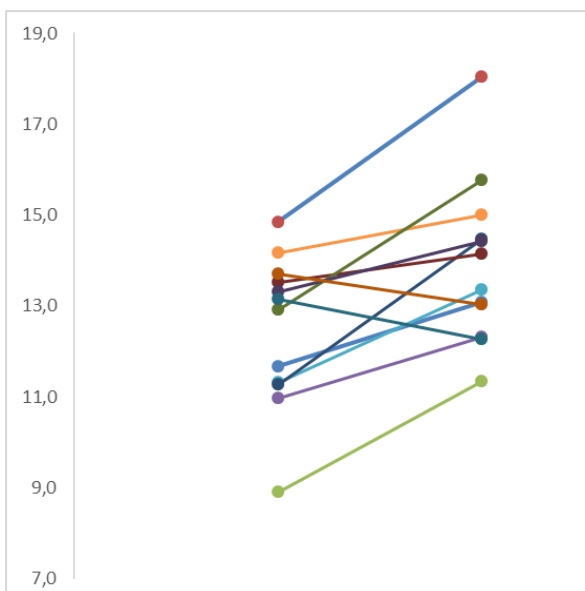
**Figura 27**

*Diferencias entre pre (círculos blancos) y post (círculos negros) para la variable Pmax para mujeres (n=12).*



**Figura 28**

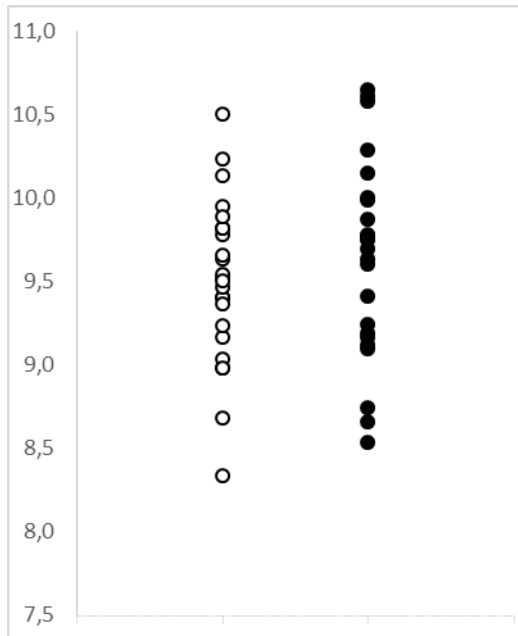
*Diferencias entre pre (círculos izquierda) y post (círculos derecha) para la variable Pmax para mujeres (n=12). Las líneas que conectan los puntos son la relación de cada sujeto, viendo así, los respondedores y no respondedores.*



## v0 en hombres

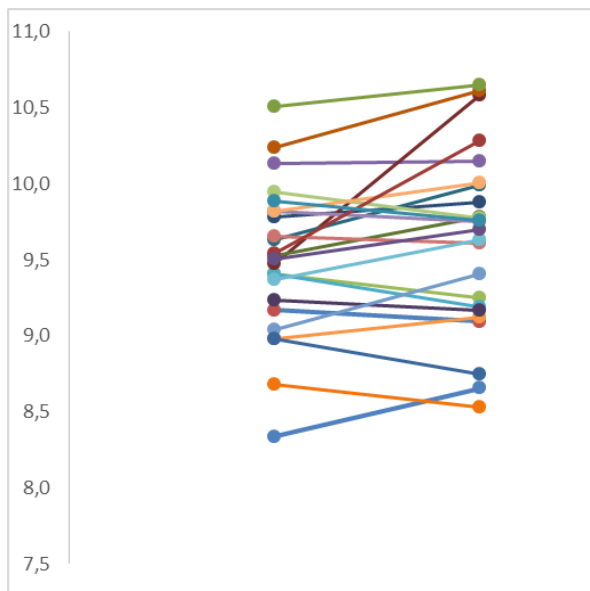
**Figura 29**

*Diferencias entre pre (círculos blancos) y post (círculos negros) para la variable v0 para hombres (n=24).*



**Figura 30**

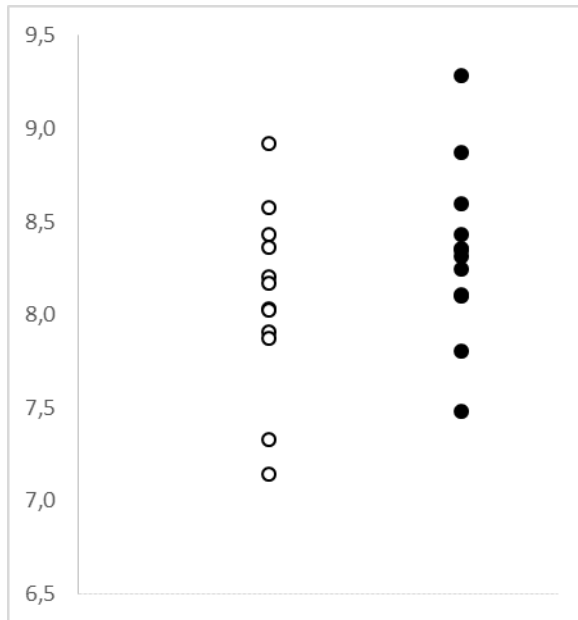
*Diferencias entre pre (círculos izquierda) y post (círculos derecha) para la variable v0 para hombres (n=24). Las líneas que conectan los puntos son la relación de cada sujeto, viendo así, los respondedores y no respondedores.*



## v0 en mujeres

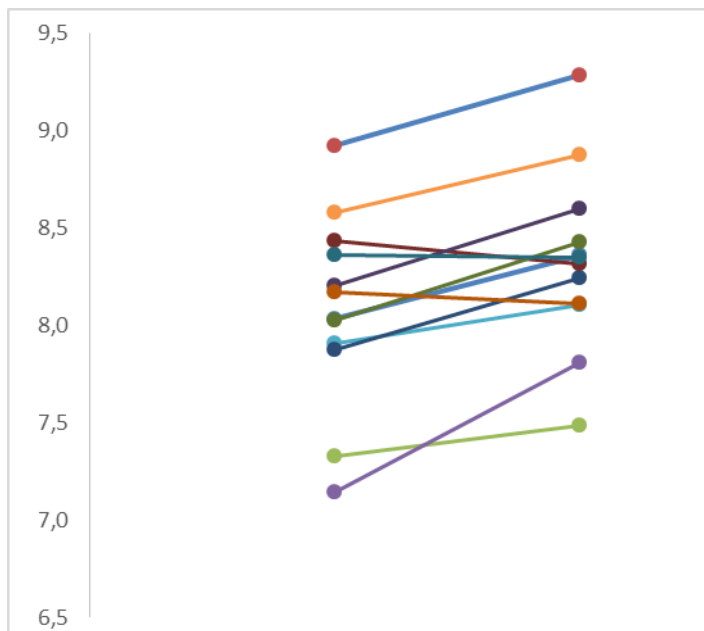
**Figura 31**

*Diferencias entre pre (círculos blancos) y post (círculos negros) para la variable v0 para mujeres (n=12).*



**Figura 32**

*Diferencias entre pre (círculos izquierda) y post (círculos derecha) para la variable v0 para mujeres (n=12). Las líneas que conectan los puntos son la relación de cada sujeto, viendo así, los respondedores y no respondedores.*

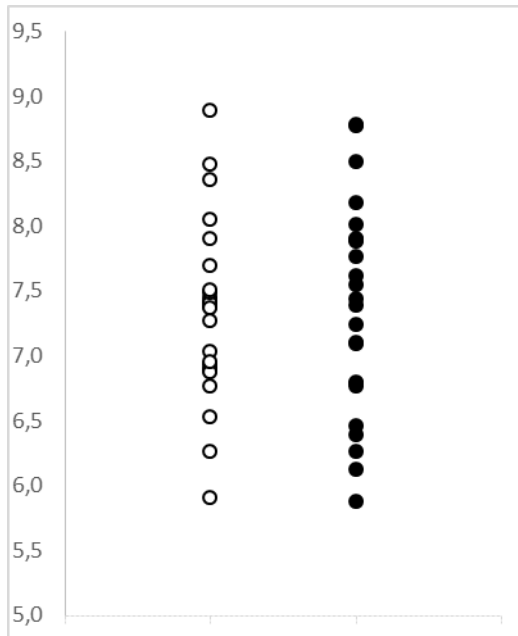




## F0 en hombres

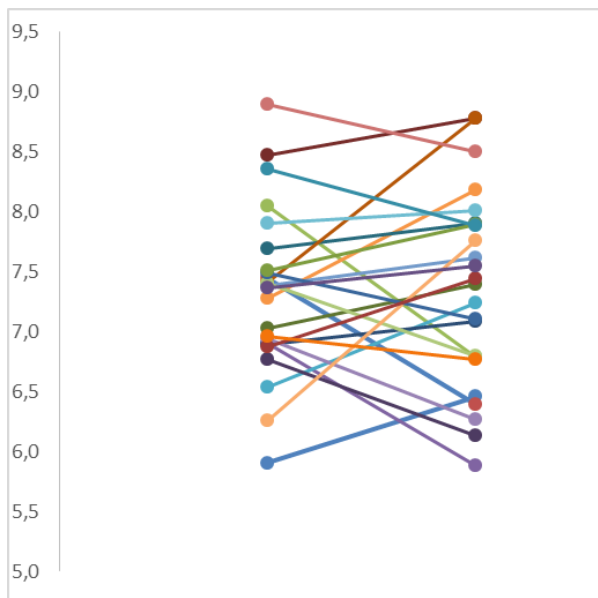
**Figura 33**

*Diferencias entre pre (círculos blancos) y post (círculos negros) para la variable F0 para hombres (n=24).*



**Figura 34**

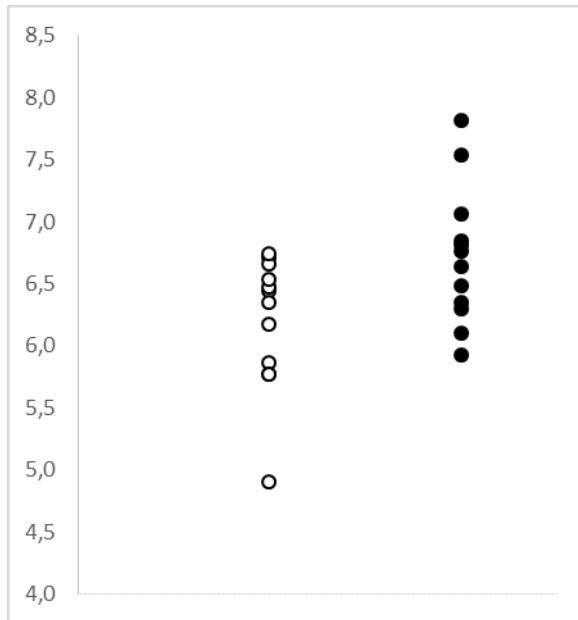
*Diferencias entre pre (círculos izquierda) y post (círculos derecha) para la variable F0 para hombres (n=24). Las líneas que conectan los puntos son la relación de cada sujeto, viendo así, los respondedores y no respondedores.*



## F0 en mujeres

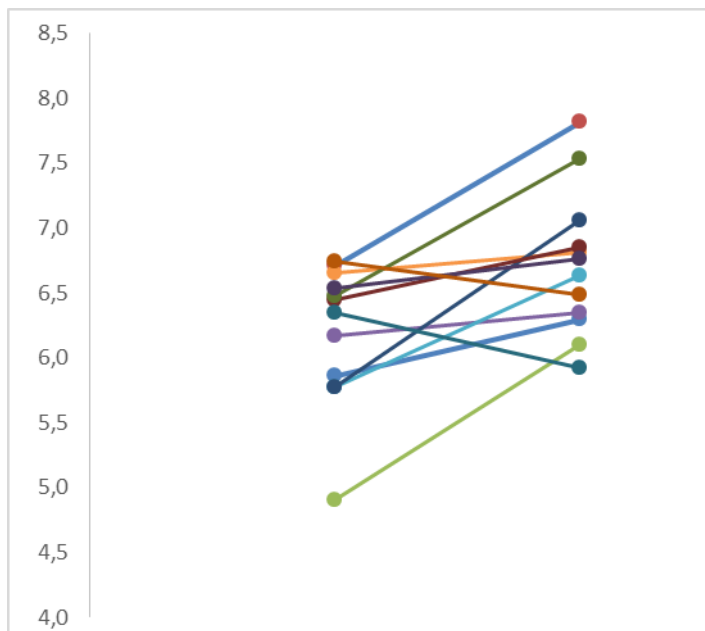
**Figura 35**

*Diferencias entre pre (círculos blancos) y post (círculos negros) para la variable F0 para mujeres (n=12).*



**Figura 36**

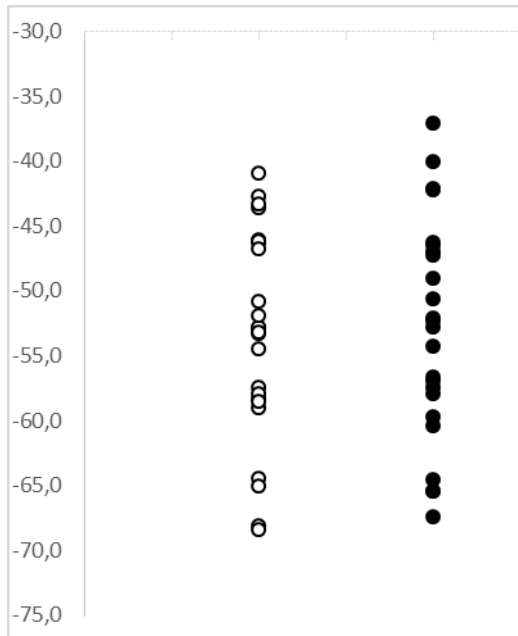
*Diferencias entre pre (círculos izquierda) y post (círculos derecha) para la variable F0 para mujeres (n=12). Las líneas que conectan los puntos son la relación de cada sujeto, viendo así, los respondedores y no respondedores.*



## Sfv en hombres

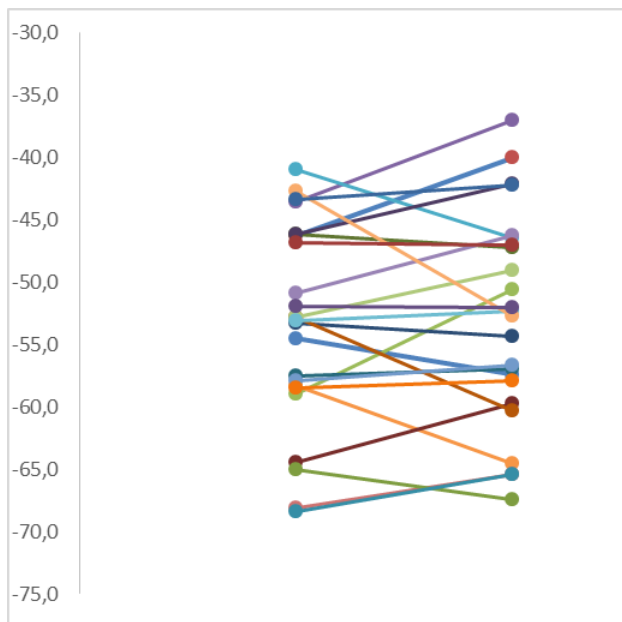
**Figura 37**

*Diferencias entre pre (círculos blancos) y post (círculos negros) para la variable Sfv para hombres (n=24).*



**Figura 38**

*Diferencias entre pre (círculos izquierda) y post (círculos derecha) para la variable Sfv para hombres (n=24). Las líneas que conectan los puntos son la relación de cada sujeto, viendo así, los respondedores y no respondedores.*





## **ESTUDIO II. CINÉTICA DE ADAPTACIÓN INDIVIDUAL DESPUÉS DE UN ENTRENAMIENTO DE ARRASTRES PESADOS EN SPRINT**

En la tabla 11 se puede observar el análisis realizado en las variables determinantes del Perfil F-v horizontal en la muestra de velocistas y las diferencias existentes entre la recogida de datos antes de que empiece el protocolo de entrenamiento, después de que finalice y por último las diferencias entre el pico de rendimiento durante las semanas posteriores al cese del estímulo y el estado inicial de las variables. Analizando primero las variables que han tenido un cambio pequeño en el post comparado con el pre, se puede ver que las variables F0 (porcentaje de cambio de  $5.41 \pm 6.96$ ), Pmax (porcentaje de cambio de  $5.39 \pm 5.87$ ), RFmax (porcentaje de cambio de  $3.19 \pm 3.69$ ), Sfv (porcentaje de cambio de  $8.45 \pm 12.45$ ), Drf (porcentaje de cambio de  $-0.52 \pm 7.78$ ) y los tiempos en los esprines de 5 (porcentaje de cambio de  $-2.11 \pm 2.38$ ), 10 (porcentaje de cambio de  $-1.82 \pm 2.22$ ) y 30 metros (porcentaje de cambio de  $-1.36 \pm 3.53$ ) tienen una inferencia pequeña. De otro lado, la variable v0 (porcentaje de cambio de  $0.07 \pm 3.18$ ), tienen como resultado una inferencia trivial. Por otro lado, a los datos en la comparación Pre-Pico, son diferentes, viendo unos cambios moderados en las variables F0 (porcentaje de cambio de  $9.89 \pm 6.06$ ), RFmax (porcentaje de cambio de  $5.46 \pm 2.91$ ) y Sfv (porcentaje de cambio de  $13.98 \pm 11.94$ ). Mientras que se produjeron unos cambios pequeños en las variables de Pmax (porcentaje de cambio de  $9.98 \pm 5.27$ ), v0 (porcentaje de cambio de  $2.64 \pm 2.95$ ) y en los tiempos en los esprines de 5 (porcentaje de cambio de  $-3.68 \pm 1.98$ ), 10 (porcentaje de cambio de  $-3.29 \pm 1.64$ ) y 30 metros (porcentaje de cambio de  $-2.57 \pm 1.62$ ). Por último, la variable Drf (porcentaje de cambio de  $0.35 \pm 7.68$ ) presenta unos cambios triviales.

Asimismo, para representar los cambios producidos por el entrenamiento durante las distintas mediciones, se puede observar de forma gráfica el cambio que se va produciendo durante las semanas de las variables Pmax, v0 y F0 (figura 41). En las figuras 42, 43 y 44 se puede ver de forma gráfica la evolución de la F0, v0 y Pmax, respectivamente. Por otro lado, se ha dividido la muestra en hombres y mujeres, observando cómo las distintas variables cambian su comportamiento. En este sentido, en las figuras 45 se puede ver la evolución de la F0, v0 y Pmax en la muestra de hombres, mientras que en la 46, 47 y 48 se puede ver de forma gráfica la evolución de la F0, v0 y Pmax de forma dividida para la misma muestra. Con respecto a la muestra compuesta por mujeres, la figura 49 representa las 3 variables principales (F0, v0 y

Pmax) y las figuras 50, 51 y 52 representan cada variables por separado para esta muestra específica.

