

**Variación diurna de la fuerza muscular en mujeres jóvenes entrenadas. Efecto de la cafeína para la mejora del rendimiento.**



Tesis Doctoral

**Variación diurna de la fuerza muscular en mujeres jóvenes entrenadas. Efecto de la cafeína para la mejora del rendimiento.**



PROGRAMA DE DOCTORADO EN BIOMEDICINA  
DEPARTAMENTO DE EDUCACIÓN FÍSICA Y DEPORTIVA  
UNIVERSIDAD DE GRANADA

**Lidia Robles González**

2022

Editor: Universidad de Granada. Tesis Doctorales  
Autor: Lidia Robles González  
ISBN: 978-84-1117-358-2  
URI: <http://hdl.handle.net/10481/75444>



DEPARTAMENTO DE EDUCACIÓN FÍSICA Y DEPORTIVA  
FACULTAD DE CIENCIAS DEL DEPORTE  
UNIVERSIDAD DE GRANADA

**Variación diurna de la fuerza muscular en mujeres jóvenes  
entrenadas. Efecto de la cafeína para la mejora del  
rendimiento.**

**Lidia Robles González**

Directores de la Tesis Doctoral

**Francisco J. Amaro Gahete**  
PhD  
Profesor Ayudante Doctor  
Universidad de Granada

**Jonatan Ruiz Ruiz**  
PhD  
Prof. Titular Universidad  
Universidad de Granada

Granada, 26 febrero de 2022







# ÍNDICE

---

Proyectos y financiación	17
Abreviaturas	19
Tablas	21
Figuras	23
Resumen	25
Abstract	27

## INTRODUCCIÓN

29

Cronobiología y ritmos circadianos	31
Estudio de los ritmos biológicos	33
Sincronización de los ritmos circadianos	37
Importancia del momento del día en que se realiza ejercicio sobre el rendimiento deportivo	38
Cafeína y mejora del rendimiento neuromuscular	43
Mecanismos fisiológicos que explican los efectos ergogénicos de la cafeína sobre el rendimiento neuromuscular	43
Influencia aguda de la ingesta de cafeína en el rendimiento neuromuscular	44
Efectos de la cafeína sobre la fuerza muscular en mujeres	48
¿Atenúa la ingesta de cafeína la variación diurna observada en el rendimiento neuromuscular en mujeres?	51

## OBJETIVOS E HIPÓTESIS

55

## MATERIAL Y MÉTODOS

59

Participantes	61
Diseño experimental	62
Ingesta de cafeína	62
Procedimientos del estudio	65
Análisis estadístico	69

<b>RESULTADOS</b>	73
<b>DISCUSIÓN</b>	83
<b>LIMITACIONES Y FORTALEZAS</b>	93
<b>CONCLUSIONES Y FUTURAS PERSPECTIVAS</b>	97
<b>REFERENCIAS</b>	103
<b>CIRRICULUM VITAE</b>	121
<b>AGRADECIMIENTOS</b>	127

## **PROYECTOS Y FINANCIACIÓN**

La presente Tesis Doctoral ha sido financiada por la Universidad de Granada (Plan Propio de Investigación 2016 y 2021-Acciones de Excelencia: Unidad de Excelencia de Ejercicio Nutrición y Salud (UCENS)).



## **ABREVIATURAS**

1RM: 1 repetición máxima

ANOVA: Análisis de la varianza

HDL: Colesterol de lipoproteínas de alta densidad

IGFBP-3: *insuline-like growth factor binding protein 3*

NSQ: núcleo supraquiasmático

VmPBL: Velocidad máxima del press de banca lanzado



## TABLAS

**Tabla 1.** Características de los participantes (n=15).

**Tabla 2.** Rendimiento balístico de tren inferior y superior (i.e., altura del salto con contramovimiento y velocidad máxima del press de banca lanzado [VmPBL]), fuerza dinámica máxima (i.e., test de 1 repetición máxima [1RM] en sentadilla y en press de banca) y rendimiento en fuerza-resistencia (i.e., velocidad promedio (Vp) 8 repeticiones en sentadilla al 70% 1RM y repeticiones hasta el fallo al 70% 1RM [RtF-70 % 1RM] en press de banca) por la mañana y por la tarde tras la ingesta de cafeína o placebo.