**Tabla 11**

*Variables de masa corporal, mecánica, técnica y rendimiento del sprint durante el pre, post y el pico de rendimiento.*

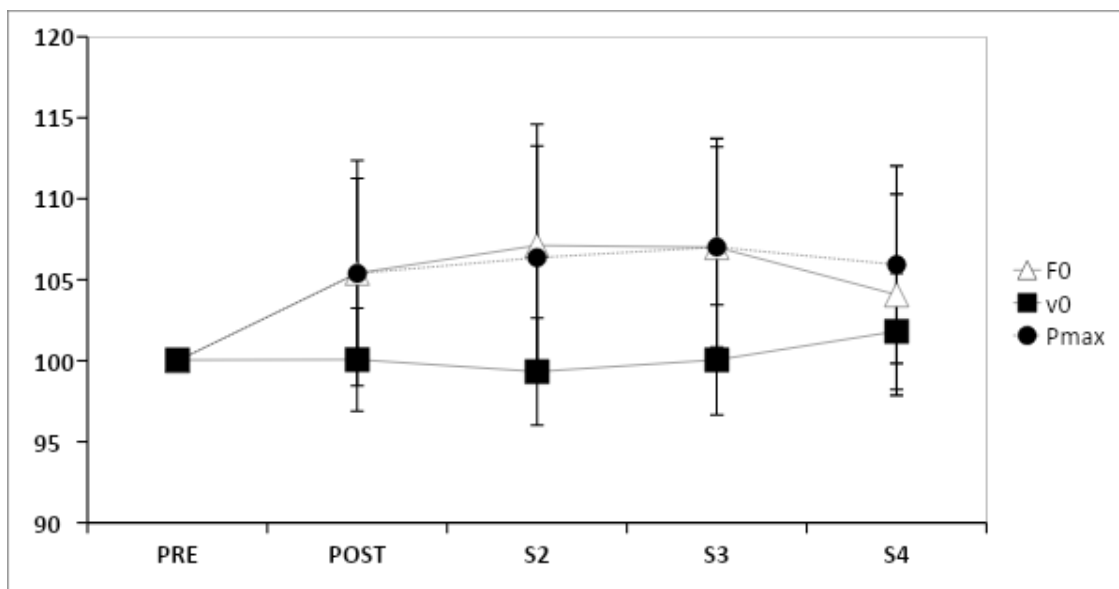
	<i>Pre – Post</i>					<i>Pre - Pico</i>				
	Pre	Post	%Δ ± SD	ES; ±90% CL	Inferencia	Pre	Pico	%Δ ± SD	ES; ±90% CL	Inferencia
	$\bar{x} \pm SD$	$\bar{x} \pm SD$				$\bar{x} \pm SD$	$\bar{x} \pm SD$			
Masa corporal (kg)	62.30 ± 9.68	62.30 ± 9.68	0.32 ± 1.50	0.02; ±0.03	<b>Trivial****</b> (neutral)	81.9 ± 17.1	82.1 ± 16.2	0.43 ± 1.57	0.01; ±0.03	<b>Trivial****</b> (neutral)
$v_0$ (m·s <sup>-1</sup> )	9.20 ± 0.85	9.19 ± 0.80	0.07 ± 3.18	0.00; ±0.12	<b>Trivial****</b> (Neutral)	9.20 ± 0.85	9.43 ± 0.82	2.64 ± 2.95	0.27; ±0.11	<b>Pequeña**</b> (positiva)
$F_0$ (N·kg <sup>-1</sup> )	7.19 ± 0.92	7.56 ± 0.92	5.41 ± 6.96	0.39; ±0.18	<b>Pequeña****</b> (positiva)	7.19 ± 0.92	7.88 ± 0.95	9.89 ± 6.06	0.73; ±0.15	<b>Moderada****</b> (positiva)
$P_{max}$ (W·kg <sup>-1</sup> )	16.50 ± 3.35	17.33 ± 3.35	5.39 ± 5.87	0.24; ±0.10	<b>Pequeña **</b> (positiva)	16.50 ± 3.35	18.08 ± 3.35	9.98 ± 5.27	0.45; ±0.09	<b>Pequeña****</b> (positiva)
$S_{Fv}$ (%)	-47.98 ± 9.27	-51.53 ± 8.54	8.45 ± 12.45	-0.37; ±0.21	<b>Pequeña **</b> (positiva)	-47.98 ± 9.27	-54.25 ± 9.34	13.98 ± 11.94	-0.65; ±0.18	<b>Moderada****</b> (positiva)
$RF_{max}$ (%)	49.53 ± 3.99	51.08 ± 4.11	3.19 ± 3.69	0.37; ±0.16	<b>Pequeña ****</b> (positiva)	49.53 ± 3.99	52.21 ± 4.06	5.46 ± 2.91	0.65; ±0.12	<b>Moderada****</b> (positiva)
$D_{RF}$	-7.10 ± 0.56	-7.44 ± 0.55	5.15 ± 8.70	-0.58; ±0.38	<b>Pequeña ****</b> (negativa)	-7.10 ± 0.56	-7.10 ± 0.48	0.35 ± 7.68	0.00; ±0.34	<b>Trivial*</b> (positiva)
5-m (s)	1.39 ± 0.09	1.36 ± 0.08	-2.11 ± 2.38	-0.32; ±0.13	<b>Pequeña **</b> (positiva)	1.39 ± 0.09	1.34 ± 0.09	-3.68 ± 1.98	-0.55; ±0.11	<b>Pequeña****</b> (positiva)
10-m (s)	2.14 ± 0.15	2.10 ± 0.14	-1.82 ± 2.22	-0.26; ±0.12	<b>Pequeña **</b> (positiva)	2.14 ± 0.15	2.07 ± 0.14	-3.29 ± 1.64	-0.47; ±0.09	<b>Pequeña****</b> (positiva)
30-m (s)	4.61 ± 0.34	4.55 ± 0.32	-1.36 ± 1.53	-0.18; ±0.07	<b>Pequeña *</b> (positiva)	4.61 ± 0.34	4.49 ± 0.31	-2.57 ± 1.62	-0.34; ±0.08	<b>Pequeña****</b> (positiva)
$v_{max}$ (m·s <sup>-1</sup> )	8.70 ± 0.76	8.76 ± 0.74	0.72 ± 2.72	0.07; ±0.11	<b>Trivial***</b> (positiva)	8.70 ± 0.76	8.95 ± 0.78	2.87 ± 2.96	0.31; ±0.11	<b>Pequeña**</b> (positiva)

Los valores son media  $\pm$  desviación estándar, porcentaje de cambio  $\pm$  desviación estándar y tamaño del efecto estandarizado;  $\pm 90\%$  límite de confianza. Abreviaturas:  $n$ , tamaño de la muestra;  $\bar{x}$ , media; SD, desviación estándar,  $\% \Delta$ , porcentaje de cambio; ES, tamaño del efecto; 90% CL, 90% límites de confianza; kg, kilogramos;  $v_0$ , velocidad máxima teórica; m, metros; s, segundos;  $F_0$ , fuerza máxima horizontal teórica; N, newton;  $P_{max}$ , potencia máxima; W, vatios;  $S_{Fv}$ , Curva de la relación lineal del perfil F-v;  $RF_{max}$ , ratio de fuerzas máximo;  $D_{RF}$ , disminución del ratio de fuerzas;  $v_{max}$ , velocidad máxima. Inferencias cualitativas son triviales ( $< 0.20$ ), pequeñas ( $0.20 - < 0.60$ ) y moderadas ( $0.60 - < 1.20$ ): \* posible,  $25 - < 75$ ; \*\* probable,  $75 - < 95\%$ ; \*\*\* muy probable,  $95 - < 99.5\%$ ; \*\*\*\* más que probable,  $> 99.5\%$ . Los descriptores cualitativos positivo, neutral y negativo describen el cambio entre los valores post- y pre- y su importancia relativa en una variable específica.

## Gráficas de resultados con toda la muestra

### Figura 41

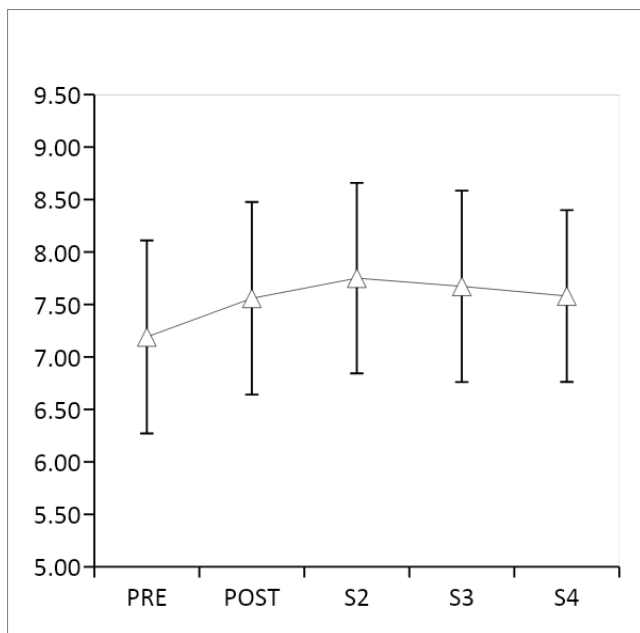
Cambios en las variables  $F_0$ ,  $v_0$  y  $P_{max}$  de salida para los diferentes puntos de tiempo de medición: pre-entrenamiento, y una (POST), dos (S2), tres (S3) y cuatro (S4) semanas después del bloque de entrenamiento de 10 semanas. Datos expresados en función del valor de la línea de base (PRE).



### Figura 42

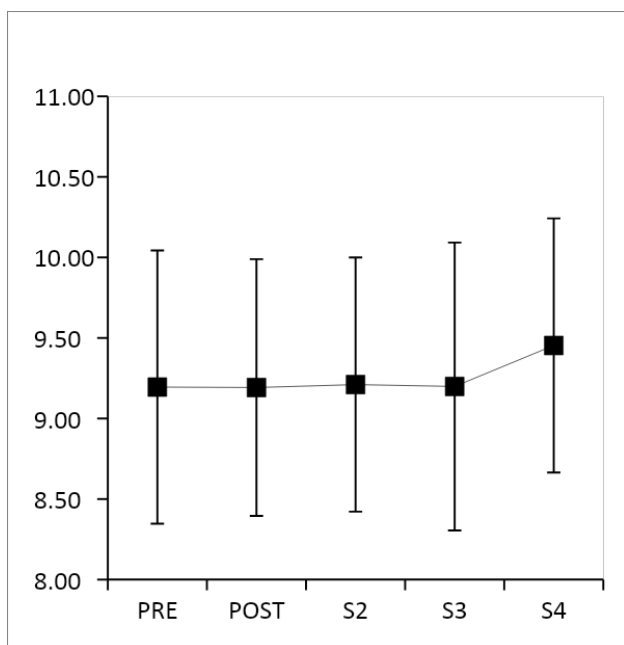
Cambios en la fuerza horizontal máxima teórica para los diferentes puntos de tiempo de medición: pre-entrenamiento, y una (POST), dos (S2), tres (S3) y cuatro (S4) semanas después del bloque de entrenamiento de 10 semanas.





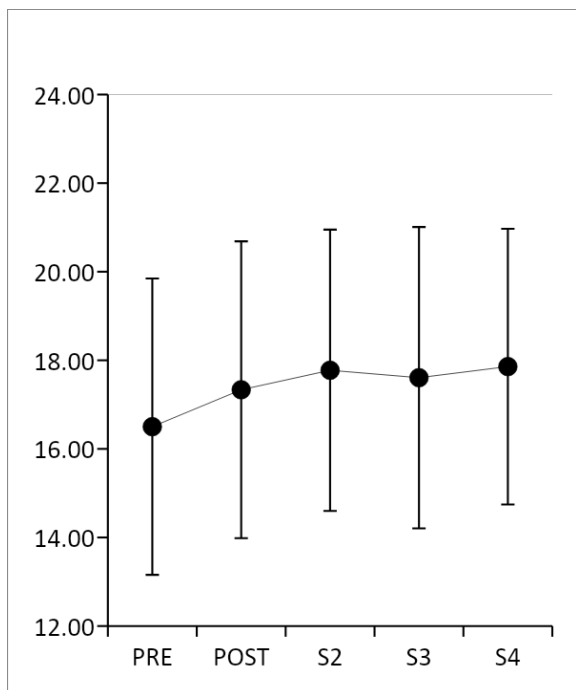
**Figura 43**

*Cambios en la velocidad máxima teórica para los diferentes puntos de tiempo de medición: pre-entrenamiento, y una (POST), dos (S2), tres (S3) y cuatro (S4) semanas después del bloque de entrenamiento de 10 semanas.*



#### Figura 44

Cambios en la potencia máxima de salida para los diferentes puntos de tiempo de medición: pre-entrenamiento, y una (POST), dos (S2), tres (S3) y cuatro (S4) semanas después del bloque de entrenamiento de 10 semanas.

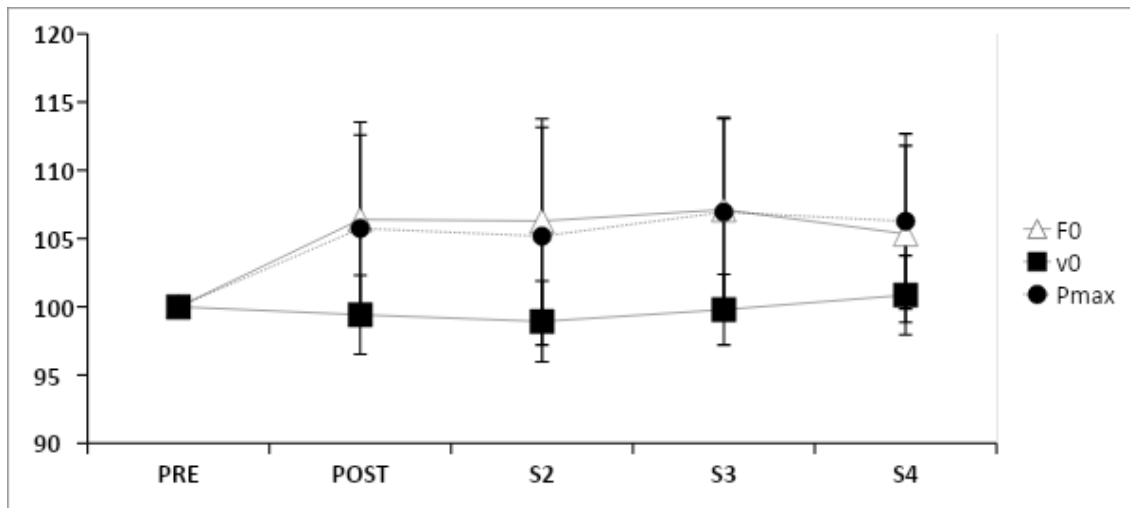


#### Gráficas de resultados por género

##### Gráficas de la muestra masculina

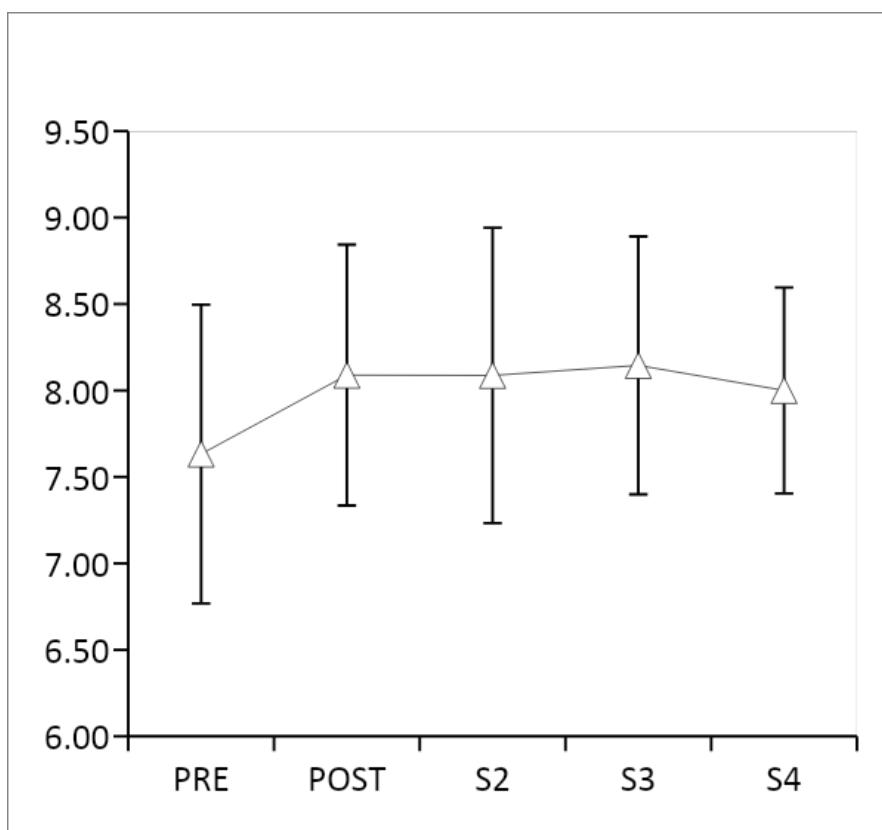
#### Figura 45

Cambios en las variables  $F0$ ,  $v0$  y  $P_{max}$  de salida para los diferentes puntos de tiempo de medición: pre-entrenamiento, y una (POST), dos (S2), tres (S3) y cuatro (S4) semanas después del bloque de entrenamiento de 10 semanas para la muestra de atletas masculinos. Datos expresados en función del valor de la línea de base (PRE).



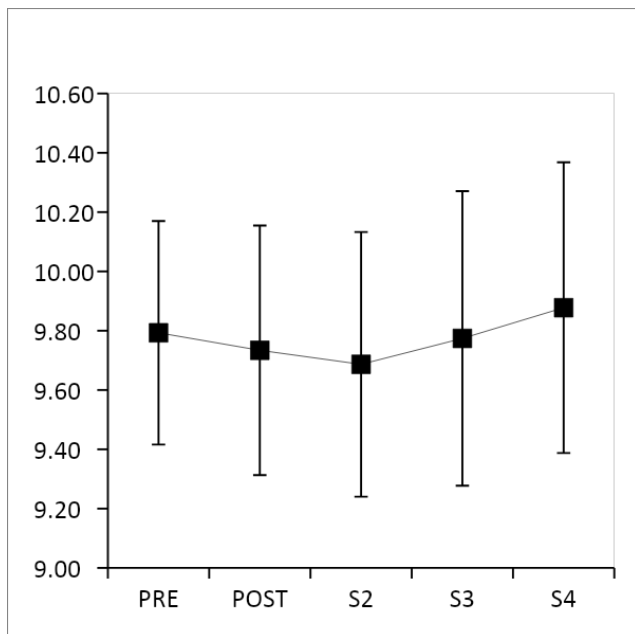
**Figura 46**

*Cambios en la fuerza horizontal máxima teórica para los diferentes puntos de tiempo de medición: pre-entrenamiento, y una (POST), dos (S2), tres (S3) y cuatro (S4) semanas después del bloque de entrenamiento de 10 semanas de los atletas masculinos.*



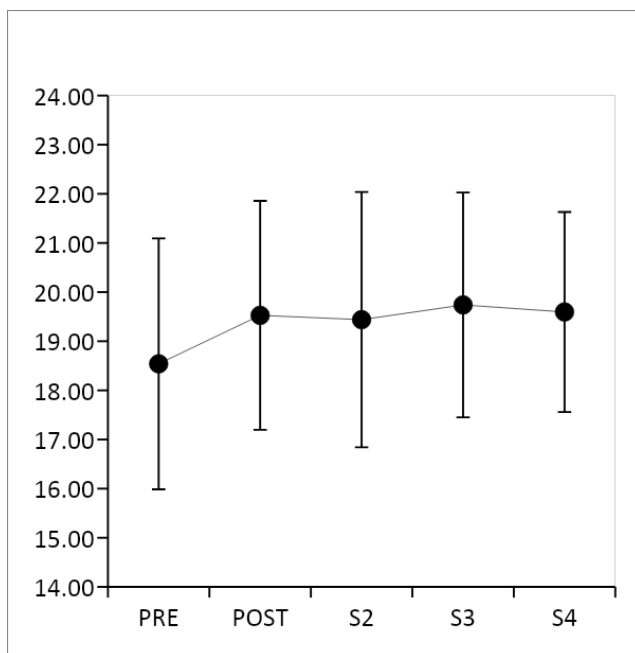
**Figura 47**

*Cambios en la velocidad máxima teórica para los diferentes puntos de tiempo de medición: pre-entrenamiento, y una (POST), dos (S2), tres (S3) y cuatro (S4) semanas después del bloque de entrenamiento de 10 semanas de los atletas masculinos.*



**Figura 48**

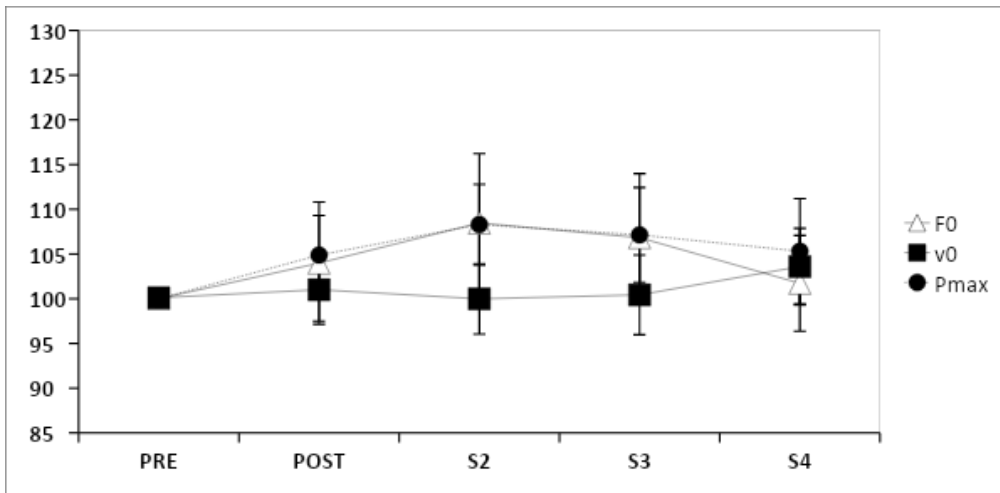
*Cambios en la potencia máxima de salida para los diferentes puntos de tiempo de medición: pre-entrenamiento, y una (POST), dos (S2), tres (S3) y cuatro (S4) semanas después del bloque de entrenamiento de 10 semanas de los atletas masculinos.*



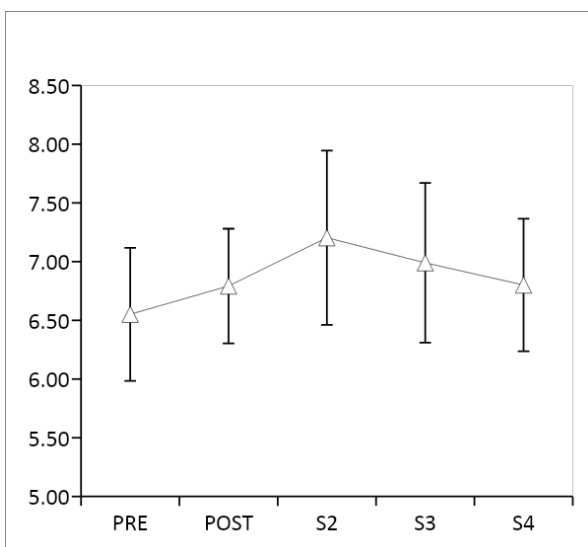
## Gráficas de la muestra femenina

**Figura 49**

Cambios en las variables  $F0$ ,  $v0$  y  $Pmax$  de salida para los diferentes puntos de tiempo de medición: pre-entrenamiento, y una (POST), dos (S2), tres (S3) y cuatro (S4) semanas después del bloque de entrenamiento de 10 semanas para la muestra de atletas femeninas. Datos expresados en función del valor de la línea de base (PRE).

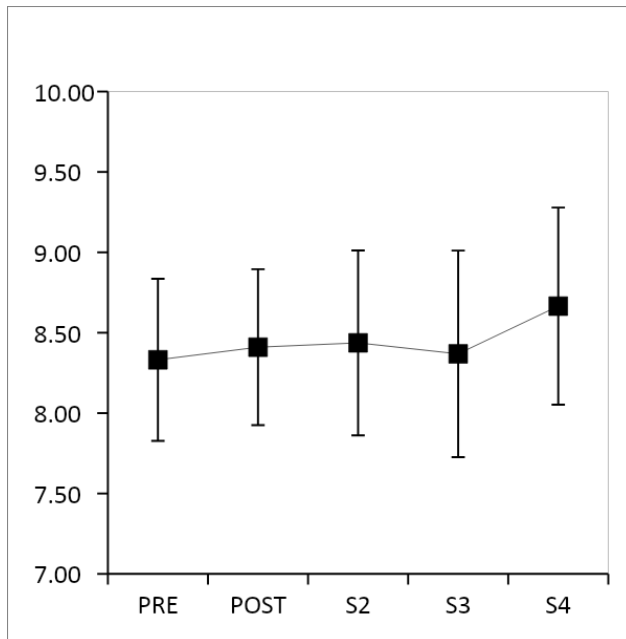


**Figura 50.** Cambios en la fuerza horizontal máxima teórica para los diferentes puntos de tiempo de medición: pre-entrenamiento, y una (POST), dos (S2), tres (S3) y cuatro (S4) semanas después del bloque de entrenamiento de 10 semanas de las atletas femeninas.



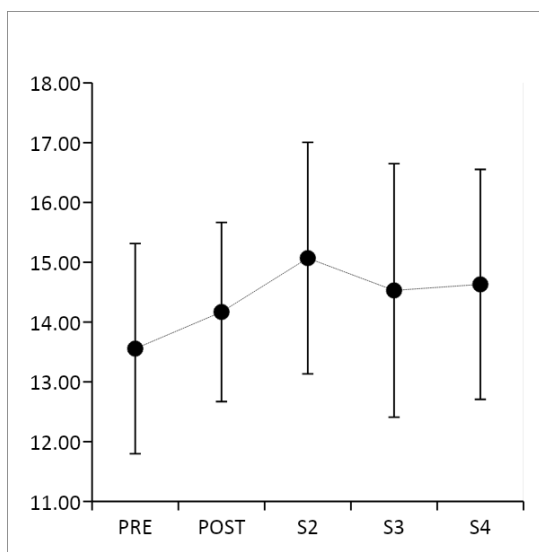
**Figura 51**

*Cambios en la velocidad máxima teórica para los diferentes puntos de tiempo de medición: pre-entrenamiento, y una (POST), dos (S2), tres (S3) y cuatro (S4) semanas después del bloque de entrenamiento de 10 semanas de las atletas femeninas.*



**Figura 52**

*Cambios en la potencia máxima de salida para los diferentes puntos de tiempo de medición: pre-entrenamiento, y una (POST), dos (S2), tres (S3) y cuatro (S4) semanas después del bloque de entrenamiento de 10 semanas de los atletas masculinos.*



### **ESTUDIO III. CINÉTICA DE ADAPTACIÓN INDIVIDUAL AL ENTRENAMIENTO DE ARRASTRES DURANTE VARIAS TEMPORADAS EN UN ATLETA DE ALTO NIVEL**

Para ilustrar los resultados de este estudio, se ha desarrollado la tabla 12 en la que se puede observar de forma descriptiva el desarrollo de las variables determinantes del Perfil F-v horizontal durante las diferentes temporadas en las que se llevó a cabo el protocolo de entrenamiento. Por otro lado, para observar las diferencias existentes de las variables analizadas durante las distintas temporadas, en la tabla 13 se visualizan los datos obtenidos en el tiempo en 60 (pista cubierta) y 100 metros (aire libre), la F0, la v0 y la Pmax. Además, para ver los cambios que se experimentan, se ve el % de cambio entre las temporadas de pista cubierta (16/17, 17/18 y 18/19) y en aire libre (donde sólo se analizó el cambio entre la 16/17 con respecto a la 17/18). En este sentido, se puede observar que los porcentajes de cambio para el tiempo, la F0, la v0 y la Pmax entre la temporada 16/17 y 17/18 correspondientes a la pista cubierta son de -0,74, 4,32, 4,82 y 10,91% respectivamente. También, en pista cubierta, los cambios producidos entre la temporada 17/18 y la 18/19 en pista cubierta son de -0,89 en los tiempos de 60 metros, 8,75 en la F0, 0,47 en la v0 y de 9,12% en la Pmax. Por otro lado, analizando el cambio en la única temporada de que se dispuso de los datos de aire libre (16/17 y 17/18), se puede observar que el porcentaje de cambio en los tiempos en 100 metros, F0, v0 y Pmax son de -1,15, 4,74, 0,38 y 5,35 respectivamente.

Además de ver los cambios producidos de una temporada a otra, en la tabla 14 se pueden ver los porcentajes de pérdida, que hacen referencia al último test recogido (pre competitivo), de una temporada comparándolo con el siguiente test, el pre test de la siguiente y de esta forma observar el desentrenamiento que se produce. Los tiempos recogidos son los oficiales y hacen referencia al mejor tiempo en competición en esa etapa, en este caso, la pista cubierta hace referencia a la prueba de 60 metros. Al comparar la primera temporada y la última en pista cubierta, los porcentajes de cambio en la F0, la v0 y la Pmax son de -1,62, 13,44, 5,31 y 21,03 respectivamente. Cuando se observan los porcentajes de pérdida, en la transición de la temporada 16/17 a 17/18, se ve que la F0 disminuye un 1,22%, la v0 un 0,66% y por último, la Pmax disminuye un 1,72%. En cuanto al cambio de temporada 17/18 a 18/19, se ven unas disminuciones de un 0,46%, 0,76% y 1,41% en la F0, v0 y Pmax respectivamente.

Asimismo, para representar los cambios producidos por el entrenamiento durante las distintas mediciones, se puede observar de forma gráfica el cambio que se va produciendo durante las semanas de las variables Pmax, v0 y F0 (figura 41). En las figuras 42, 43 y 44 se puede ver de forma gráfica la evolución de la F0, v0 y Pmax, respectivamente. Por otro lado, se ha dividido la muestra en hombres y mujeres, observando cómo las distintas variables cambian su comportamiento. En este sentido, en las figuras 45 se puede ver la evolución de la F0, v0 y Pmax en la muestra de hombres, mientras que en la 46, 47 y 48 se puede ver de forma gráfica la evolución de la F0, v0 y Pmax de forma dividida para la misma muestra. Con respecto a la muestra compuesta por mujeres, la figura 49 representa las 3 variables principales (F0, v0 y Pmax) y las figuras 50, 51 y 52 representan cada variables por separado para esta muestra específica. Por último, en la tabla 15 se representan las diferencias existentes entre las medidas realizadas en cada una de las temporadas.

En cuanto a las gráficas, en las figuras 53, 54 y 55 se puede visualizar el Perfil Fuerza-velocidad de cada temporada en aire libre y pista cubierta, de las temporadas 16/17, 17/18 y 18/19 respectivamente. En la figura 56 se muestra la gráfica que representa el pre de pista cubierta de todas las temporadas, seguida de la figura 56 que muestra el post de pista cubierta de todas las temporadas. Por otro lado, las figuras 57 y 58 representan el pre y el post del periodo de aire libre de la temporada 16/17 y 17/18.



**Tabla 12**

*Datos de todas las temporadas y las variables mecánicas del perfil fuerza-velocidad. Pre: antes de iniciar el periodo de entrenamiento específico y que coincide con el inicio de preparación de la temporada de pista cubierta o aire libre. Post: justo después de la finalización del periodo de entrenamiento. Precomp: medición que se realiza antes de iniciar el periodo competitivo. F0 (fuerza máxima horizontal teórica), v0 (velocidad máxima teórica), Pmax (potencia máxima horizontal teórica) y FVP (perfil fuerza velocidad).*

	Pista cubierta 16/17			Aire libre 16/17			Pista cubierta 17/18			Aire libre 17/18			Pista cubierta 18/19		
	PRE	POST	PRECOMP	PRE	POST	PRECOMP	PRE	POST	PRECOMP	PRE	POST	PRECOMP	PRE	POST	PRECOMP
Peso (kg)	74	74,5	74,5	75	75	75	75	75,5	75,5	76	76	76	76	76	76
V0 (m/s)	9,93	10,20	10,16	10,20	10,43	10,54	10,47	10,54	10,65	10,48	10,50	10,58	10,50	10,62	10,70
F0 (N/kg)	7,41	7,88	8,11	7,84	8,05	8,23	8,13	8,34	8,46	8,35	8,53	8,62	8,58	8,76	9,20
Pmax (W*kg-1)	18,27	19,93	20,46	19,82	20,84	21,51	21,14	21,84	22,36	21,74	22,25	22,66	22,34	23,09	24,40
Force-Velocity profile	-55,22	-57,50	-59,45	-57,61	-57,88	-58,53	-58,20	-59,77	-60,01	-60,54	-61,76	-61,92	-62,05	-62,73	-65,32
Rfpeak	47%	52%	53%	51%	52%	55%	49%	52%	53%	52%	51%	53%	56%	55%	58%
DRF	-6,73%	-6,86%	-6,97%	-6,92%	-6,76%	-6,69%	-6,95%	-6,95%	-6,91%	-7,01%	-7,17%	-7,09%	-6,99%	-7,10%	-7,28%
Tiempo 5 m (s)	1,34	1,31	1,29	1,30	1,30	1,29	1,28	1,28	1,26	1,27	1,27	1,26	1,26	1,24	1,22
Tiempo 30 m (s)	4,37	4,24	4,22	4,24	4,18	4,13	4,15	4,12	4,08	4,12	4,10	4,09	4,10	4,05	3,97
Velocidad máxima (m/s)	9,46	9,46	9,51	9,70	9,85	10,06	9,62	9,79	10,08	9,74	9,86	9,84	9,81	10,09	10,14

**Tabla 13**

*Datos de rendimiento del atleta en las diferentes épocas de competición. Han sido seleccionado los picos de rendimiento en cada una de las etapas, coincidiendo los valores de las variables mecánicas con los test precompetitivos. Los tiempos recogidos son los oficiales y hacen referencia al mejor tiempo en competición en esa etapa. En el caso de pista cubierta hace referencia a la prueba de 60 metros y en aire libre, son los obtenidos en competiciones de distancia de 100 metros. El porcentaje de cambio es la relación de las distintas etapas competitivas, siendo un año de diferencia entre ellas.*

	16/17 PC	16/17 AL	17/18 PC	17/18 AL	18/19 PC	% Cambio 16/17-17/18 PC	% Cambio 17/18-18/19 PC	% Cambio 16/17-17/18 AL
Tiempo (s)	6,8	10,48	6,75	10,36	6,69	-0,74	-0,89	-1,15
F0 (N/kg)	8,11	8,23	8,46	8,62	9,2	4,32	8,75	4,74
v0 (m/s)	10,16	10,54	10,65	10,58	10,7	4,82	0,47	0,38
Pmax (W*kg -1)	20,16	21,51	22,36	22,66	24,4	10,91	9,12	5,35

**Tabla 14**

*Porcentajes de cambio del atleta durante los diferentes momentos del periodo recogido. El porcentaje de cambio de la temporada 16/17-18/19 PC hace referencia a los mejores resultados de una temporada, coincidiendo con los test pre competitivos, con la última temporada recogida. Los porcentajes de pérdida hacen referencia al último test recogido, el pre competitivo, de una temporada comparándolo con el siguiente test, el pre test y de esta forma observar el desentrenamiento que se produce. Los tiempos recogidos son los oficiales y hacen referencia al mejor tiempo en competición en esa etapa, en este caso, la pista cubierta hace referencia a la prueba de 60 metros.*

	% Cambio 16/17-18/19 PC	%Pérdida 16/17 a 17/18	%Pérdida 17/18 a 18/19
Tiempo (s)	-1,62	-	-
F0 (N/kg)	13,44	1,22	0,46
v0 (m/s)	5,31	0,66	0,76
Pmax (W*kg -1)	21,03	1,72	1,41

**Tabla 15**

*Diferencias existentes entre las medidas realizadas en cada una de las temporadas. Pre: antes de iniciar el periodo de entrenamiento específico y que coincide con el inicio de preparación de la temporada de pista cubierta o aire libre. Post: justo después de la finalización del periodo de entrenamiento. Precomp: medición que se realiza antes de iniciar el periodo competitivo. F0 (fuerza horizontal teórica), v0 (velocidad horizontal teórica), Pmax (potencia máxima horizontal teórica) y FVP (perfil fuerza velocidad). Se interpreta que es significativo cuando el resultado del análisis es  $p > 0.05$ .*

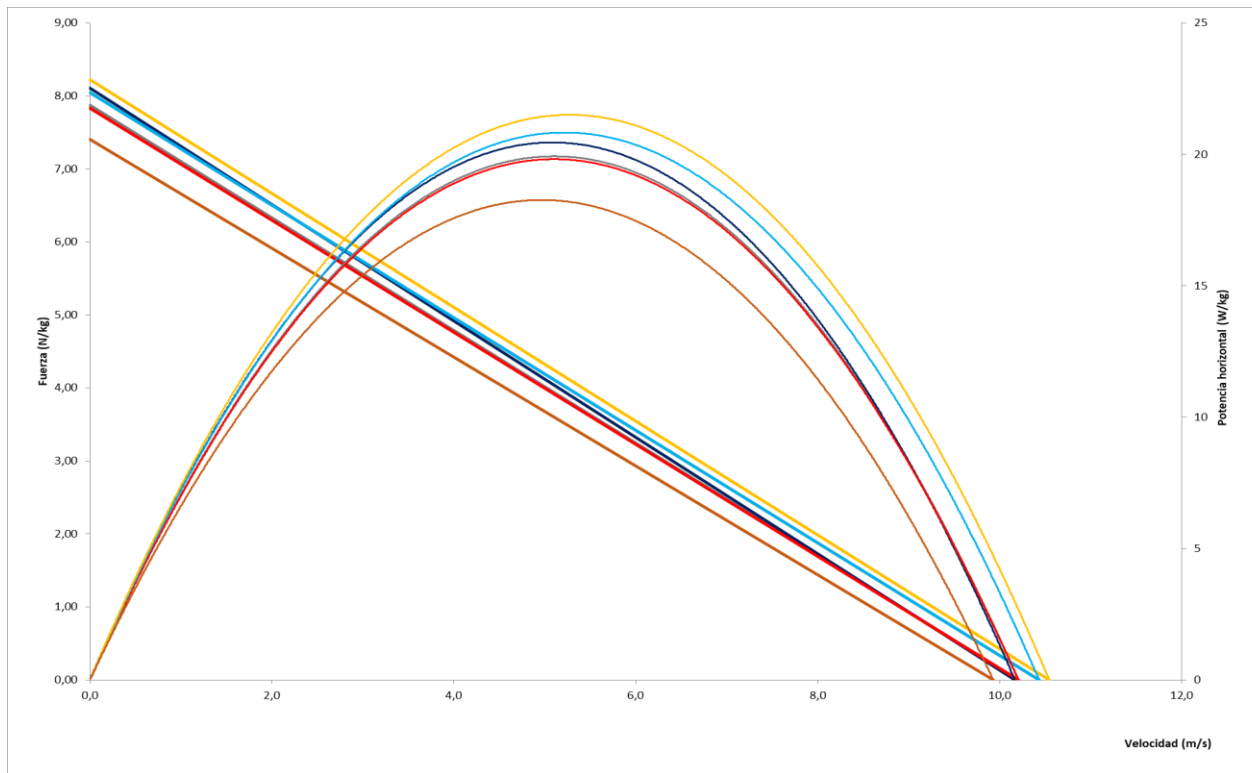
	Pre-Post	Post-Precomp	Pre-Precomp	Precomp-Pre
F0	0,0002	0,0779	0,0128	0,0484
v0	0,0981	0,0012	0,0269	0,0706
Pmax	0,0099	0,0129	0,0026	0,0103
FVP	0,0264	0,0839	0,0200	0,5205