## FIGURAS

**Figura 1.** Ritmos circadianos en la temperatura corporal (adaptado de (Kantermann et al., 2012)).

**Figura 2.** Efectos del patrón de ritmo circadiano y la ingesta de cafeína sobre los valores dinámicos e isométricos de fuerza máxima y potencia muscular de tren superior e inferior. A) y B) Velocidad para potencia máxima y; C) y D) Velocidad para cargas correspondientes al 75% 1RM en la sentadilla y el press de banca. Los test se realizaron por la mañana (10:00 am) sin (AM<sub>PLAC</sub>) o con ingesta de cafeína (i.e., 3 mg/kg; AM<sub>CAF</sub>) y por la tarde (18:00 pm; PM<sub>PLAC</sub>). \*Diferencias significativas respecto a los valores de AM<sub>PLAC</sub>. p#0.05. (adaptado de (Mora-Rodríguez et al., 2012))

**Figura 3.** Procedimientos de estudio. Abreviaturas: DXA; Prueba de absorciometría de energía dual de rayos X.

**Figura 4.** Rendimiento balístico del tren inferior (i.e., altura del salto con contramovimiento), fuerza dinámica máxima (i.e., test de 1 repetición máxima [1RM] en sentadilla) y rendimiento en fuerza-resistencia (i.e., Velocidad promedio (Vp) 8 repeticiones en sentadilla al 70% 1RM por la mañana y por la tarde después de la ingesta de cafeína o placebo. Panel A: observaciones individuales para cada sujeto (líneas grises) y la media para todos los sujetos (línea negra). Panel B: observaciones individuales para cada sujeto (puntos negros), desviación estándar y valores mínimos/máximos (diagramas de caja y bigotes), y el valor de P obtenido a partir del análisis

de la varianza de dos vías (ANOVA). Letras similares (i.e., a-a; b-b, etc.) indican diferencias post hoc significativas tras la comparación entre condiciones.

**Figura 5.** Rendimiento balístico del tren superior (i.e., velocidad máxima del press de banca lanzado [VmPBL]), fuerza dinámica máxima (i.e., test de 1 repetición máxima [1RM] en press banca) y rendimiento en fuerza-resistencia (i.e., repeticiones hasta el fallo al 70% 1RM [RtF-70 % 1RM] en press de banca) por la mañana y por la tarde después de la ingesta de cafeína o el placebo. Panel A: observaciones individuales para cada sujeto (líneas grises) y la media para todos los sujetos (línea negra). Panel B: observaciones individuales para cada sujeto (puntos negros), desviación estándar y valores mínimos/máximos (diagramas de caja y bigotes), y el valor de P obtenido por análisis de varianza de dos vías (ANOVA). Letras similares (i.e., a-a; b-b, etc.) indican diferencias post hoc significativas tras la comparación entre condiciones.

## RESUMEN

**Antecedentes:** Existe evidencia científica de que el rendimiento neuromuscular es mayor por la tarde, y que las diferencias mañana vs. tarde pueden ser compensadas con la ingesta de ayudas ergogénicas tales como la cafeína en atletas masculinos. Sin embargo, se desconoce si estos hallazgos se pueden aplicar a mujeres entrenadas. Dado el creciente interés en comprender la fisiología y el rendimiento atlético de las mujeres. Es de interés científico y de utilidad práctica saber si el uso de la cafeína puede revertir la hipotética variación diurna del rendimiento neuromuscular en mujeres entrenadas.

**Objetivo e hipótesis:** El principal objetivo de la presente Tesis Doctoral es investigar el efecto de la ingesta aguda de cafeína en la variación diurna del rendimiento neuromuscular en mujeres jóvenes entrenadas. Hipótesis: la ingesta de cafeína (i) aumenta el rendimiento neuromuscular independientemente de la hora del día y (ii) promueve un rendimiento neuromuscular similar en la mañana en comparación con la tarde sin la ingesta de cafeína.

**Material y métodos:** Un total de 15 mujeres entrenadas en disciplinas de fuerza participaron en el presente estudio cruzado experimental, triple ciego, controlado con placebo. Evaluamos el rendimiento neuromuscular (i.e., fuerza balística [altura del salto con contramovimiento y velocidad máxima del press banca lanzado [VmPBL]], fuerza máxima (test de una repetición máxima [1RM] en sentadilla y press banca) y fuerza-resistencia [velocidad promedio de la serie durante la sentadilla y número de repeticiones al fallo en press banca]) 4 veces en 7 días. Los participantes ingirieron una dosis aguda de cafeína (3 mg/kg) o placebo entre las 9 y las 11 de la mañana y/o entre las 5 y las 7 p.m. de la tarde.