## Gráficas de cada temporada en aire libre y pista cubierta

2016/2017

### Figura 53

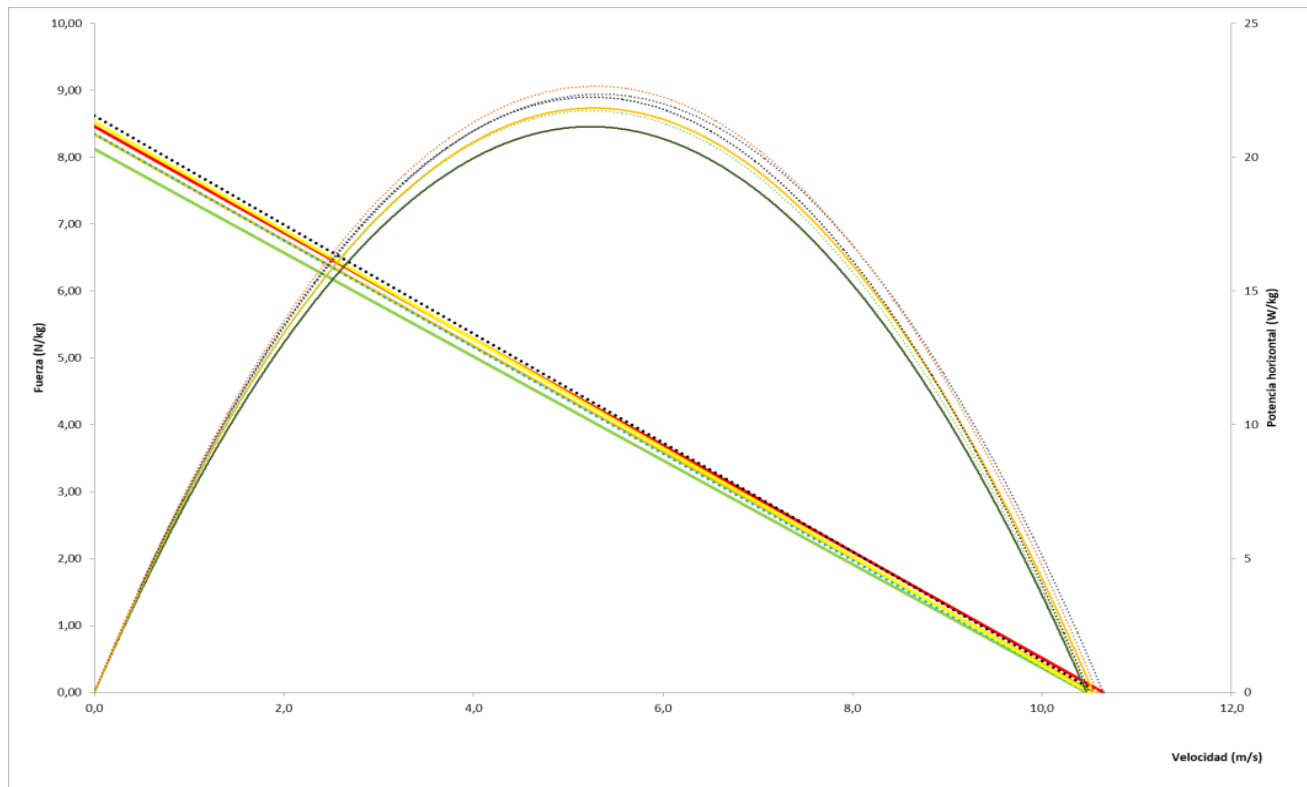
Gráfica que representa las variables mecánicas del perfil fuerza-velocidad horizontal durante la temporada 2016/2017 de pista cubierta y aire libre. Pista cubierta pre (línea marrón), pista cubierta post1 (línea gris), pista cubierta post2 (línea azul oscuro). Aire libre pre (línea roja), aire libre post1 (línea azul claro) y aire libre post2 (línea amarilla).



2017/2018

**Figura 54**

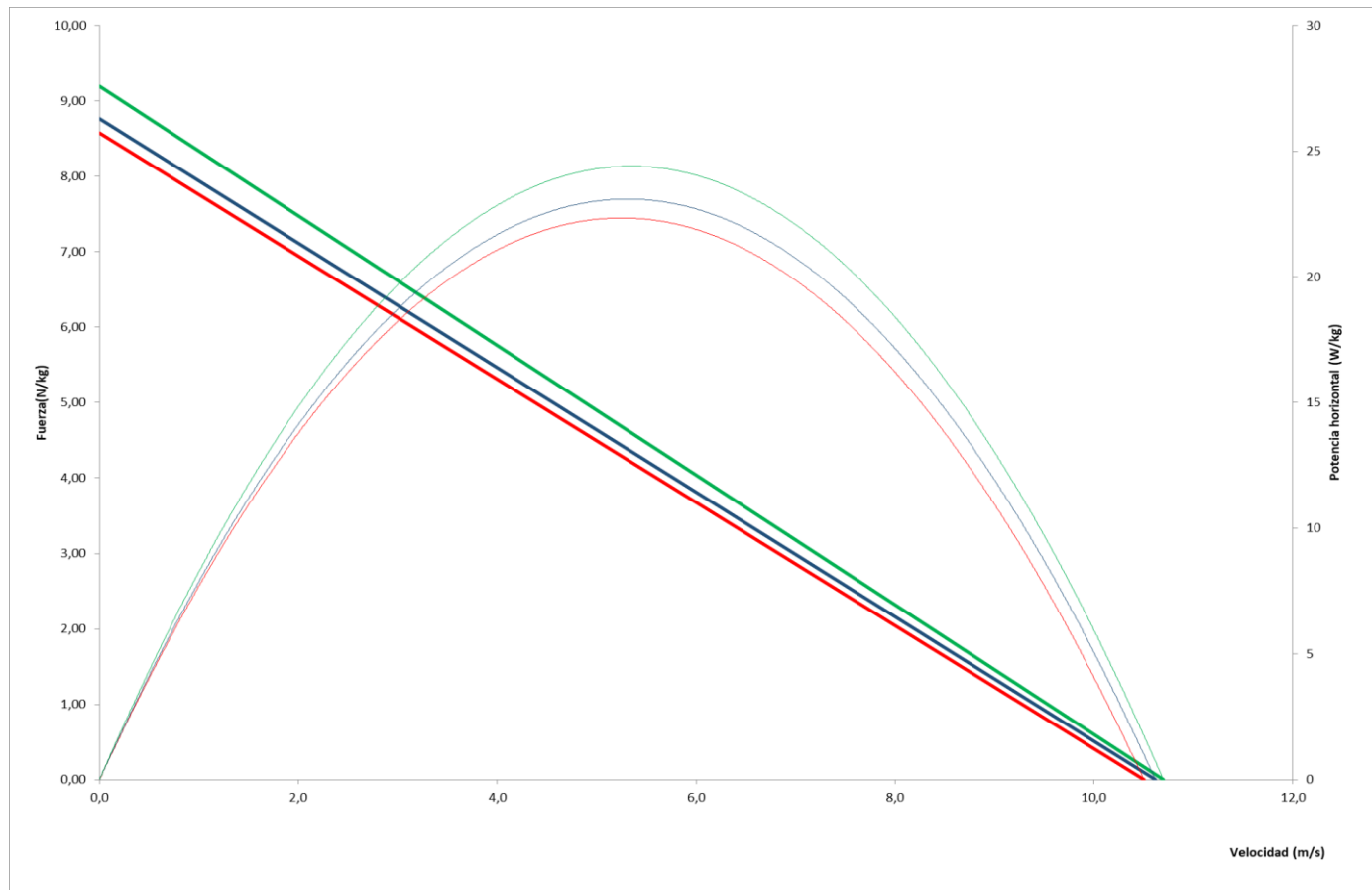
Gráfica que representa las variables mecánicas del perfil fuerza-velocidad horizontal durante la temporada 2017/2018 de pista cubierta y aire libre. Pista cubierta pre (línea azul), pista cubierta post1 (línea amarilla), pista cubierta post2 (línea negra). Aire libre pre (línea verde), aire libre post1 (línea azul rojo) y aire libre post2 (línea naranja).



2018/2019

Figura 55

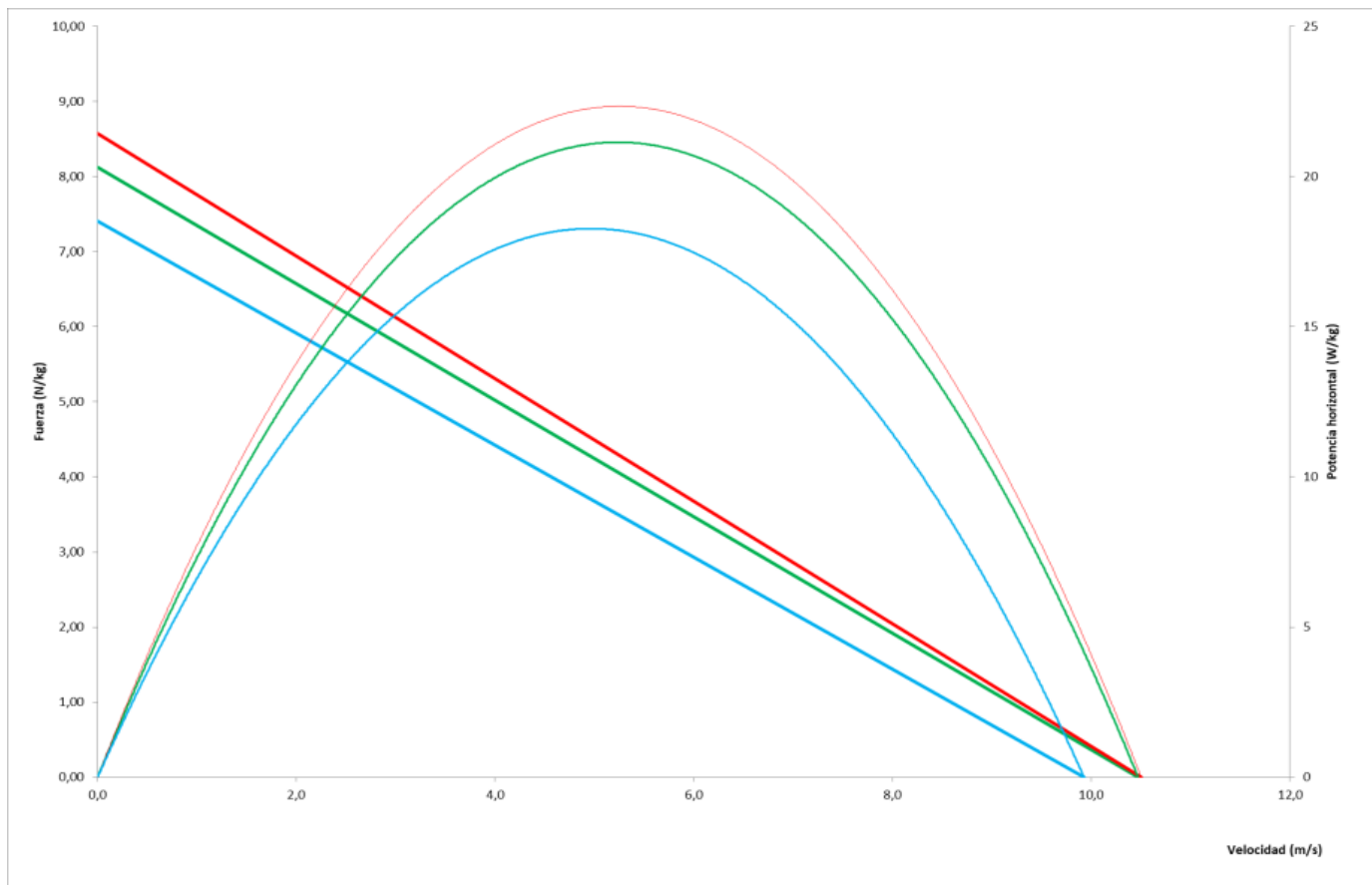
Gráfica que representa las variables mecánicas del perfil fuerza-velocidad horizontal durante la temporada 2018/2019 de pista cubierta. Pista cubierta pre (línea roja), pista cubierta post1 (línea azul), pista cubierta post2 (línea verde).



## Gráficas pre pista cubierta de todas las temporadas

**Figura 56**

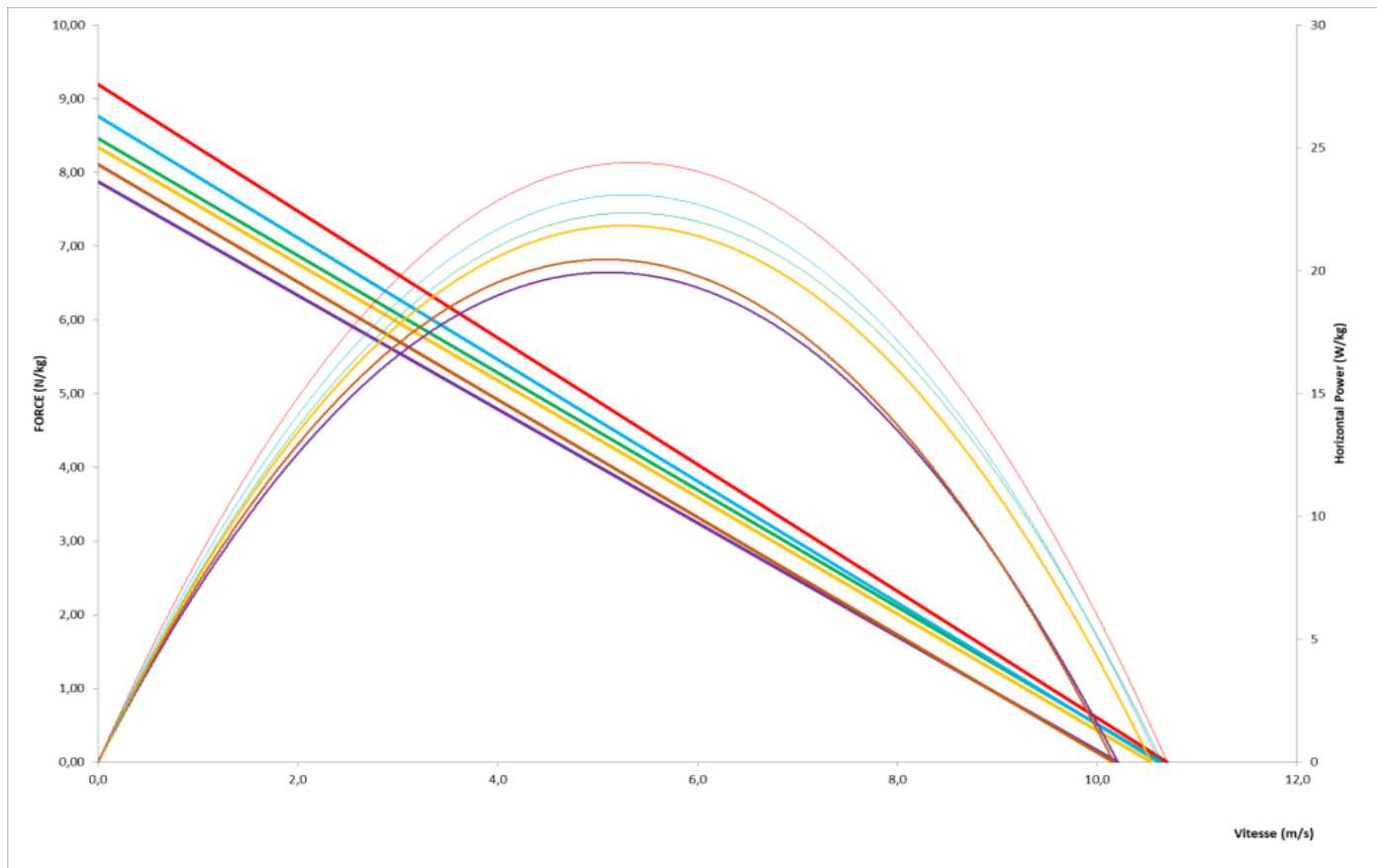
Gráfica que representa las variables mecánicas del perfil fuerza-velocidad horizontal durante el PRE de la temporada 2016/2017 (línea azul), 2017/2018 (línea verde) y 2018/2019 (línea roja) de pista cubierta.



## Gráficas post pista cubierta de todas las temporadas

**Figura 57**

Gráfica que representa las variables mecánicas del perfil fuerza-velocidad horizontal durante el POST de la temporada 2016/2017 (morada-post1 y marrón-post2), 2017/2018 (naranja-post 1 y verde-post2) y 2018/2019 (azul-post1 y roja-post2) de pista cubierta.

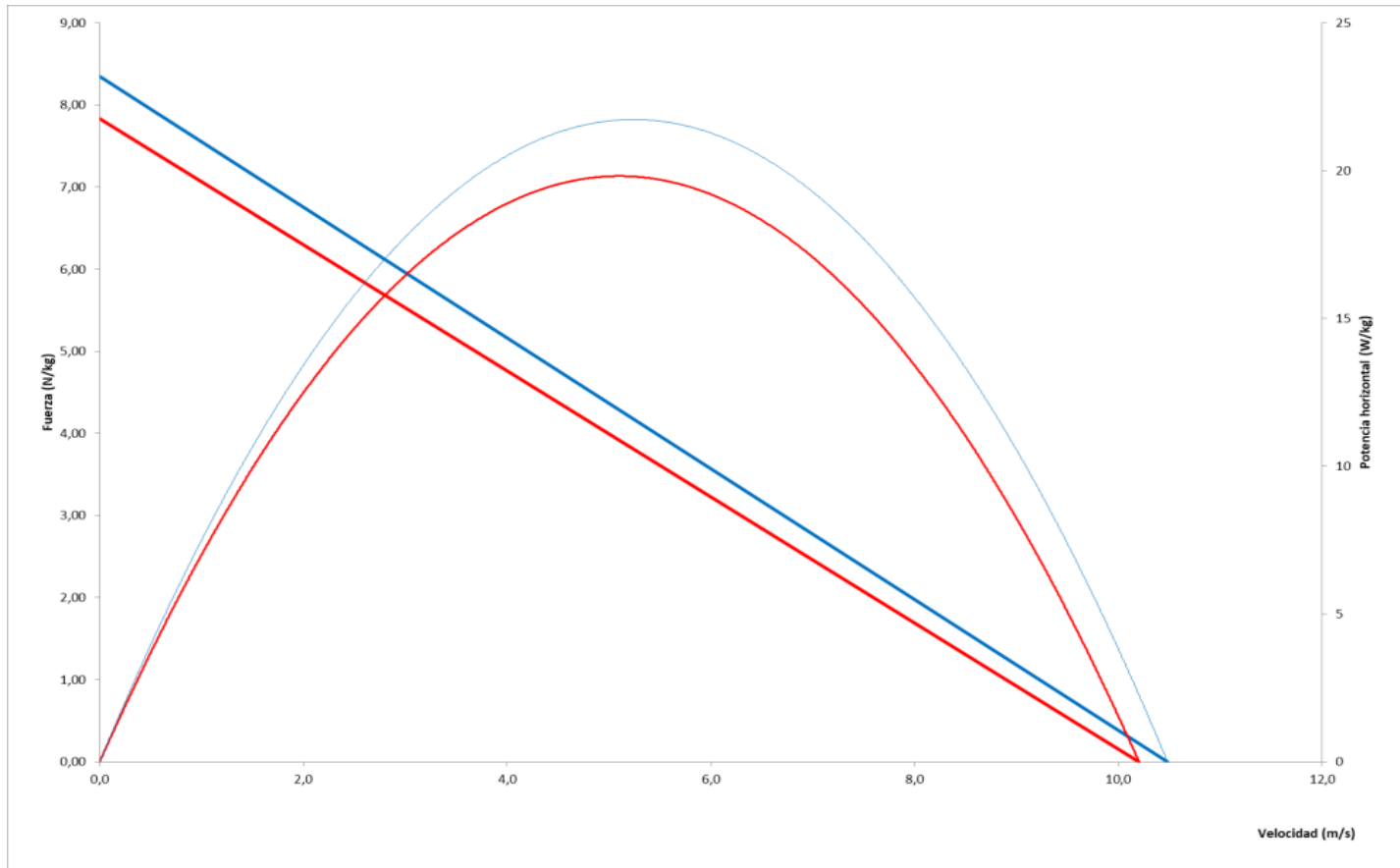




## Gráficas pre aire libre de todas las temporadas

**Figura 58**

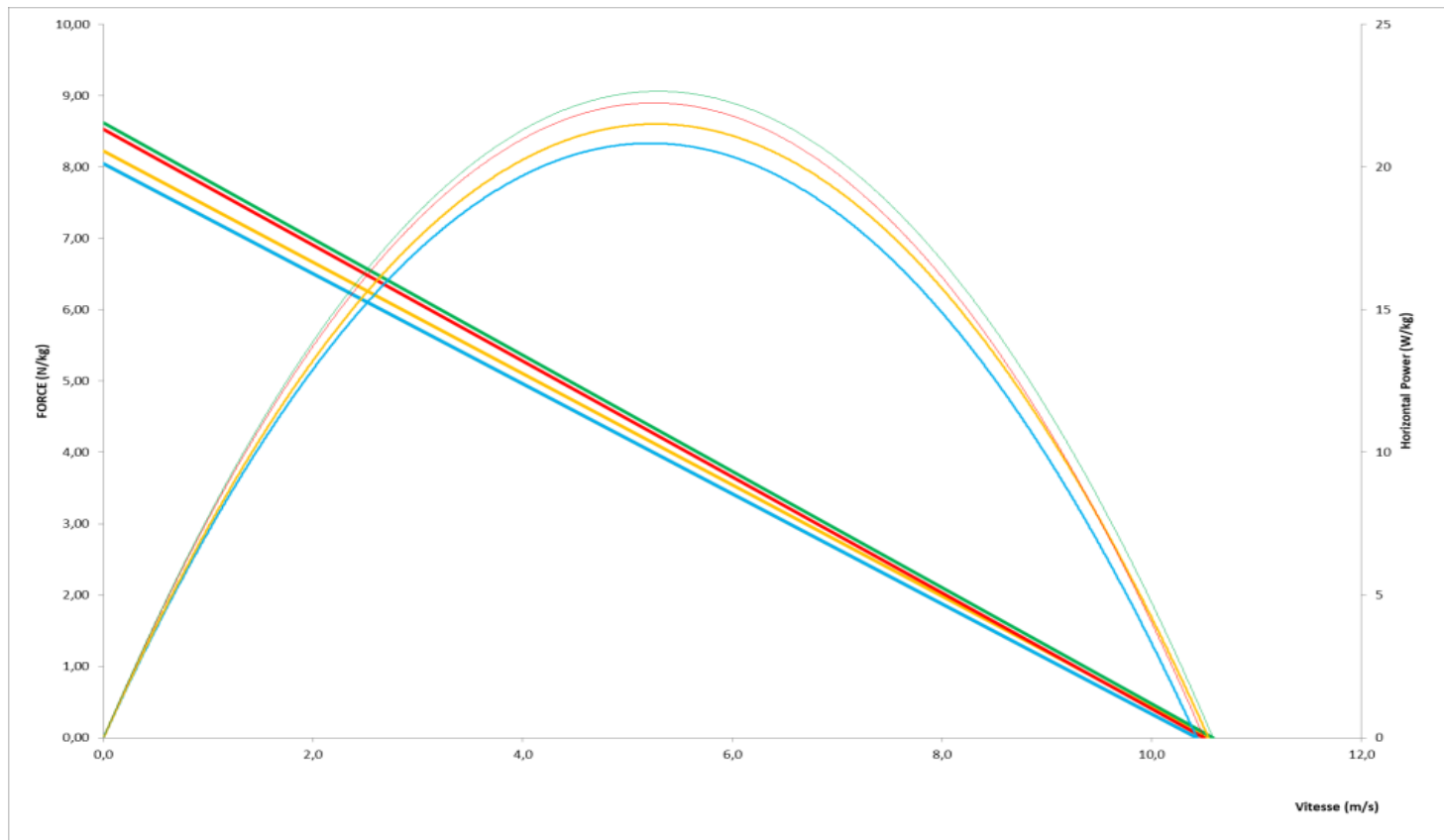
Gráfica que representa las variables mecánicas del perfil fuerza-velocidad horizontal durante el PRE de la temporada 2016/2017 (línea roja) y temporada 2017/2018 (línea azul) de aire libre.



## Gráfica post aire libre de todas las temporadas

**Figura 59**

Gráfica que representa las variables mecánicas del perfil fuerza-velocidad horizontal durante el POST de la temporada 2016/2017 (azul-post1 y amarilla-post2) y temporada 2017/2018 (roja-post 1 y verde-post2) de aire libre.



# DISCUSIÓN



## 5. DISCUSIÓN

La búsqueda constante de métodos que permitan desarrollar la capacidad de aceleración es un hecho observable no sólo en contextos científicos sino en todos y cada uno de los niveles prácticos. La gran relevancia asociada a este factor parece lógica dado su marcado carácter diferenciador del rendimiento en todos aquellos contextos que implican acciones de alta velocidad. Esta tesis pretende arrojar luz sobre los continuos debates presentes en torno a los efectos del entrenamiento con sobrecargas a fin de maximizar la potencia mecánica horizontal durante el sprint. Es debido a este objetivo que la presente tesis no se limita a explorar de manera transversal esta realidad, sino que, a diferencia de la gran mayoría de la literatura actual, analiza los efectos de estas sobrecargas a lo largo de diferentes marcos temporales.

Los principales resultados extraídos de la presente tesis confirman los beneficios aportados por el entrenamiento con sobrecargas en velocistas sobre las principales variables predictoras del rendimiento durante la aceleración. Sin embargo, al igual que la naturaleza de las adaptaciones de fuerza, el desarrollo de la capacidad de aceleración parece entrañar una naturaleza compleja que exige analizar la misma desde una óptica/visión multidimensional y no simplista.

Así, el primer estudio realizado tuvo por objetivo principal analizar el efecto de entrenamiento mediante cargas de arrastre para la maximización de la potencia mecánica horizontal durante el sprint. Las principales conclusiones derivadas de este estudio apuntan a que el tipo de adaptaciones producidas tras 10 semanas de entrenamiento resistido pesado no se ajustan a lo hipotetizado en base a las evidencias existentes. Este hecho es evidenciado en los bajos niveles de significación estadística como consecuencia de una gran heterogeneidad de las respuestas. En este sentido, pese a que ciertas tendencias pueden ser observadas apoyando la efectividad de este estímulo sobre variables como el tiempo en 20 metros, el marcado carácter individual en la dirección de las adaptaciones nos hace cuestionar la efectividad del protocolo en la reorientación voluntaria del perfil F-v inicial. Creemos, que entre las posibles explicaciones de este resultado inesperado se encuentra un posible efecto de interacción entre los valores previos a la prueba de los perfiles de F-v, algo parecido a lo que ocurría en el estudio llevado a cabo por Cross et al. (2018). Aún así, los cambios más significativos se

produjeron en los tiempos de 20 metros ( $-3.58 \pm 2.08$ ), aunque es difícil de explicar debido a la gran cantidad de no respondedores que hubo entre el grupo experimental.

El entrenamiento a través de la carga óptima individualizada provocó cambios en las variables de rendimiento recogidas en la tabla 10. Tal y como se puede observar, la magnitud de estas adaptaciones osciló desde cambios triviales para las variables  $v_0$ , SFV y DRF hasta cambios pequeños con probabilidades moderadas en las variables  $F_0$ ,  $P_{max}$ , RF y tiempos en 5, 10 y 20 metros. Así, los resultados obtenidos en este proyecto se encuentran en línea con los obtenidos por Cross et al. en 2018. Si bien es cierto que la magnitud de los cambios reportados por el grupo estimulado en base a su carga óptima para el desarrollo de potencia se encuentra en niveles similares a los reportados en esta intervención, leves diferencias pueden ser constatadas entre ambas. Una de las razones que condujo al diseño de este primer estudio conforme a la metodología reflejada por Cross et al. (2018) deriva de la hipótesis de que las características de la muestra pudieron constituir una de las razones que influyó en la discordancia de los resultados con la literatura existente. Sin embargo, a pesar de optar por replicar dicha aproximación con deportistas especializados en el sprint en lugar de con una población asociada a deportes de equipo, la familiaridad para esprintar asociada a su disciplina no parece suponer un factor determinante de la orientación y magnitud de las adaptaciones observadas. A pesar de que la presente investigación mostró una mayor homogeneidad en la muestra y perfiles F-v orientados hacia velocidad ( $-49.90$  en el pre correspondiente a la variable sfv), los resultados no fueron los esperados. Así, únicamente un 33% de los participantes presentó mejoras en su rendimiento, viéndose incrementado el porcentaje de aquellos participantes que empeoraron respecto a los valores iniciales hasta un 66% de la muestra.

Si bien es cierto que la literatura científica existente nos hace pensar que ambos factores (homogeneidad de la muestra y perfil F-v inicial) podrían estar influenciando la dirección y magnitud de las adaptaciones, los esfuerzos realizados en este trabajo para contrarrestar ambos factores limitantes no se plasmaron en diferencias notables. Durante la contextualización de los resultados obtenidos pudimos observar que pese a que existen evidencias que apuntan a estos elementos como aspectos fundamentales que podrían modificar la respuesta obtenida (Jiménez-Reyes et al., 2017; Escobar et al. 2020),

variables clave tales como la cinética individual de adaptación no fueron tomadas en consideración.

Algunos estudios tales como los llevados a cabo por Marrier et al. (2017) o Jiménez-Reyes, Samozino & Morin (2019) han evidenciado cómo este último factor puede llegar a jugar un papel fundamental al observar la necesidad de diferentes ventanas temporales en función al tipo de estímulo empleado y/o a las características individuales de los sujetos. La constatación de estas evidencias presenta implicaciones que condicionarían la interpretación de los resultados. Desde el punto de vista metodológico, la interpretación de la realidad basada exclusivamente en el análisis tradicional (comparación pre-post) puede llegar a ser insuficiente, mostrando una visión sesgada de la misma que no respondería a las necesidades individuales previamente mencionadas. En la actualidad, pocos son los trabajos que profundicen en los efectos de las cargas pesadas sobre aspectos vinculados a las capacidades de aceleración. Si bien es cierto que en los últimos años publicaciones como las de Zabaloy et al. (2020) o Pareja-Blanco et al. (2020) han afirmado que el uso de cargas pesadas podría no ser recomendado -especialmente para el desarrollo de máxima velocidad- debido a los cambios generados por estas condiciones al ser comparadas con las condiciones de esprint libre, las evidencias surgidas tras intervenciones longitudinales (y no derivadas de análisis transversal) no parecen alinearse con estas afirmaciones de manera clara. Así, en la literatura científica podemos observar cómo este tipo de estímulos englobados en los rangos entre 40-80% PC y que representan pérdidas de entre el 30-75% de la velocidad máxima alcanzada (respecto a condición de esprint libre) no sólo presentan beneficios sobre estas capacidades mecánicas (Morin et al. 2017; Cahill et al. 2019, 2020; Kawamori et al. 2013; Rodríguez-Rosell et al. 2020; Lahti et al. 2020) sino que dichas alteraciones producidas de manera aguda por la sobrecarga no presentan implicaciones negativas al analizar la postura en el plano sagital durante una aceleración (Lahti et al. 2020).

La no alineación de la evidencia presentada junto a los resultados reportados tanto por Cross et al. (2018) como los observados en este primer trabajo podría verse por tanto influenciados por factores tales como las cinéticas individuales de adaptación propias de este tipo de estímulos. A pesar de su infrecuencia, en la literatura podemos encontrar evidencias que avalan la necesidad de un cambio de perspectiva a la hora de interpretar los efectos de un estímulo en base a las limitaciones observadas en los análisis

comparativos pre-post. Así, Brown et al. (2017) muestran cómo la introducción de ciertas sobrecargas -entrenamiento de fuerza de alta intensidad- puede hacer decrecer los valores basales de fuerza durante extensos periodos de tiempo, consiguiendo exclusivamente super compensaciones positivas tras la retirada de los mismos. Específicamente, únicamente durante las evaluaciones realizadas durante semanas 1 y 2 tras la conclusión de la intervención estos valores basados fueron superados.

Las evidencias presentadas anteriormente, sumadas a la exigencia de ventanas temporales más prolongadas al analizar las adaptaciones asociadas a los contextos de fuerza (Jiménez-Reyes et al., 2019), nos hacen reflexionar sobre la realidad del contexto neuromuscular subyacente durante el entrenamiento y la evaluación del sprint con cargas pesadas.

Así pues, el objetivo de este segundo estudio consistió en analizar la cinética individual de adaptación tras el entrenamiento de esprint con cargas asociadas a la maximización de la potencia mecánica horizontal e individual. A pesar de recrear una misma aproximación en cuanto a la forma de estimular a los deportistas, la inclusión de ventanas temporales más flexibles que permitieron explorar las cinéticas individuales adaptativas condujo a resultados totalmente diferentes. En consecuencia, el entrenamiento con sobrecargas orientado al máximo desarrollo de potencia aumentó claramente la producción de fuerza horizontal máxima ( $9.89 \pm 6.06$  % de cambio), la efectividad mecánica (ratio de fuerzas más favorable al vector horizontal) ( $5.46 \pm 2.91$  % de cambio) y la potencia ( $9.98 \pm 5.27$  % de cambio) registrada en condiciones de esprint libre.

Atendiendo a los resultados mostrados en la tabla 11, podemos constatar cómo tras la aplicación de un entrenamiento de sprint resistido basado en cargas muy elevadas durante 10 semanas, se aprecia un incremento significativo de las variables Pmax, F0 y RFmax. Sin embargo, si únicamente atendemos a lo reflejado por los resultados POST (datos tomados una semana tras cesar el entrenamiento), los resultados se encuentran nuevamente en línea con los obtenidos en el estudio 1. Si bien al comprobar la magnitud de los efectos de dicho protocolo bajo una perspectiva tradicional (análisis PRE-POST) las magnitudes de la significación estadística varían entre pequeña y trivial, el análisis planteado bajo esta nueva aproximación (análisis PRE-PICO) muestra efectos mayores de este tipo de intervenciones -significancias moderadas para las variables F0, Sfv y



RFmax- que se alinean con las evidencias de carácter transversal observadas en la literatura científica (Cross, Lahti, et al., 2018). Por otro lado, las variables Pmax y la v0 tuvieron una significancia pequeña con una probabilidad muy alta en el caso de la primera bajo esta misma óptica (PRE-PICO). De esta forma, los resultados arrojan unas mejoras en las adaptaciones individuales tanto en las variables tanto para el rendimiento como para las variables mecánicas, después de que todos los atletas siguieran un programa y unas condiciones muy similares de entrenamiento.

Si bien es cierto que la especificidad del entrenamiento sobre las relaciones fuerza-velocidad y sus determinantes mecánicos ha sido probado en intervenciones más cercanas al entrenamiento de fuerza en un vector vertical (Cormie, McGuigan & Newton, 2010; Jiménez-Reyes et al. 2017; Jiménez-Reyes, Samozino & Morin, 2019), dichas relaciones únicamente han sido teorizadas o abordadas desde un prisma transversal para su homólogo vector horizontal. Esta manifiesta escasez de conocimiento limita la comprensión de los efectos crónicos de las cargas muy altas de arrastre debido a la escasez de intervenciones longitudinales (Cross, Lahti, et al., 2018) y la nula exploración de la cinética de adaptación individual. En los resultados obtenidos en este estudio, el pico de Pmax y tiempos menores en el esprint fueron conseguidos únicamente en las semanas siguientes al cese del entrenamiento, y fueron en general mayores que las mediciones POST del grupo (Tabla 11 y figura 44). En línea con los resultados obtenidos en este estudio, otros como el de Marrier et al. en 2017, mostraron que al analizar el comportamiento en el rendimiento de jugadores de rugby después de un protocolo de sobrecarga, varias cualidades físicas, incluida la Pmax, mostraron cambios significativos de forma individual, siendo los picos de rendimiento de esas variables tras unas semanas del cese del protocolo. Los resultados de estos autores coinciden con los obtenidos en el presente estudio donde se observaron que el pico de la variable F0 estuvo en la semana 2, la v0 se produjo en la semana 3 y, por último, el pico de la Pmax se produjo en la semana 3, tal y como puede observarse en la figura 41. Estos resultados plantean la cuestión en relación a la práctica habitual durante el proceso de evaluación ante este tipo de intervenciones (análisis pre-post), ya que tal y como podemos observar, este enfoque puede no dar visibilidad a las adaptaciones suscitadas tras el entrenamiento resistido de alta carga.