**Resultados:** La altura del salto con contramovimiento ( $P=0,016$ ) y la VmPBL ( $P=0,012$ ) obtenidos durante la tarde

fueron mayores que los obtenidos en la mañana. En comparación con el placebo, la ingesta de cafeína aumentó la altura del salto con contramovimiento en un 3,1 % por la mañana y un 1,6 % por la tarde ( $p = 0,035$ ), pero no tuvo ningún efecto sobre la VmPBL. ( $P=0,381$ ). La fuerza máxima y la fuerza-resistencia de tren superior e inferior no se vieron afectados por la hora del día o el consumo de cafeína (todas  $P>0.3$ ). No se observó ninguna interacción significativa (hora del día x sustancia) para ninguno de los resultados anteriores (todas  $P>0,1$ ).

**Conclusión:** Los resultados de la presente tesis doctoral ponen de manifiesto una dosis aguda de cafeína durante la mañana fue efectiva para restaurar parcialmente el rendimiento en términos de fuerza neuromuscular de tren inferior a los niveles encontrados en la tarde en mujeres entrenadas.

## **ABSTRACT**

**Background:** There is previous scientific evidence that neuromuscular performance has a diurnal variation (with higher levels during the afternoon compared to the morning), and that this fact can be compensated by ergogenic aids (e.g., caffeine) in male athletes. However, it is still unknown whether these findings may be applied to female athletes. Given the increased interest in understanding women' sport physiology and performance during the last decades and the scarce of well-designed studies addressing this research question, it is of scientific and practical interest to know whether the use of caffeine may reverse the hypothetical time-of-day variation in neuromuscular performance in female athletes.

**Objective and hypothesis:** The main objective of the present Doctoral Thesis was to investigate the effect of an acute intake of caffeine on the diurnal variation of neuromuscular performance in resistance-trained women. We hypothesize that caffeine (i) increases neuromuscular performance independently of the time-of-day, and (ii) promotes similar neuromuscular performance in the morning when compared to the afternoon without the ingestion of caffeine.

**Material and methods:** A total of 15 resistance-trained women participated in the current triple-blind, placebo-controlled, crossover experimental study. We assessed neuromuscular performance (i.e., ballistic (countermovement jump [CMJ]) height and bench press throw [BPT] peak velocity), maximal strength (squat and bench press one-repetition maximum [1RM]), and strength-endurance [average velocity of the set during squat and number of repetitions-to-failure in bench press]) 4 times at within 7 days. The participants ingested an acute dose of caffeine (3 mg/kg) or a placebo at 9-11 am and/or 17-19 pm.

**Results:** CMJ height ( $P=0.016$ ) and BPT peak velocity ( $P=0.012$ ) were higher in the afternoon than in the morning. Compared to placebo, caffeine intake increased CMJ height by 3.1% in the morning and 1.6% in the afternoon ( $P=0.035$ ), but it had no effect on BPT peak velocity ( $P=0.381$ ). Maximal strength and strength-endurance performances were not affected by the time-of-day or caffeine intake (all  $P>0.3$ ). No significant interaction (time-of-day  $\times$  substance) was observed in any of the above-mentioned outcomes (all  $P>0.1$ ).

**Conclusion:** In summary, the main findings of the Doctoral Thesis are that an acute dose of caffeine in the morning is effective to partially restore lower-body strength performance to levels found in the afternoon in resistance-trained women.

---

# INTRODUCCIÓN

---





En el ámbito deportivo, la búsqueda e identificación de factores que favorezcan un aumento del rendimiento deportivo es siempre una prioridad. De hecho, en atletas (independientemente de que sean profesionales o amateurs), obtener mejores resultados es siempre un objeto de deseo. En la actualidad vivimos en las llamadas “sociedades del rendimiento”, lugares donde obtener una mejor valoración en términos cuantitativos y cualitativos con respecto al resto es, en ocasiones, mejor evaluado que la transmisión de valores tan importantes en el deporte como la competitividad, el esfuerzo, la capacidad de trabajo en equipo, el juego limpio, mantenerse en forma y saludable. Es en este afán de superación continua donde las ciencias del deporte han estado enfocando sus esfuerzos durante muchos años, introduciendo recientemente conceptos tales como la cronobiología (Ayala et al., 2021) y el uso de ayudas ergogénicas (tales como la cafeína) (Grgic, 2021) durante la realización de ejercicio físico.

### **Cronobiología y ritmos circadianos**

La cronobiología es la ciencia que estudia los ritmos biológicos endógenos, los cuales son entendidos como los ciclos internos de todos los seres vivos (Postolache et al., 2020).