Nuestros resultados respaldan las hipótesis originales propuestas tanto por los estudios llevados a cabo por Cross et al. (2018) como por el estudio 1 de la presente tesis. Los hallazgos relativos a este segundo estudio pueden además influenciar la interpretación de los resultados mencionados previamente. El alto grado de heterogeneidad condujo a resultados inesperados en Cross et al. (2018) puede ser observado a su vez en aproximaciones similares como la planteada por Rakovic et al. (2018), donde nuevamente y aunque salvando las diferencias metodológicas -duración menor, cargas ligeramente inferiores y muestra perteneciente a balonmano-, una intervención de esprint resistido pesado no mostró mejoras superiores a los grupos de entrenamiento con resistencias ligeras. A su vez, todas estas investigaciones junto a los estudios mencionados de la presente tesis (estudios 1 y 2) presentan resultados imprevistos que contradicen sus hipótesis inicialmente planteadas. Únicamente al analizar los cambios en relación al pico individual de rendimiento tras la conclusión del estudio podemos observar cambios que se amoldan a lo esperado. La aparición de estas adaptaciones tardías vinculada a entrenamientos de fuerza de alta intensidad, aunque escasamente reportadas (Brown et al., 2017), es uno de los factores clave durante las fases de tapering (Bosquet et al., 2007; Pritchard et al., 2018; Thomas, 2021 y Travis et al., 2020). Es precisamente esta escasez en la literatura existente unida al conocimiento empírico recogido por parte de entrenadores y atletas durante las semanas posteriores al cese del entrenamiento el que nos hizo reflexionar acerca de la necesidad de estudio de dichas cinéticas individuales de adaptación.

En base a los resultados obtenidos y representados en la figura 41, pareciera lógico pensar que la evaluación del grado de adaptación producido un entrenamiento resistido de alta intensidad a través de una única sesión de evaluación (POST), presenta claras limitaciones de cara a una interpretación exhaustiva de dichos efectos. Las conclusiones establecidas en relación a una única ventana temporal junto a la interpretación no individualizada de los datos (es decir, basada en las tendencias medias del grupo) limitan su aplicabilidad en escenarios contextos reales de entrenamiento especialmente frente a estímulos neuromusculares de alta intensidad.

Es por ello que consideramos interesante la inclusión de este tipo de aproximaciones de evaluación flexible en base a la naturaleza de los efectos crónicos desarrollados. La correcta interpretación contextual resultará fundamental y deberá ser tomada en cuenta a

fin de confeccionar las programaciones de los atletas durante una temporada dada la complejidad de factores que pueden influenciar la cinética adaptativa individual (tipo de carga o características implícitas al deportista) (Marrier et al., 2018) .

En base a las evidencias existentes en la presente tesis -estudios 1 y 2- y en la literatura científica relacionada a la efectividad del perfil fuerza-velocidad como un método para identificar adaptaciones asociadas a intervenciones de carácter longitudinal (Mendiguchia et al., 2016), planteamos la posibilidad de utilizar este medio como herramienta de caracterización del deportista en contextos adaptados a su realidad competitiva.

Así pues, el objetivo del tercer estudio fue el de realizar un seguimiento individualizado a un esprinter de alto nivel con la intención de comprobar la evolución e interdependencia entre las variables mecánicas asociadas a su perfil fuerza-velocidad y el rendimiento competitivo.

Aunque escasas, existen evidencias que reportan la evolución del rendimiento en esprinters de alto nivel a lo largo de una temporada y que tratan de explicar dicha variación en base al comportamientos cinemáticos espaciotemporales -frecuencia y longitud de zancada- a lo largo de la misma (Bezodis et al., 2018). Sin embargo, la fluctuación de interacciones mecánicas recogidas en el perfil f-v y su relación con el rendimiento deportivo no han sido estudiadas bajo estas ventanas temporales tan extensas.

Los resultados obtenidos en este estudio indican que el sujeto ha tenido un cambio bastante notable en el rendimiento y en las variables mecánicas siendo mayor a las obtenidas en otros estudios (Haugen et al., 2018). Se ha observado un incremento en el rendimiento del 1,62% (tiempo de 60 metros), y de un incremento del 13,44% en F0, 5,31% en v0 y 21,03% en Pmax al comparar los datos de la temporada 16/17 con los datos de la última temporada 18/19 (Tabla 14). Al comparar estos resultados con los presentes en la literatura, observamos cómo el porcentaje de cambio presente en este último estudio supera con creces a los reportados como “esperables” dentro de poblaciones de contextos similares, en este caso el 0.2% de cambio de rendimiento que hallaron Haugen et al., en 2018 vs 1.62% obtenido en el presente estudio. Este hecho, no

hace sino poner en valor la efectividad de las intervenciones llevadas a cabo con el objetivo del desarrollo de fuerza horizontal y Pmax.

Tal y como observaron Rossi et al. en 2017, en un estudio comparativo entre adolescentes y niños, los adolescentes tienen un tiempo de 30 m más rápido (+18% de media) que los niños. Este aumento en el rendimiento en el esprint es debido principalmente al incremento en los valores de Pmax, y aunque pareciera lógico asociar estos cambios a la capacidad acelerativa dada la fase temprana del esprint evaluada (30m), la fuerza horizontal máxima teórica (F0) no fue significativamente diferente entre los dos grupos. Sin embargo, la velocidad de carrera máxima teórica (v0) presentó diferencias estadísticamente significativas en favor del grupo de adolescentes (+25% de media), convirtiéndose probablemente en el principal factor diferenciador de rendimiento entre grupos de edad. Por último, estos autores comprobaron que el SFV, que describe el equilibrio individual del atleta entre las capacidades de fuerza y velocidad, mostró un perfil más orientado hacia la velocidad en los adolescentes. Por lo tanto, es importante conocer que, en periodos madurativos, que el rendimiento en el sprint se asocia con la capacidad de desarrollar fuerza horizontal a altas velocidades y no a desarrollar un alto nivel de fuerza horizontal máxima, derivando a un aumento de la eficacia mecánica de la aplicación de la fuerza sobre el suelo con el aumento de la velocidad (DRF). Estos resultados van en línea con los obtenidos en este estudio, destacando la necesidad del desarrollo de la F0 de forma específica porque como se ha observado en el estudio de Rossi et al., (2017), ya que si no es entrenada, no se puede desarrollar de forma natural como lo haría la v0. Esto es debido a que la v0 puede ver influida su mejora a través de entrenamientos sin sobrecargas o a través de aquellos en los que se aplica una asistencia en la fase de máxima velocidad. Esto nos permite justificar la utilización de métodos de entrenamiento que inciden en esta zona de la relación fuerza-velocidad, como puede ser el entrenamiento de arrastres con cargas muy altas o cargas para el desarrollo de la máxima potencia.

En la misma línea, Jiménez-Reyes et al., (2020), observaron los cambios en las variables mecánicas del perfil fuerza-velocidad en jugadores de fútbol durante una temporada completa, añadiendo un test al comienzo de la temporada siguiente para comprobar el efecto residual de la temporada anterior y el desentrenamiento. Estos autores observaron que, durante la temporada, el perfil F-v fluctúa debido a los requerimientos competitivos

de la misma y que sobre todo incide en las variables de F0, SFv y Pmax. Estas variables son las que están involucradas en el lado izquierdo de la curva F-v y que son determinantes en las acciones cortas y explosivas como son los sprints. Sin embargo, en las variables determinantes de la fase final de aceleración y máxima velocidad se mantuvieron estables a lo largo de la temporada siendo una posible explicación que el deporte en sí, no aporta los estímulos suficientes para que se desarrollen este tipo de variables, ya que las acciones que se realizan durante el juego son de corta distancia y corta duración por lo que no se puede alcanzar la máxima velocidad (Jimenez-Reyes et al., 2020). Estos resultados pueden ayudar a comprender los obtenidos en este estudio, donde la importancia del desarrollo de la fase de aceleración temprana mediante el uso de un programa individualizado con cargas altas para el desarrollo de la máxima potencia, no sólo evita la disminución de las variables relacionadas con esta fase, si no que provoca una mejora en ellas, incrementando desde el principio del programa un 13,4% en F0 y un 21,03% en Pmax (Tabla 14). Aunque los requerimientos que exigen el fútbol y la carrera de velocidad (100 y 60 metros) son distintos, es importante conocer que no controlar el estado de la F0 durante la temporada, puede disminuir debido a la fatiga producida por las competiciones, derivando a posibles lesiones ya que su disminución está asociada al riesgo de lesión de en la musculatura isquiotibial (Edouard et al., 2017; Mendiguchia et al., 2016 y Mendiguchia et al., 2014).

En cuanto al desentrenamiento entre la última medición que se realizó al sujeto en el momento precompetitivo y al pre de la temporada siguiente, el sujeto muestra una pérdida en las variables mecánicas de F0, v0 y Pmax de 1,22%, 0,66% y 1,72% respectivamente entre la 16/17 y 17/18 y de 0,46%, 0,76% y 1,41% entre la temporada de 17/18 y 18/19 (Tabla 14). Estos resultados nos indican que el sujeto, a pesar de tener una pérdida en su rendimiento específico, mantenía unos valores más altos que los previos a la temporada anterior como se puede observar en la tabla 13. Además, nos indica que no sólo el entrenamiento basado en arrastres pesados tiene unas adaptaciones crónicas a corto plazo, sino que estas adaptaciones se mantienen a largo plazo. Además, en el estudio llevado a cabo por Jiménez et al., en 2020, el desentrenamiento en su estudio, se pudo ver pérdidas en F0, v0 y Pmax en torno al 7,29%, 1,39% y 4,24% respectivamente, siendo destacadas las pérdidas en la F0 y haciendo ver la necesidad de que si esta variable no se entrena de forma específica, no solo se mantiene, si no que disminuye debido al desentrenamiento.

Siguiendo con los resultados, en la tabla 14, se puede observar que las variables de rendimiento de este sujeto están en línea con los obtenidos por Haugen et al., en 2018. Estos autores establecen que los atletas de sprint de alto rendimiento, experimentan un cambio anual en el rendimiento específico (tiempos de competición) en torno al 0,2 % en edades cercanas a los 20 años, experimentando una disminución conforme va aumentando la edad. En este caso, el sujeto experimenta cambios de mejora 0,7 y 0,8 en sus tiempos de 60 metros y de 1,15 en sus tiempos de 100 metros. De esta forma, se puede entender, que el sujeto está dentro de la élite competitiva, cumpliendo los incrementos de mejora esperados que establecieron Haugen et al. en 2018. Para corroborar estos datos, el sujeto fue campeón absoluto de España en la última temporada recogida (2018/2019 Pista cubierta), con un tiempo de 6.69 segundos, su mejor marca personal. Aun así, y según estos autores, el pico de rendimiento de este sujeto todavía no había sido alcanzado ya que en el momento de las recogidas de datos estaba en edades comprendidas entre 17 a 19 años, muy lejos aún del periodo considerado como rendimiento pico para un atleta de sprint, entre 24 y 28 años (Haugen et al., 2018). Esto además, es corroborado por Walter et al., en 2021, estableciendo la edad pico de rendimiento en torno a los 26 años. Estos resultados de este estudio son útiles a pesar de que la población estudiada fuera esquiadores de sprint, ya que las características de la competición y sus requerimientos mecánicos y fisiológicos se asemejan a los atletas de sprint de pista (Walter et al., 2021).

# **LIMITACIONES**





## **6. LIMITACIONES**

La principal limitación de la presente Tesis Doctoral fue la no inclusión del grupo control tanto en el estudio I como en el II para proporcionar una profundidad adicional en la especificidad de la carga de la mecánica de sprint posterior a la prueba, aunque el objetivo principal de esta Tesis era examinar la cinética de adaptación específica inducida por los protocolos de cargas altas de arrastre. Asimismo, es posible que tras el entrenamiento con protocolos de carga más ligeros se produzcan cambios similares, retardados y variables, en la Pmax o en la aparición más temprana de los valores máximos. No obstante, el hecho de que se hayan observado adaptaciones temporales tan variables tras el entrenamiento es un hallazgo novedoso, e indica que se necesitan investigaciones futuras para aclarar completamente el alcance de este fenómeno, y es de esperar que proporcione una contextualización adicional a los estudios de entrenamiento del sprint.

Otra de las limitaciones que se pueden encontrar en esta Tesis es la de una mayor muestra en el Estudio III, que proporcione un mayor entendimiento de los factores determinantes durante las temporadas analizadas. Además, el uso de aparatos para medir la actividad electromiográfica durante las diferentes etapas podría haber proporcionado información relevante en torno a las adaptaciones neuromusculares inducidas por los protocolos de entrenamiento realizados.



# **FUTURAS LÍNEAS DE ESTUDIO**



## **7. FUTURAS LÍNEAS DE ESTUDIO**

Es importante saber en qué se puede mejorar una vez que se han conocido las limitaciones que se han producido en la presente Tesis, y después de haber discutido los resultados con la bibliografía existente sobre el entrenamiento de cargas altas de arrastre con el fin de la mejora del perfil individual F-v, sobre todo en lo que respecta a la parte de la aceleración específica en sprint. Por este motivo, hay que tener en cuenta cómo va avanzando las diferentes investigaciones para la mejora del rendimiento deportivo, y en concreto en el apartado del entrenamiento de fuerza específica en pruebas donde la mejora de la aceleración es clave, siendo interesante los siguientes puntos a la hora de realizar nuevos protocolos:

Sería interesante conocer los efectos del entrenamiento en la cinemática de los atletas y determinar si los cambios que se pudieran producir ayudan a la fase de aceleración.

Otra de las opciones a tener en cuenta es ver la respuesta aguda de las cargas pesadas mediante las pérdidas de velocidad, conociendo el rendimiento antes y después del entrenamiento, y además, comprobar qué cargas pueden producir una potenciación para un uso destinado al calentamiento específico en pista.

En el mismo sentido, se podría comprobar la actividad electromiográfica de los músculos y sus cambios conforme las series de entrenamiento continúan en el tiempo con el objetivo de conocer cuál sería su volumen óptimo.

Por último, estos protocolos deberían contar siempre con un grupo de control, para asegurar que no existe influencia de variables extrañas y/o ajenas al propio entrenamiento prescrito.



# **CONCLUSIONES**





## 8. CONCLUSIONES

La conclusión general de la presente Tesis Doctoral es que los protocolos de arrastre individualizado para el desarrollo de la máxima potencia pueden ser un método válido y específico para que atletas y/o deportistas puedan desarrollar y mejorar sus capacidades en la fase de aceleración temprana. Para ello y teniendo en cuenta que estos métodos provocan una gran fatiga en el/la atleta, se debe programar este tipo de protocolos sabiendo que el pico de rendimiento no será inmediato y que se trasladará a las semanas posteriores de la extinción del mismo. De esta forma, los/las entrenadores/as y preparadores/preparadoras pueden verse ayudados de este tipo de programas para mejorar sus planificaciones y asegurar que sus deportistas y/o atletas alcancen su máximo rendimiento de sprint en momentos específicos de la temporada competitiva. Además, como se ha visto en el estudio III, el control, la programación y entrenamiento específico basado en la mejora de las variables mecánicas relacionadas con la aceleración temprana puede ser beneficioso a lo largo de las distintas etapas de las temporadas, permitiendo que  $F_0$  y  $P_{max}$ , se desarrollen y evitando una disminución excesiva que pueda dar lugar a posibles lesiones. Este tipo de programas mediante el control individualizado del entrenamiento tienen como fin ayudar para que se pueda rendir a un nivel óptimo.

Las conclusiones específicas para el estudio I fueron las siguientes:

- Los efectos grupales del entrenamiento de sprint mediante el uso de cargas de arrastre para el desarrollo de la potencia óptima no presentaron diferencias significativas, estando en rangos de triviales a moderados.
- Sin embargo, las adaptaciones individuales al tipo de entrenamiento impuesto fueron variadas, lo que nos lleva a concluir que el perfil de  $F_v$  previo al entrenamiento (entre otros factores de confusión) puede haber contribuido a los resultados observados en los atletas.

Las conclusiones específicas para el estudio II fueron las siguientes:

- Después de un bloque de entrenamiento de sprint con resistencias altas, las variables mecánicas de la relación  $F-v$  sufren variaciones, siendo la  $F_0$  y la  $P_{max}$  las que tienen cambios significativos.

- A la hora de realizar las comparaciones clásicas de una semana-PRE a una semana-POST, se muestran resultados claramente diferentes a los obtenidos cuando se analiza el PICO.

- Por último, la semana en la que se alcanza el pico de Pmax y el rendimiento de sprint difieren entre los sujetos, estando entre la semana 1 y la semana 3 post cese del protocolo de entrenamiento.

Las conclusiones específicas para el estudio III fueron las siguientes:

- El uso de programas individualizados con cargas altas para el desarrollo de la máxima potencia no sólo evita la disminución de las variables relacionadas con la fase de aceleración temprana, sino que además, provoca un mejor desarrollo de estas variables (F0 y Pmax).

- El desentrenamiento provocado por el cambio de temporada es más notorio en aquellas variables relacionadas con la aceleración temprana (F0 y Pmax) por lo que se debe poner especial atención a su control para programar de forma específica su desarrollo. De esta forma, esa disminución medida y esperable al terminar los periodos competitivos, tiene una menor bajada en el rendimiento de el/la atleta, permitiendo un inicio de la temporada o periodo con unos variables de rendimiento más cercanas a las óptimas.

## **REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS**



## 9. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Ae, M., Ito, A., & Suzuki, M. (1992). The men's 100 metres. *New studies in athletics*, 7(1), 47-52.
- Alcaraz, P. E., Carlos-Vivas, J., Oponjuru, B. O., & Martínez-Rodríguez, A. (2018). The Effectiveness of Resisted Sled Training (RST) for Sprint Performance: A Systematic Review and Meta-analysis. *Sports Med*, 48(9), 2143-2165. doi:10.1007/s40279-018-0947-8
- Alcaraz, P. E., Palao, J. M., & Elvira, J. L. (2009). Determining the optimal load for resisted sprint training with sled towing. *J Strength Cond Res*, 23(2), 480-485. doi:10.1519/JSC.0b013e318198f92c
- Barr, M. J., Sheppard, J. M., Agar-Newman, D. J., & Newton, R. U. (2014). Transfer effect of strength and power training to the sprinting kinematics of international rugby players. *J Strength Cond Res*, 28(9), 2585-2596. doi:10.1519/jsc.0000000000000423
- Beardsley, C., & Contreras, B. (2014). The Increasing Role of the Hip Extensor Musculature With Heavier Compound Lower-Body Movements and More Explosive Sport Actions. *Strength and Conditioning Journal*, 36(2), 49-55. doi:10.1519/ssc.0000000000000047
- Bezodis, N. E., Salo, A. I., & Trewartha, G. (2015). Relationships between lower-limb kinematics and block phase performance in a cross section of sprinters. *Eur J Sport Sci*, 15(2), 118-124. doi:10.1080/17461391.2014.928915
- Bezodis, I. N., Kerwin, D. G., Cooper, S. M., & Salo, A. (2018). Sprint Running Performance and Technique Changes in Athletes During Periodized Training: An Elite Training Group Case Study. *International journal of sports physiology and performance*, 13(6), 755–762.
- Bolger, R., Lyons, M., Harrison, A. J., & Kenny, I. C. (2015). Sprinting performance and resistance-based training interventions: a systematic review. *J Strength Cond Res*, 29(4), 1146-1156. doi:10.1519/jsc.0000000000000720

- Bosquet, L., Montpetit, J., Arvisais, D., & Mujika, I. (2007). Effects of tapering on performance: a meta-analysis. *Medicine and science in sports and exercise*, 39(8), 1358–1365.
- Brown, T. D., & Vescovi, J. D. (2012). Maximum speed: Misconceptions of sprinting. *Strength and Conditioning Journal*, 34(2), 37-41.
- Brown N, Bubeck D, Haeufle DFB, Weickenmeier J, Kuhl E, Alt W, Schmitt S. (2017). Weekly Time Course of Neuro-Muscular Adaptation to Intensive Strength Training. *Front Physiol.* 8:329.
- Brown, S. R., Feldman, E. R., Cross, M. R., Helms, E. R., Marrier, B., Samozino, P., & Morin, J. B. (2017). The Potential for a Targeted Strength-Training Program to Decrease Asymmetry and Increase Performance: A Proof of Concept in Sprinting. *International journal of sports physiology and performance*, 12(10), 1392–1395.
- Brughelli, M., Cronin, J., & Chaouachi, A. (2011). Effects of running velocity on running kinetics and kinematics. *J Strength Cond Res*, 25(4), 933-939.
- Cahill, M. J., Oliver, J. L., Cronin, J. B., Clark, K., Cross, M. R., Lloyd, R. S., & Lee, J. E. (2020). Influence of Resisted Sled-Pull Training on the Sprint Force-Velocity Profile of Male High-School Athletes. *Journal of strength and conditioning research*, 34(10), 2751–2759.
- Clark, K. P., & Weyand, P. G. (2014). Are running speeds maximized with simple-spring stance mechanics? *J Appl Physiol*, 117(6), 604-615.
- Colyer, S. L., Nagahara, R., & Salo, A. I. T. (2018). Kinetic demands of sprinting shift across the acceleration phase: Novel analysis of entire force waveforms. *Scand J Med Sci Sports*, 28(7), 1784-1792. doi:10.1111/sms.13093
- Colyer, S. L., Nagahara, R., Takai, Y., & Salo, A. I. T. (2018). How sprinters accelerate beyond the velocity plateau of soccer players: Waveform analysis of ground reaction forces. *Scand J Med Sci Sports*, 28(12), 2527-2535. doi:10.1111/sms.13302

Contreras, B., Vigotsky, A. D., Schoenfeld, B. J., Beardsley, C., McMaster, D. T., Reyneke, J. H., & Cronin, J. B. (2017). Effects of a Six-Week Hip Thrust vs. Front Squat Resistance Training Program on Performance in Adolescent Males: A Randomized Controlled Trial. *J Strength Cond Res*, *31*(4), 999-1008.