Existen diversos tipos de ritmos biológicos, circadianos, ultradianos e infradianos, siendo los circadianos los más relevantes ya que actúan en el período de tiempo correspondiente a 24 horas (Postolache et al., 2020; Vitale &

Weydahl, 2017). Los ultradianos se refieren a un período de tiempo menor a 20 horas, mientras que los infradianos aluden a ciclos más largos de 28 horas. Dentro de este último cabe destacar: (i) los *circaseptan* (7 días), los *circatrigintan* (30 días) y los *circa-anual* (360 días) (Bellastella et al., 2019).

Se ha puesto de manifiesto que el organismo tiene un “*reloj biológico central*” situado en el hipotálamo, concretamente en el núcleo supraquiasmático (NSQ), que recibe y emite información constantemente (Postolache et al., 2020; Vitale & Weydahl, 2017). Estos ritmos se ajustan a determinados elementos ambientales, principalmente los ciclos luz/oscuridad, siendo la luz su principal sincronizador ambiental (Ayala et al., 2021). Otros factores exógenos conocidos son la ingesta de alimentos, los niveles de estrés, la actividad física o el sueño (Postolache et al., 2020).

El NSQ recibe estímulos luminosos a través de la vía retino-hipotalámica coordinando con esta información el resto de los “relojes periféricos” a través de señales endocrinas y/o neurales (Aoyama & Shibata, 2020). Estos “relojes” también tienen la capacidad de funcionar de forma autónoma y de manera independiente, estando ubicados en diferentes localizaciones del cuerpo humano: riñón, páncreas, tejido adiposo o tejido muscular (Ayala et al., 2021).

El momento en el cual un individuo establece una preferencia biológica concreta para hacer determinadas actividades y descansar se conoce con el término cronotipo (Postolache et al.,

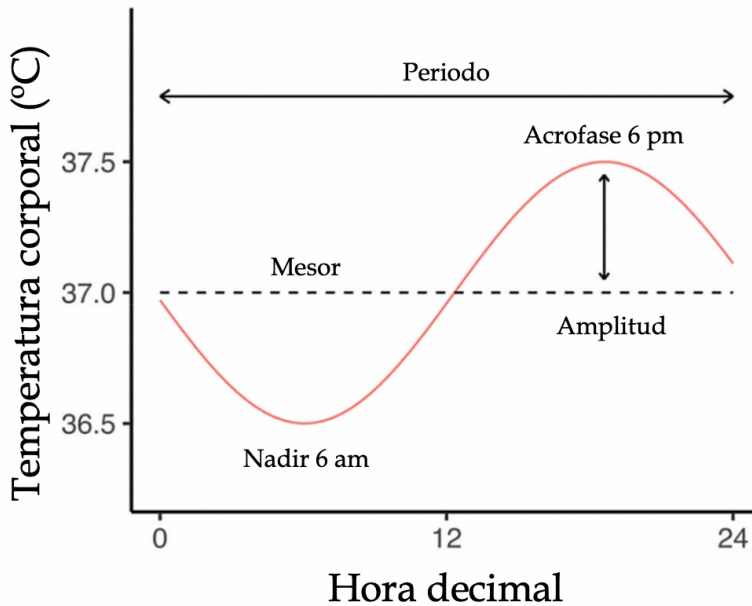
2020). De este modo, la preferencia por la mañana para realizar actividades y acostarse temprano se denomina cronotipo matutino o alondra, mientras que el cronotipo vespertino o lechuza ubica los momentos de mayor actividad en la tarde retrasado la hora de ir a dormir. Entre ambos, se puede localizar el cronotipo intermedio, siendo éste el predominante en la mayoría de la población adulta (Roden et al., 2017). El cronotipo individual se puede determinar fácilmente llevando a cabo test validados al respecto, siendo el cuestionario de HÖME uno de los más utilizados en el ámbito científico y clínico (Horne & Ostberg, 1976).

### **Estudio de los ritmos biológicos**

Se han descrito en la literatura científica numerosos factores que afectan el rendimiento deportivo. Estos incluyen procesos fisiológicos que presentan un ciclo aproximado de 24 horas, tales como la presión arterial, la temperatura corporal, la secreción hormonal, y el metabolismo energético (Ayala et al., 2021; Postolache et al., 2020). Interesantemente, se ha descrito que la presión arterial disminuye entre un 10%-20% durante la noche (favoreciendo la reducción del estrés cardiovascular), y aumenta en la hora de despertar debido a la mayor liberación de catecolaminas (e.g., norepinefrina) (Douma & Gumz, 2018; Sabzevari Rad et al., 2021). La temperatura corporal alcanza su pico diario al final de la tarde, mostrando su mínimo valor

durante la noche, entre las 4:00 y las 5:00 horas (Figura 1) (Postolache et al., 2020; Serin & Acar Tek, 2019).