Cormie, P., McGuigan, M. R., & Newton, R. U. (2010). Adaptations in athletic performance after ballistic power versus strength training. *Medicine and science in sports and exercise*, *42*(8), 1582–1598.

Cormie, P., McGuigan, M. R., & Newton, R. U. (2011). Developing maximal neuromuscular power: part 2 - training considerations for improving maximal power production. *Sports Med*, *41*(2), 125-146. doi:10.2165/11538500-000000000-00000

Coutts, A. J., Reaburn, P., Piva, T. J., & Rowsell, G. J. (2007). Monitoring for overreaching in rugby league players. *Eur J Appl Physiol*, *99*(3), 313-324. doi:10.1007/s00421-006-0345-z

Cross, M. R., Brughelli, M., Samozino, P., Brown, S. R., & Morin, J. B. (2017). Optimal Loading for Maximizing Power During Sled-Resisted Sprinting. *Int J Sports Physiol Perform*, *12*(8), 1069-1077. doi:10.1123/ijsp.2016-0362

Cross, M. R., Brughelli, M., Samozino, P., & Morin, J. B. (2017). Methods of Power-Force-Velocity Profiling During Sprint Running: A Narrative Review. *Sports Med*, *47*(7), 1255-1269. doi:10.1007/s40279-016-0653-3

Cross, M. R., Lahti, J., Brown, S. R., Chedati, M., Jimenez-Reyes, P., Samozino, P., Morin, J. B. (2018). Training at maximal power in resisted sprinting: Optimal load determination methodology and pilot results in team sport athletes. *PLoS One*, *13*(4), e0195477. doi:10.1371/journal.pone.0195477

Cross, M. R., Samozino, P., Brown, S. R., & Morin, J. B. (2018). A comparison between the force-velocity relationships of unloaded and sled-resisted sprinting: single vs. multiple trial methods. *Eur J Appl Physiol*, *118*(3), 563-571. doi:10.1007/s00421-017-3796-5

- Cross, M. R., Tinwala, F., Lenetsky, S., Samozino, P., Brughelli, M., & Morin, J. B. (2017). Determining friction and effective loading for sled sprinting. *J Sports Sci*, 35(22), 2198-2203. doi:10.1080/02640414.2016.1261178
- Debaere, S., Jonkers, I., & Delecluse, C. (2013). The contribution of step characteristics to sprint running performance in high-level male and female athletes. *J Strength Cond Res*, 27(1), 116-124. doi:10.1519/JSC.0b013e31825183ef
- Delecluse, C. (1997). Influence of strength training on sprint running performance. Current findings and implications for training. *Sports Med*, 24(3), 147-156. doi:10.2165/00007256-199724030-00001
- Delecluse, C., Van Coppenolle, H., Willems, E., Van Leemputte, M., Diels, R., & Goris, M. (1995). Influence of high-resistance and high-velocity training on sprint performance. *Med Sci Sports Exerc*, 27(8), 1203-1209.
- Dorn, T. W., Schache, A. G., & Pandy, M. G. (2012). Muscular strategy shift in human running: dependence of running speed on hip and ankle muscle performance. *J Exp Biol*, 215(Pt 11), 1944-1956. doi:10.1242/jeb.064527
- Escobar Álvarez, J. A., Jiménez-Reyes, P., da Conceição, F. A., & Fuentes García, J. P. (2021). Does the initial level of horizontal force determine the magnitude of improvement in acceleration performance in rugby?. *European journal of sport science*, 21(6), 827–835.
- Faude, O., Koch, T., & Meyer, T. (2012). Straight sprinting is the most frequent action in goal situations in professional football. *J Sports Sci*, 30(7), 625-631.
- Gabbett, T. (2012). Sprinting patterns of national rugby league competition. *The Journal of Strength and Conditioning Research*, 26(1), 121-130.
- Girard, O., Micallef, J. P., & Millet, G. P. (2011). Changes in spring-mass model characteristics during repeated running sprints. *Eur J Appl Physiol*, 111(1), 125-134. doi:10.1007/s00421-010-1638-9



- Higashihara, A., Nagano, Y., Ono, T., & Fukubayashi, T. (2016). Relationship between the peak time of hamstring stretch and activation during sprinting. *Eur J Sport Sci*, *16*(1), 36-41. doi:10.1080/17461391.2014.973913
- Hopkins, W. G., Marshall, S. W., Batterham, A. M., & Hanin, J. (2009). Progressive statistics for studies in sports medicine and exercise science. *Med Sci Sports Exerc*, *41*(1), 3-13. doi:10.1249/MSS.0b013e31818cb278
- Howard, R. M., Conway, R., & Harrison, A. J. (2018). Muscle activity in sprinting: a review. *Sports Biomech*, *17*(1), 1-17. doi:10.1080/14763141.2016.1252790
- Hunter, J. P., Marshall, R. N., & McNair, P. J. (2005). Relationships between ground reaction force impulse and kinematics of sprint-running acceleration. *J Appl Biomech*, *21*(1), 31-43.
- Jiménez-Reyes P, Samozino P, Brughelli M and Morin J-B (2017). Effectiveness of an Individualized Training Based on Force-Velocity Profiling during Jumping. *Front. Physiol.* 7:677.
- Jiménez-Reyes, P., Samozino, P., & Morin, J. B. (2019). Optimized training for jumping performance using the force-velocity imbalance: Individual adaptation kinetics. *PloS one*, *14*(5), e0216681.
- Jiménez-Reyes, P., Garcia-Ramos, A., Párraga-Montilla, J. A., Morcillo-Losa, J. A., Cuadrado-Peñafiel, V., Castaño-Zambudio, A., Morin, J. B. (2020). Seasonal Changes in the Sprint Acceleration Force-Velocity Profile of Elite Male Soccer Players. *J Strength Cond Res*. doi:10.1519/jsc.00000000000003513
- Kawamori, N., Newton, R. U., Hori, N., & Nosaka, K. (2014). Effects of weighted sled towing with heavy versus light load on sprint acceleration ability. *J Strength Cond Res*, *28*(10), 2738-2745. doi:10.1519/JSC.0b013e3182915ed4
- Kawamori, N., Nosaka, K., & Newton, R. U. (2013). Relationships between ground reaction impulse and sprint acceleration performance in team sport athletes. *J Strength Cond Res*, *27*(3), 568-573. doi:10.1519/JSC.0b013e318257805a

Kugler, F., & Janshen, L. (2010). Body position determines propulsive forces in accelerated running. *J Biomech*, *43*(2), 343-348. doi:10.1016/j.jbiomech.2009.07.041

Lahti, J., Huuhka, T., Romero, V., Bezodis, I., Morin, J. B., & Häkkinen, K. (2020). Changes in sprint performance and sagittal plane kinematics after heavy resisted sprint training in professional soccer players. *PeerJ*, *8*, e10507.

Lee, M. J., Reid, S. L., Elliott, B. C., & Lloyd, D. G. (2009). Running biomechanics and lower limb strength associated with prior hamstring injury. *Med Sci Sports Exerc*, *41*(10), 1942-1951. doi:10.1249/MSS.0b013e3181a55200

Lockie, R. G., Murphy, A. J., Schultz, A. B., Knight, T. J., & Janse de Jonge, X. A. (2012). The effects of different speed training protocols on sprint acceleration kinematics and muscle strength and power in field sport athletes. *J Strength Cond Res*, *26*(6), 1539-1550. doi:10.1519/JSC.0b013e318234e8a0

Marrier, B., Robineau, J., Piscione, J., Lacome, M., Peeters, A., Hausswirth, C., Le Meur, Y. (2017). Supercompensation Kinetics of Physical Qualities During a Taper in Team-Sport Athletes. *Int J Sports Physiol Perform*, *12*(9), 1163-1169. doi:10.1123/ijsp.2016-0607

Marrier, B., Le Meur, Y., Leduc, C., Piscione, J., Lacome, M., Igarza, G., Hausswirth, C., Morin, J. B., & Robineau, J. (2018). Training Periodization Over an Elite Rugby Sevens Season: From Theory to Practice. *International journal of sports physiology and performance*, 1–9.

Mendiguchia, J., Edouard, P., Samozino, P., Brughelli, M., Cross, M., Ross, A., Gill, N., & Morin, J. B. (2016). Field monitoring of sprinting power-force-velocity profile before, during and after hamstring injury: two case reports. *Journal of sports sciences*, *34*(6), 535–541.

Mendiguchia, J., Martinez-Ruiz, E., Morin, J. B., Samozino, P., Edouard, P., Alcaraz, P. E., Mendez-Villanueva, A. (2015). Effects of hamstring-emphasized neuromuscular training on strength and sprinting mechanics in football players. *Scand J Med Sci Sports*, *25*(6), e621-629. doi:10.1111/sms.12388

- Mero, A., Komi, P. V., & Gregor, R. J. (1992). Biomechanics of Sprint Running. *Sports Medicine*, 13(6), 376-392. doi:10.2165/00007256-199213060-00002
- Moran, J., Sandercock, G., Rumpf, M. C., & Parry, D. A. (2017). Variation in Responses to Sprint Training in Male Youth Athletes: A Meta-analysis. *Int J Sports Med*, 38(1), 1-11. doi:10.1055/s-0042-111439
- Morin, J. B., Bourdin, M., Edouard, P., Peyrot, N., Samozino, P., & Lacour, J. R. (2012). Mechanical determinants of 100-m sprint running performance. *Eur J Appl Physiol*, 112(11), 3921-3930. doi:10.1007/s00421-012-2379-8
- Morin, J. B., Edouard, P., & Samozino, P. (2011). Technical ability of force application as a determinant factor of sprint performance. *Med Sci Sports Exerc*, 43(9), 1680-1688. doi:10.1249/MSS.0b013e318216ea37
- Morin, J. B., Gimenez, P., Edouard, P., Arnal, P., Jiménez-Reyes, P., Samozino, P., Mendiguchia, J. (2015). Sprint Acceleration Mechanics: The Major Role of Hamstrings in Horizontal Force Production. *Front Physiol*, 6, 404. doi:10.3389/fphys.2015.00404
- Morin, J. B., Jeannin, T., Chevallier, B., & Belli, A. (2006). Spring-mass model characteristics during sprint running: correlation with performance and fatigue-induced changes. *Int J Sports Med*, 27(2), 158-165. doi:10.1055/s-2005-837569
- Morin, J. B., Petrakos, G., Jiménez-Reyes, P., Brown, S. R., Samozino, P., & Cross, M. R. (2017). Very-Heavy Sled Training for Improving Horizontal-Force Output in Soccer Players. *Int J Sports Physiol Perform*, 12(6), 840-844. doi:10.1123/ijsp.2016-0444
- Morin, J. B., & Samozino, P. (2016). Interpreting Power-Force-Velocity Profiles for Individualized and Specific Training. *Int J Sports Physiol Perform*, 11(2), 267-272. doi:10.1123/ijsp.2015-0638
- Morin, J. B., Samozino, P., Bonnefoy, R., Edouard, P., & Belli, A. (2010). Direct measurement of power during one single sprint on treadmill. *J Biomech*, 43(10), 1970-1975. doi:10.1016/j.jbiomech.2010.03.012

- Morin, J. B., Samozino, P., Edouard, P., & Tomazin, K. (2011). Effect of fatigue on force production and force application technique during repeated sprints. *J Biomech*, *44*(15), 2719-2723. doi:10.1016/j.jbiomech.2011.07.020
- Morin, J. B., Samozino, P., Murata, M., Cross, M. R., & Nagahara, R. (2019). A simple method for computing sprint acceleration kinetics from running velocity data: Replication study with improved design. *J Biomech*, *94*, 82-87. doi:10.1016/j.jbiomech.2019.07.020
- Morin, J. B., Slawinski, J., Dorel, S., de Villareal, E. S., Couturier, A., Samozino, P., Rabita, G. (2015). Acceleration capability in elite sprinters and ground impulse: Push more, brake less? *J Biomech*, *48*(12), 3149-3154. doi:10.1016/j.jbiomech.2015.07.009
- Murata, M., Takai, Y., Kanehisa, H., Fukunaga, T., & Nagahara, R. (2018). Spatiotemporal and Kinetic Determinants of Sprint Acceleration Performance in Soccer Players. *Sports (Basel)*, *6*(4). doi:10.3390/sports6040169
- Nagahara, R., Mizutani, M., Matsuo, A., Kanehisa, H., & Fukunaga, T. (2017). Association of Step Width with Accelerated Sprinting Performance and Ground Reaction Force. *Int J Sports Med*, *38*(7), 534-540. doi:10.1055/s-0043-106191
- Nagahara, R., Mizutani, M., Matsuo, A., Kanehisa, H., & Fukunaga, T. (2018a). Association of Sprint Performance With Ground Reaction Forces During Acceleration and Maximal Speed Phases in a Single Sprint. *J Appl Biomech*, *34*(2), 104-110. doi:10.1123/jab.2016-0356
- Nagahara, R., Mizutani, M., Matsuo, A., Kanehisa, H., & Fukunaga, T. (2018b). Step-to-step spatiotemporal variables and ground reaction forces of intra-individual fastest sprinting in a single session. *J Sports Sci*, *36*(12), 1392-1401. doi:10.1080/02640414.2017.1389101
- Nagahara, R., Naito, H., Morin, J. B., & Zushi, K. (2014). Association of acceleration with spatiotemporal variables in maximal sprinting. *Int J Sports Med*, *35*(9), 755-761. doi:10.1055/s-0033-1363252

Pareja-Blanco, F., Pereira, L. A., Freitas, T. T., Alcaraz, P. E., Reis, V. P., Guerriero, A., Arruda, A., Zabaloy, S., Sáez De Villarreal, E., & Loturco, I. (2022). Acute Effects of Progressive Sled Loading on Resisted Sprint Performance and Kinematics. *Journal of strength and conditioning research*, 36(6), 1524–1531.

Petrakos, G., Morin, J. B., & Egan, B. (2016). Resisted Sled Sprint Training to Improve Sprint Performance: A Systematic Review. *Sports Med*, 46(3), 381-400. doi:10.1007/s40279-015-0422-8

Pritchard, H. J., Barnes, M. J., Stewart, R., Keogh, J., & McGuigan, M. R. (2018). Short-Term Training Cessation as a Method of Tapering to Improve Maximal Strength. *Journal of strength and conditioning research*, 32(2), 458–465.

Rabita, G., Dorel, S., Slawinski, J., Sàez-de-Villarreal, E., Couturier, A., Samozino, P., & Morin, J. B. (2015). Sprint mechanics in world-class athletes: a new insight into the limits of human locomotion. *Scand J Med Sci Sports*, 25(5), 583-594. doi:10.1111/sms.12389

Rakovic, E., Paulsen, G., Helland, C., Eriksrud, O., & Haugen, T. (2018). The effect of individualised sprint training in elite female team sport athletes: A pilot study. *Journal of sports sciences*, 36(24), 2802–2808.

Rumpf, M. C., Lockie, R. G., Cronin, J. B., & Jalilvand, F. (2016). Effect of Different Sprint Training Methods on Sprint Performance Over Various Distances: A Brief Review. *J Strength Cond Res*, 30(6), 1767-1785. doi:10.1519/jsc.0000000000001245

Samozino, P., Rabita, G., Dorel, S., Slawinski, J., Peyrot, N., Saez de Villarreal, E., & Morin, J. B. (2016). A simple method for measuring power, force, velocity properties, and mechanical effectiveness in sprint running. *Scand J Med Sci Sports*, 26(6), 648-658. doi:10.1111/sms.12490

- Samozino, P., Rejc, E., Di Prampero, P. E., Belli, A., & Morin, J. B. (2012). Optimal force-velocity profile in ballistic movements--altius: citius or fortius? *Med Sci Sports Exerc*, *44*(2), 313-322. doi:10.1249/MSS.0b013e31822d757a
- Schache, A. G., Kim, H. J., Morgan, D. L., & Pandy, M. G. (2010). Hamstring muscle forces prior to and immediately following an acute sprinting-related muscle strain injury. *Gait Posture*, *32*(1), 136-140. doi:10.1016/j.gaitpost.2010.03.006
- Seitz, L. B., Reyes, A., Tran, T. T., Saez de Villarreal, E., & Haff, G. G. (2014). Increases in lower-body strength transfer positively to sprint performance: a systematic review with meta-analysis. *Sports Med*, *44*(12), 1693-1702. doi:10.1007/s40279-014-0227-1
- Simperingham, K. D., Cronin, J. B., & Ross, A. J. S. M. (2016). Advances in sprint acceleration profiling for field-based team-sport athletes: Utility, reliability, validity and limitations. *Sports Med*, *46*(11), 1619-1645.
- Spinks, C. D., Murphy, A. J., Spinks, W. L., & Lockie, R. G. (2007). The effects of resisted sprint training on acceleration performance and kinematics in soccer, rugby union, and Australian football players. *J Strength Cond Res*, *21*(1), 77-85. doi:10.1519/00124278-200702000-00015
- Thomas, G. (2021). High-Performance Training for Sports (Book Review). *The Sport and Exercise Scientist*, (70), 10.
- Travis, S. K., Mujika, I., Gentles, J. A., Stone, M. H., & Bazyler, C. D. (2020). Tapering and Peaking Maximal Strength for Powerlifting Performance: A Review. *Sports (Basel, Switzerland)*, *8*(9), 125.
- Turner, A., & Comfort, P. (2017). *Advanced strength and conditioning: an evidence-based approach*: Routledge.
- von Lieres Und Wilkau, H. C., Irwin, G., Bezodis, N. E., Simpson, S., & Bezodis, I. N. (2020). Phase analysis in maximal sprinting: an investigation of step-to-step technical changes between the initial acceleration, transition and maximal velocity phases. *Sports biomechanics*, *19*(2), 141-156.