Entre las hormonas que presentan un patrón circadiano se encuentra la melatonina, sintetizada y secretada por la glándula pineal y la retina, y el cortisol, liberado por la glándula suprarrenal. La melatonina juega un papel clave en el control de los ritmos de vigilia/sueño actuando como un mediador entre los estímulos luminosos externos y el hipotálamo. Por lo tanto, ésta se sintetiza en presencia de oscuridad, alcanzando su máxima liberación durante la noche, entre las 23:00 y las 5:00 horas, momento que coincide con una marcada disminución de la presión arterial y de la frecuencia cardiaca (Serin & Acar Tek, 2019). La exposición a la luz durante la noche (i.e., luz azul) y la práctica de actividad física intensa al final del día han sido destacadas actividades que provocan una drástica disminución de los niveles de esta hormona, produciendo en consecuencia, una difícil conciliación del sueño (Bellastella et al., 2019; Serin & Acar Tek, 2019).



**Figura 1.** Ritmos circadianos en la temperatura corporal (adaptado de (Kantermann et al., 2012))

Por otra parte, el cortisol (un glucocorticoide cuyos niveles en sangre aumentan durante la noche) alcanza su pico máximo en la primera parte de la mañana, momento en el que su concentración comienza a declinar registrándose su mínimo a finales de la tarde (Postolache et al., 2020). Cabe destacar que niveles más altos de cortisol circulantes en sangre están relacionados con un aumento de la presión arterial y la frecuencia cardiaca. Se entiende, por tanto, que el cortisol prepara al organismo para afrontar las actividades que se van a realizar durante el resto del día (Hower et al., 2018). El metabolismo energético y el control de la oxidación de sustratos (los cuales están fuertemente condicionados por la

ingesta de alimentos y la secreción de insulina) son controlados desde el NSQ, el cual ejerce una autorregulación de los llamados “relojes periféricos” (Postolache et al., 2020). Respecto al metabolismo lipídico, se han reportado los valores más altos de triglicéridos plasmáticos durante la noche en comparación con los observados en condiciones postprandiales durante el resto del día. Esto se explica por el aumento de los niveles de insulina por la mañana, una hormona que suprime la liberación de ácidos grasos del tejido adiposo (Aoyama & Shibata, 2020).

En relación al metabolismo de la glucosa, estudios previos han observado que la mejor tolerancia a ésta misma se produce durante la mañana (Bellastella et al., 2019; Kantermann et al., 2012; Postolache et al., 2020), ya que es el momento del día en que la insulina es más sensible, obteniéndose un aumento de la captación de glucosa para reducir la hiperglucemia postprandial. La síntesis de la insulina está controlada por las células  $\beta$  pancreáticas de los islotes de Langerhans, lugar donde el cortisol y la melatonina también actúan para modular su liberación (Postolache et al., 2020). Para asegurar una optimizada tolerancia a la glucosa, es recomendable mantener los ritmos circadianos bien sincronizados, realizar un seguimiento de los ciclos de sueño/vigilia, controlar los tiempos de ingesta/ayuno, y, adicionalmente, considerar el tipo de comidas que se ingiere con objeto de mantener una

correcta homeostasis de la glucosa y la secreción de insulina (Bellastella et al., 2019; Kantermann et al., 2012).

### **Sincronización de los ritmos circadianos**

Como se ha mencionado previamente, estos ciclos se regulan en base a numerosos factores endógenos y exógenos para su sincronización. La inclusión de conductas disruptoras de los mismos, tales como la presencia de luz mientras se duerme, la ingestión de comida por la noche, o la actividad física durante los momentos de descanso, producen desequilibrios de los ritmos circadianos y, por lo tanto, alteraciones en el rendimiento deportivo a través de la afectación del metabolismo energético y la secreción de hormonas (Postolache et al., 2020). La dieta tiene una fuerte influencia en los ritmos circadianos, siendo la primera comida después del ayuno diario más prolongado (e.g., el desayuno) el principal sincronizador (Ayala et al., 2021). Es en este momento del día en el cual el cuerpo humano precisa de mayores niveles de energía para afrontar el resto de actividades diarias, ya que la mayor actividad simpática del sistema nervioso a primera hora del día provoca un significativo incremento de diversas reacciones metabólicas (Ayala et al., 2021). Asimismo, se produce un aumento del vaciado gástrico, lo que conlleva una mayor absorción intestinal y un incremento de la tolerancia a la glucosa (Ruddick-Collins et al., 2018). Es, por tanto, altamente recomendable que los atletas vigilen el tipo de dieta

y la frecuencia (regularidad) de sus ingestas (Postolache et al., 2020). Los niveles circulantes de lípidos están también sujetos a un control circadiano a través de numerosos "relojes periféricos" (Ayala et al., 2021). Estudios recientes han postulado que los alimentos ricos en grasas se consideran potentes cronodisruptores ya que actúan modificando la expresión de los genes circadianos o "*genes reloj*", los cuales activan o inhiben otros factores dando lugar a cambios fisiológicos en las células durante periodos de 24 horas. (Ruddick-Collins et al., 2020). Por lo tanto, se ha sugerido que las dietas ricas en grasas provocan una desincronización circadiana con alteraciones metabólicas que son perjudiciales para la salud de los deportistas (Ruddick-Collins et al., 2020).

### **Importancia del momento del día en que se realiza ejercicio sobre el rendimiento deportivo**

Numerosos estudios han descrito que los deportistas profesionales y amateur muestran un mayor rendimiento deportivo cuando los entrenamientos se practican por la tarde (Ayala et al., 2021). Este aumento en el rendimiento es el resultado de la sincronización entre los ritmos fisiológicos, psicológicos y metabólicos (Postolache et al., 2020). Se ha sugerido que todos estos parámetros alcanzan su capacidad pico a primera hora de la tarde, en coordinación con procesos cardiovasculares que también muestran un patrón circadiano (Bellastella et al., 2019; Kantermann et al., 2012). En concreto,



se ha estimado que la temperatura corporal es 0,9°C más alta por la tarde en comparación a la mañana (Serin & Acar Tek, 2019), lo que favorece y optimiza el funcionamiento de los puentes cruzados musculares de actina-miosina (Sabzevari Rad et al., 2021; Teo et al., 2011).

Por tanto, entrenar o practicar actividad física por la tarde favorece una mejora de la contracción muscular aumentando de este modo la hipertrofia de este tejido, aunque el mecanismo fisiológico por el cual ésto sucede no está aun correctamente clarificado (Aoyama & Shibata, 2020). Algunos autores han sugerido que los niveles más altos de fuerza muscular durante la tarde se deben a un aumento en la liberación de calcio del retículo sarcoplásmico, lo cual produce un incremento de la unión de este ion a los puentes cruzados de actina-miosina y, consecuentemente, facilitando una mayor actividad de la enzima miosina ATPasa (Sabzevari Rad et al., 2021; Teo et al., 2011). Sin embargo, mientras que el rendimiento anaeróbico está bien caracterizado con mínimos niveles matutinos y picos vespertinos, existe más controversia en términos del rendimiento aeróbico, donde la situación es más confusa. Además, cabe destacar que la hora a la que se realiza el entrenamiento de forma regular modifica significativamente los picos de rendimiento: (i) mejorando dicho rendimiento cuando se realiza por la mañana o (ii) aumentando la amplitud de las variaciones (Chtourou & Souissi, 2012).

Existe contrastada evidencia científica que pone de manifiesto que el pico de temperatura corporal se produce durante la tarde (17:00–18:00 horas) (Aloui et al., 2017; Ammar et al., 2016; Chtourou & Souissi, 2012; Hammouda et al., 2013; Pullinger et al., 2018). Sin embargo, se ha demostrado que un aumento inducido exógenamente de la temperatura no conduce a un mayor rendimiento deportivo, lo cual podría explicarse porque dicho aumento debe producirse de forma endógena a partir de las señales enviadas por el NSQ (Pullinger et al., 2018).

De forma similar, se ha reportado una mayor frecuencia cardíaca y consumo de oxígeno en respuesta al ejercicio físico por la tarde (Aloui et al., 2017), lo cual podría estar a su vez influenciado por el estatus hormonal del deportista. Concretamente, se ha descubierto que los niveles de cortisol descienden significativamente en la tarde, al igual que los niveles de testosterona (Aloui et al., 2017; Burley et al., 2016). Este descenso en una hormona anabólica como la testosterona no parece concordar con la mayor hipertrofia muscular observada por la tarde (Küüsmaa et al., 2016). Este efecto podría verse explicado por otros factores anabólicos como el IGFBP-3 (del inglés, *insuline-like growth factor binding protein 3*) (Burley et al., 2016). Sin embargo, existen ciertas limitaciones en los estudios anteriormente mencionados: (i) inclusión de pequeños tamaños de muestra, (ii) estrechas franjas de edad de los participantes y (iii) ausencia de resultados en mujeres para

establecer potenciales diferencias entre sexos (Aloui et al., 2017; Ammar et al., 2016; Burley et al., 2016; Hammouda et al., 2013; K  usmaa et al., 2016; Pullinger et al., 2018).