Weyand, P. G., Sandell, R. F., Prime, D. N., & Bundle, M. W. (2010). The biological limits to running speed are imposed from the ground up. *J Appl Physiol* (1985), 108(4), 950-961. doi:10.1152/jappphysiol.00947.2009

Weyand, P. G., Sternlight, D. B., Bellizzi, M. J., & Wright, S. (2000). Faster top running speeds are achieved with greater ground forces not more rapid leg movements. *J Appl Physiol* (1985), 89(5), 1991-1999. doi:10.1152/jappl.2000.89.5.1991

Wild, J. J., Bezodis, I. N., North, J. S., & Bezodis, N. E. (2018). Differences in step characteristics and linear kinematics between rugby players and sprinters during initial sprint acceleration. *Eur J Sport Sci*, 18(10), 1327-1337. doi:10.1080/17461391.2018.1490459

Zabaloy, S., Carlos-Vivas, J., Freitas, T. T., Pareja-Blanco, F., Loturco, I., Comyns, T., Gálvez-González, J., & Alcaraz, P. E. (2022). Muscle Activity, Leg Stiffness, and Kinematics During Unresisted and Resisted Sprinting Conditions. *Journal of strength and conditioning research*, 36(7), 1839–1846.





# **LISTA DE FIGURAS**



## 10. LISTA DE FIGURAS

**Figura 1.** Representación de la curva típica de velocidad-tiempo obtenida mediante un radar (línea gruesa) y modelada a través de la ecuación biexponencial (línea fina). (Morin et al., 2006).

**Figura 2.** Representación de las tres fuerzas que determinan la aceleración del centro de masas de un atleta de velocidad. Fuerza de reacción contra el suelo (GRF), fuerza gravitacional (equivalente al peso del atleta (BW)) y la resistencia del aire (Hunter et al., 2005).

**Figura 3.** Representación del ratio de fuerzas y la expresión matemática como una función de la Fuerza total ( $F_{tot}$ ) y la fuerza de reacción del suelo (GRF) en el vector horizontal positivo ( $F_H$ ). La orientación hacia delante del vector GRF está representada por el ángulo  $\alpha$  (Morin, Edouard, et al., 2011).

**Figura 4.** Relación lineal entre el RF y la velocidad durante la fase de aceleración en una cinta de correr (desde el segundo apoyo hasta el apoyo de máxima velocidad) entre dos sujetos, sujeto 1 (puntos negros), sujeto 2 (puntos blancos). Cada punto corresponde con los valores de RF y velocidad media durante el apoyo. A pesar de tener valores máximos de RF iniciales, sus DRF difieren fuertemente (Morin, Edouard, et al., 2011).

**Figura 5.** Ejemplo de una curva velocidad, fuerzas de reacción del suelo verticales y anteroposteriores durante los primeros 6 segundos de un sprint de 60 metros. Las líneas discontinuas son las muestras recogidas por el radar, los círculos blancos son la aplicación de fuerza extrapolada y la línea continua negra hace referencia al modelo exponencial de la velocidad (Morin, Samozino, Murata, Cross, & Nagahara, 2019).

**Figura 6.** Se muestran los componentes de la fuerza de reacción del suelo en el vector vertical y antero-posterior de cada apoyo durante la aceleración. El método simple hace referencia a las líneas continuas oscuras. Donde los romboides blancos son la fuerza vertical ( $F_v$ ), los cuadrados blancos son la fuerza horizontal ( $F_h$ ) y la potencia horizontal está representada por los círculos negros (Morin et al., 2019).

**Figura 7.** Ejemplo típico de relaciones de fuerza-velocidad y de potencia calculadas a

partir de valores promediados por apoyos (círculos blancos y negros, líneas discontinuas) y utilizando el método simple (líneas continuas negras) (Morin et al., 2019).

**Figura 8.** Representación del método simple lineal (línea continua) con el modelo lineal (línea discontinua) de la variable ratio de fuerza (RF) (Morin et al., 2019).

**Figura 9.** Representación de las zonas del perfil F-v para la selección de ejercicios. Las variables son la  $F_0$  (zona azul),  $P_{max}$  (zona naranja) y la  $v_0$  (zona roja).

**Figura 10.** Posición inicial del atleta para la realización del test para establecer la carga óptima de arrastre.

**Figura 11.** Fotografía del momento del primer tirón y la colocación del arrastre para determinar la carga óptima de arrastre durante un sprint de 30 metros.

**Figura 12.** Fotografía del procedimiento para determinar la carga óptima de arrastre durante un sprint de 30 metros. Se utilizó un radar con el fin de medir la velocidad máxima que alcanzaba con esa carga.

**Figura 13.** Curva de velocidad-tiempo recogida mediante el radar de cada uno de los porcentajes necesarios para estimar la carga óptima de arrastre para el desarrollo de la potencia óptima. Las cargas visualizadas en la figura son el 25% del peso corporal (línea verde), 50% del peso corporal (línea amarilla), 75% del peso corporal (línea azul) y 100% del peso corporal (línea roja).

**Figura 14.** Posición inicial del atleta para la realización del test para establecer la carga óptima de arrastre.

**Figura 15.** Fotografía del procedimiento para determinar la carga óptima de arrastre durante un sprint de 30 metros. Posición inicial del atleta esperando recibir la orden de salida.

**Figura 16.** Estructura de la toma de datos durante cada periodo de la temporada.

**Figura 17.** Diferencias entre pre (círculos blancos) y post (círculos negros) para la variable  $P_{max}$ .

**Figura 18.** Diferencias entre pre (círculos izquierda) y post (círculos derecha) para la variable Pmax. Las líneas que conectan los puntos son la relación de cada sujeto, viendo así, los respondedores y no respondedores.

**Figura 19.** Diferencias entre pre (círculos blancos) y post (círculos negros) para la variable v0.

**Figura 20.** Diferencias entre pre (círculos izquierda) y post (círculos derecha) para la variable v0. Las líneas que conectan los puntos son la relación de cada sujeto, viendo así, los respondedores y no respondedores.

**Figura 21.** Diferencias entre pre (círculos blancos) y post (círculos negros) para la variable F0.

**Figura 22.** Diferencias entre pre (círculos izquierda) y post (círculos derecha) para la variable F0. Las líneas que conectan los puntos son la relación de cada sujeto, viendo así, los respondedores y no respondedores.

**Figura 23.** Diferencias entre pre (círculos blancos) y post (círculos negros) para la variable Sfv.

**Figura 24.** Diferencias entre pre (círculos izquierda) y post (círculos derecha) para la variable Sfv. Las líneas que conectan los puntos son la relación de cada sujeto, viendo así, los respondedores y no respondedores.

**Figura 25.** Diferencias entre pre (círculos blancos) y post (círculos negros) para la variable Pmax para hombres (n=24).

**Figura 26.** Diferencias entre pre (círculos izquierda) y post (círculos derecha) para la variable Pmax para hombres (n=24). Las líneas que conectan los puntos son la relación de cada sujeto, viendo así, los respondedores y no respondedores.

**Figura 27.** Diferencias entre pre (círculos blancos) y post (círculos negros) para la variable Pmax para mujeres (n=12).

**Figura 28.** Diferencias entre pre (círculos izquierda) y post (círculos derecha) para la variable Pmax para mujeres (n=12). Las líneas que conectan los puntos son la relación de cada sujeto, viendo así, los respondedores y no respondedores.

**Figura 29.** Diferencias entre pre (círculos blancos) y post (círculos negros) para la variable v0 para hombres (n=24).

**Figura 30.** Diferencias entre pre (círculos izquierda) y post (círculos derecha) para la variable v0 para hombres (n=24). Las líneas que conectan los puntos son la relación de cada sujeto, viendo así, los respondedores y no respondedores.

**Figura 31.** Diferencias entre pre (círculos blancos) y post (círculos negros) para la variable v0 para mujeres (n=12).

**Figura 32.** Diferencias entre pre (círculos izquierda) y post (círculos derecha) para la variable v0 para mujeres (n=12). Las líneas que conectan los puntos son la relación de cada sujeto, viendo así, los respondedores y no respondedores.

**Figura 33.** Diferencias entre pre (círculos blancos) y post (círculos negros) para la variable F0 para hombres (n=24).

**Figura 34.** Diferencias entre pre (círculos izquierda) y post (círculos derecha) para la variable F0 para hombres (n=24). Las líneas que conectan los puntos son la relación de cada sujeto, viendo así, los respondedores y no respondedores.

**Figura 35.** Diferencias entre pre (círculos blancos) y post (círculos negros) para la variable F0 para mujeres (n=12).

**Figura 36.** Diferencias entre pre (círculos izquierda) y post (círculos derecha) para la variable F0 para mujeres (n=12). Las líneas que conectan los puntos son la relación de cada sujeto, viendo así, los respondedores y no respondedores.

**Figura 37.** Diferencias entre pre (círculos blancos) y post (círculos negros) para la variable Sfv para hombres (n=24).

**Figura 38.** Diferencias entre pre (círculos izquierda) y post (círculos derecha) para la variable Sfv para hombres (n=24). Las líneas que conectan los puntos son la relación de cada sujeto, viendo así, los respondedores y no respondedores.

**Figura 39.** Diferencias entre pre (círculos blancos) y post (círculos negros) para la variable Sfv para mujeres (n=12).

**Figura 40.** Diferencias entre pre (círculos izquierda) y post (círculos derecha) para la variable Sfv para mujeres (n=12). Las líneas que conectan los puntos son la relación de cada sujeto, viendo así, los respondedores y no respondedores.

**Figura 41.** Cambios en las variables F0, v0 y Pmax de salida para los diferentes puntos de tiempo de medición: pre-entrenamiento, y una (POST) , dos (S2), tres (S3) y cuatro (S4) semanas después del bloque de entrenamiento de 10 semanas. Datos expresados en función del valor de la línea de base (PRE).

**Figura 42.** Cambios en la fuerza horizontal máxima teórica para los diferentes puntos de tiempo de medición: pre-entrenamiento, y una (POST), dos (S2), tres (S3) y cuatro (S4) semanas después del bloque de entrenamiento de 10 semanas.

**Figura 43.** Cambios en la velocidad máxima teórica para los diferentes puntos de tiempo de medición: pre-entrenamiento, y una (POST), dos (S2), tres (S3) y cuatro (S4) semanas después del bloque de entrenamiento de 10 semanas.

**Figura 44.** Cambios en la potencia máxima de salida para los diferentes puntos de tiempo de medición: pre-entrenamiento, y una (POST), dos (S2), tres (S3) y cuatro (S4) semanas después del bloque de entrenamiento de 10 semanas.

**Figura 45.** Cambios en las variables F0, v0 y Pmax de salida para los diferentes puntos de tiempo de medición: pre-entrenamiento, y una (POST) , dos (S2), tres (S3) y cuatro (S4) semanas después del bloque de entrenamiento de 10 semanas para la muestra de atletas masculinos. Datos expresados en función del valor de la línea de base (PRE).

**Figura 46.** Cambios en la fuerza horizontal máxima teórica para los diferentes puntos de tiempo de medición: pre-entrenamiento, y una (POST), dos (S2), tres (S3) y cuatro (S4) semanas después del bloque de entrenamiento de 10 semanas de los atletas masculinos.

**Figura 47.** Cambios en la velocidad máxima teórica para los diferentes puntos de tiempo de medición: pre-entrenamiento, y una (POST), dos (S2), tres (S3) y cuatro (S4) semanas después del bloque de entrenamiento de 10 semanas de los atletas masculinos.

**Figura 48.** Cambios en la potencia máxima de salida para los diferentes puntos de tiempo de medición: pre-entrenamiento, y una (POST), dos (S2), tres (S3) y cuatro (S4) semanas después del bloque de entrenamiento de 10 semanas de los atletas masculinos.

**Figura 49.** Cambios en las variables  $F_0$ ,  $v_0$  y  $P_{max}$  de salida para los diferentes puntos de tiempo de medición: pre-entrenamiento, y una (POST) , dos (S2), tres (S3) y cuatro (S4) semanas después del bloque de entrenamiento de 10 semanas para la muestra de atletas femeninas. Datos expresados en función del valor de la línea de base (PRE).

**Figura 50.** Cambios en la fuerza horizontal máxima teórica para los diferentes puntos de tiempo de medición: pre-entrenamiento, y una (POST), dos (S2), tres (S3) y cuatro (S4) semanas después del bloque de entrenamiento de 10 semanas de las atletas femeninas.

**Figura 51.** Cambios en la velocidad máxima teórica para los diferentes puntos de tiempo de medición: pre-entrenamiento, y una (POST), dos (S2), tres (S3) y cuatro (S4) semanas después del bloque de entrenamiento de 10 semanas de las atletas femeninas.

**Figura 52.** Cambios en la potencia máxima de salida para los diferentes puntos de tiempo de medición: pre-entrenamiento, y una (POST), dos (S2), tres (S3) y cuatro (S4) semanas después del bloque de entrenamiento de 10 semanas de los atletas masculinos.

**Figura 53.** Gráfica que representa las variables mecánicas del perfil fuerza-velocidad horizontal durante la temporada 2016/2017 de pista cubierta y aire libre. Pista cubierta pre (línea marrón), pista cubierta post1 (línea gris), pista cubierta post2 (línea azul oscuro). Aire libre pre (línea roja), aire libre post1 (línea azul claro) y aire libre post2 (línea amarilla).

**Figura 54.** Gráfica que representa las variables mecánicas del perfil fuerza-velocidad horizontal durante la temporada 2017/2018 de pista cubierta y aire libre. Pista cubierta pre (línea azul), pista cubierta post1 (línea amarilla), pista cubierta post2 (línea negra). Aire libre pre (línea verde), aire libre post1 (línea azul rojo) y aire libre post2 (línea naranja).

**Figura 55.** Gráfica que representa las variables mecánicas del perfil fuerza-velocidad horizontal durante la temporada 2018/2019 de pista cubierta. Pista cubierta pre (línea roja), pista cubierta post1 (línea azul), pista cubierta post2 (línea verde).

**Figura 56.** Gráfica que representa las variables mecánicas del perfil fuerza-velocidad horizontal durante el PRE de la temporada 2016/2017 (línea azul), 2017/2018 (línea verde) y 2018/2019 (línea roja) de pista cubierta.



**Figura 57.** Gráfica que representa las variables mecánicas del perfil fuerza-velocidad horizontal durante el POST de la temporada 2016/2017 (morada-post1 y marrón-post2), 2017/2018 (naranja-post 1 y verde-post2) y 2018/2019 (azul-post1 y roja-post2) de pista cubierta.

**Figura 58.** Gráfica que representa las variables mecánicas del perfil fuerza-velocidad horizontal durante el PRE de la temporada 2016/2017 (línea roja) y temporada 2017/2018 (línea azul) de aire libre.

**Figura 59.** Gráfica que representa las variables mecánicas del perfil fuerza-velocidad horizontal durante el POST de la temporada 2016/2017 (azul-post1 y amarilla-post2) y temporada 2017/2018 (roja-post 1 y verde-post2) de aire libre.



# **LISTA DE TABLAS**



## 11. LISTA DE TABLAS

**Tabla 1.** Características generales de la muestra del estudio I.

**Tabla 2.** Protocolo de entrenamiento de arrastres en sprint del grupo experimental para el estudio I. Abreviaturas: m, metros; MC, masa corporal; L10, carga que supone un 10% disminución de la velocidad máxima; Lopt, carga óptima.

**Tabla 3.** Estructura de los test pre y post para determinar la carga óptima de arrastre para el desarrollo de la máxima potencia.

**Tabla 4.** Características generales de la muestra del estudio II.

**Tabla 5.** Protocolo de entrenamiento de arrastres en sprint del grupo experimental para el estudio II. Abreviaturas: m, metros; MC, masa corporal; y Lopt, carga óptima.

**Tabla 6.** Representación de los test pre, post-s1, post-s2, post-s3 y post-s4 para determinar el perfil F-v horizontal y la carga óptima individual para el desarrollo de la Pmax.

**Tabla 7.** Características generales de la muestra del estudio III.

**Tabla 8.** Protocolo de entrenamiento de arrastres en sprint del grupo experimental para el estudio III. Abreviaturas: m, metros; MC, masa corporal y Lopt, carga óptima.

**Tabla 9.** Representación de los test pre, post y precomp para determinar el perfil F-v horizontal y la carga óptima individual para el desarrollo de la Pmax en una temporada.

**Tabla 10.** Variables de masa corporal, mecánica, técnica y rendimiento del sprint durante el pre, post y el pico de rendimiento.

**Tabla 11.** Variables de masa corporal, mecánica, técnica y rendimiento del sprint durante el pre, post y el pico de rendimiento.

**Tabla 12.** Datos de todas las temporadas y las variables mecánicas del perfil fuerza-velocidad. Pre: antes de iniciar el periodo de entrenamiento específico y que coincide con el inicio de preparación de la temporada de pista cubierta o aire libre. Post: justo después de la finalización del periodo de entrenamiento. Precomp: medición que se realiza antes

de iniciar el periodo competitivo. F0 (fuerza máxima horizontal teórica), v0 (velocidad máxima teórica), Pmax (potencia máxima horizontal teórica) y FVP (perfil fuerza velocidad).

**Tabla 13.** Datos de rendimiento del atleta en las diferentes épocas de competición. Han sido seleccionado los picos de rendimiento en cada una de las etapas, coincidiendo los valores de las variables mecánicas con los test precompetitivos. Los tiempos recogidos son los oficiales y hacen referencia al mejor tiempo en competición en esa etapa. En el caso de pista cubierta hace referencia a la prueba de 60 metros y en aire libre, son los obtenidos en competiciones de distancia de 100 metros. El porcentaje de cambio es la relación de las distintas etapas competitivas, siendo un año de diferencia entre ellas.

**Tabla 14.** Porcentajes de cambio del atleta durante los diferentes momentos del periodo recogido. El porcentaje de cambio de la temporada 16/17-18/19 PC hace referencia a los mejores resultados de una temporada, coincidiendo con los test pre competitivos, con la última temporada recogida. Los porcentajes de pérdida hacen referencia al último test recogido, el pre competitivo, de una temporada comparándolo con el siguiente test, el pre test y de esta forma observar el desentrenamiento que se produce. Los tiempos recogidos son los oficiales y hacen referencia al mejor tiempo en competición en esa etapa, en este caso, la pista cubierta hace referencia a la prueba de 60 metros.

**Tabla 15.** Diferencias existentes entre las medidas realizadas en cada una de las temporadas. Pre: antes de iniciar el periodo de entrenamiento específico y que coincide con el inicio de preparación de la temporada de pista cubierta o aire libre. Post: justo después de la finalización del periodo de entrenamiento. Precomp: medición que se realiza antes de iniciar el periodo competitivo. F0 (fuerza horizontal teórica), v0 (velocidad horizontal teórica), Pmax (potencia máxima horizontal teórica) y FVP (perfil fuerza velocidad). Se interpreta que es significativo cuando el resultado del análisis es  $p > 0.05$ .