Estudios previos han indicado que el entrenamiento de fuerza produce una respuesta fisiológica en términos de daño muscular a través de un incremento del estrés oxidativo como resultado del esfuerzo (Ammar et al., 2016). Los procesos de reestructuración y reparación muscular son más eficazmente mejorados durante la tarde (2:00-6:00 pm) debido a un incremento pico de los niveles de catalasa y de glutatión peroxidasa a esta hora del día (Ayala et al., 2021). En estudios que evalúan la fuerza explosiva y la resistencia aeróbica, se observa una mejora del rendimiento a lo largo del día, registrándose los niveles más altos de colesterol de lipoproteínas de alta densidad (colesterol HDL), triglicéridos y glucosa por la tarde (Ayala et al., 2021). Además, también se ha reportado que los niveles plasmáticos de creatina quinasa (un indicador del daño muscular) también alcanzan su pico máximo por la tarde (Hammouda et al., 2013).

Una importante cuestión que debe analizarse es si momento del día en el que se realiza el ejercicio físico influye de la misma forma en el rendimiento deportivo de disciplinas aeróbicas y anaeróbicas. Los resultados de las pruebas físicas aeróbicas muestran un robusto consenso mostrando que el pico de rendimiento se da durante la tarde (Aloui et al., 2017; Chtourou & Souissi, 2012; Lok et al., 2020). Sin embargo, en

términos de rendimiento anaeróbico, los hallazgos muestran ciertas controversias, ya que no siempre se observan diferencias significativas entre mañana y tarde (Chtourou & Souissi, 2012; Kunorozva et al., 2014). Varios estudios han mostrado mejores resultados (e.g., distancia recorrida, velocidad, potencia de salto o tiempo empleado en completar distancias dadas) durante las primeras horas de la tarde (Aloui et al., 2017; Chtourou & Souissi, 2012; López-Samanes et al., 2017). Estos hallazgos podrían explicarse debido a que el rendimiento deportivo en este tipo de pruebas es altamente dependiente de la potencia y la fuerza en los primeros instantes de las mismas ya que, por ejemplo, en series de saltos o sprints, los mejores resultados se obtienen en las primeras repeticiones en comparación con el resto de los intentos (Chtourou & Souissi, 2012).

Por último, factores psicológicos tales con la percepción subjetiva del esfuerzo y el perfil del estado de ánimo juegan un papel clave en el rendimiento deportivo (Ayala et al., 2021). Cabe destacar que, aunque estudios previos han reportado que la mayor percepción subjetiva del esfuerzo se produce durante la tarde a medida que avanza la hora del día (lo que podría implicar un menor rendimiento deportivo), se ha demostrado que el estado de ánimo es óptimo durante la tarde y que esta variable podría ser más determinante que la anterior en términos de rendimiento deportivo (Chtourou & Souissi, 2012; Kunorozva et al., 2014).

## **Cafeína y mejora del rendimiento neuromuscular**

La cafeína es una ayuda ergogénica muy popular (Grgic, 2021), empleada de forma habitual para mejorar el rendimiento en disciplinas relacionadas con la fuerza muscular (Grgic, Mikulic, et al., 2019). A continuación, se abordarán con detalle los mecanismos fisiológicos que explican los efectos ergogénicos de la cafeína sobre la fuerza muscular, la influencia aguda de la ingesta de la misma en el rendimiento neuromuscular y los efectos específicos de la cafeína en mujeres.

### **Mecanismos fisiológicos que explican los efectos ergogénicos de la cafeína sobre el rendimiento neuromuscular**

Numerosos estudios han reportado que la mejora del rendimiento deportivo tras la ingesta de cafeína se debe a sus efectos sobre los receptores de adenosina (i.e., a través de mecanismos centrales) ya que posee una estructura molecular similar a la misma retrasando la fatiga (Aguiar et al., 2020). Aun así, algunos autores han indicado que la cafeína también puede mejorar el rendimiento deportivo a través de efectos locales (i.e., efectos directos sobre el músculo esquelético) (Aguiar et al., 2020). Se ha sugerido que los efectos directos de la cafeína sobre la fuerza muscular son debidos a la unión de la cafeína en el receptor de rianodina 1 del músculo esquelético, lo que resulta en un aumento liberación de iones

de calcio del retículo sarcoplásmico (des Georges et al., 2016). Sin embargo, no se han llevado a cabo estudios en humanos y la evidencia anterior procede de estudios in vitro y modelos animales. Futuros estudios son, por tanto, necesarios para entender correctamente los mecanismos por los cuales la cafeína ejerce sus efectos ergogénicos en el rendimiento neuromuscular.

## **Influencia aguda de la ingesta cafeína en el rendimiento neuromuscular**

### Fuerza balística

El número de estudios que han investigado los efectos de la cafeína sobre la velocidad y la potencia se ha incrementado notoriamente en los últimos años (Grgic, 2021).

Algunos estudios tradicionales han postulado que se necesitan altas dosis de cafeína (i.e., 9 mg/kg) para mejorar la velocidad y la potencia cuando se usan cargas altas (Pallarés et al., 2013), mientras otros más recientes (Grgic, Pickering, et al., 2020) han demostrado que la ingesta de 3 mg/kg de cafeína es suficiente para mejorar la velocidad y la potencia utilizando cargas del 25%, 50%, 75% y 90% de 1 repetición máxima (1RM). Dichas mejoras en respuesta a la ingesta de cafeína sobre la velocidad y la potencia también se informaron en otros estudios que utilizaron cargas variables (e.g., 30%, 50%, 75%, 80% y 90% de 1RM) tanto en el press de banca como en la sentadilla (Venier et al., 2019a, 2019b; Wilk et al., 2020). Además, un reciente

metaanálisis (Raya-González et al., 2020) sugiere que la ingesta de cafeína tiene un efecto ergogénico significativo en la velocidad media y máxima utilizando cargas que oscilan entre el 20% y el 85% 1RM tanto en ejercicios de tren superior como de tren inferior con tamaños del efecto que variaron de moderados a grandes. En general, considerando la investigación actual, parece que la cafeína tiene un efecto ergogénico considerable sobre la velocidad y la potencia, observándose, en algunos casos, beneficios mayores que los obtenidos en términos de fuerza dinámica máxima y fuerza-resistencia muscular (Pallarés et al., 2013; Polito et al., 2019; Raya-González et al., 2020).

#### Fuerza dinámica máxima

Una revisión sistemática previa concluye que la ingesta de cafeína tiene un efecto ergogénico eficaz en la fuerza máxima medida a través del test 1RM (Grgic, Mikulic, et al., 2019). Concretamente, estudios publicados recientemente han reportado que la ingesta de cafeína mejora la 1RM del press de banca y la sentadilla aunque los tamaños del efecto fueron pequeños (Grgic, Sabol, et al., 2019). Es interesante destacar que este efecto se ha encontrado en individuos entrenados y no entrenados (Grgic, 2021) aunque, hasta donde alcanza nuestro conocimiento, no se ha publicado ningún estudio incluyendo ambos tipos de participantes comparándolos de forma directa. Futuros estudios son necesarios al respecto.

En esta línea, otros autores han sugerido que la cafeína también produce efectos ergogénicos en la fuerza isométrica e isocinética (Chen et al., 2019; Grgic & Pickering, 2019; Harty et al., 2020; Muñoz et al., 2020; Waller et al., 2020). Dado que la fuerza isométrica e isocinética suele ser utilizada como herramienta de evaluación, y con menos frecuencia como herramienta de entrenamiento (Wilson & Murphy, 1996), la ingesta de cafeína debería estar estandarizada o restringida antes de evaluar la fuerza isométrica o isocinética (Grgic, 2021).

#### Fuerza-resistencia

Numerosos estudios han explorado los efectos de la cafeína sobre la fuerza-resistencia concluyendo que dicha ayuda ergogénica es eficaz para mejorar esta manifestación de la fuerza (de Salles Painelli et al., 2021; Filip-Stachnik et al., 2021; Lopes-Silva et al., 2021; Pereira et al., 2021; Polito et al., 2019; Souza et al., 2019). Concretamente, se ha reportado que un aumento en el número de repeticiones por serie tras la ingesta de cafeína de entre una y cuatro repeticiones adicionales (Grgic, Sabol, et al., 2019; Lopes-Silva et al., 2021; Polito et al., 2019; Souza et al., 2019), tanto en series únicas como en series múltiples (Grgic, 2021; Grgic, Sabol, et al., 2019; Lopes-Silva et al., 2021; Polito et al., 2019). Curiosamente, los efectos ergogénicos de la cafeína sobre la fuerza-resistencia no parecen depender de la carga fijada, ya que se observaron mejoras significativas en estudios que utilizaron intensidades de entre



el 30% y el 85% de 1RM (Grgic, 2021; Grgic, Sabol, et al., 2019; Polito et al., 2019).

Un metaanálisis publicado recientemente (Ferreira et al., 2021) tuvo por objetivo dilucidar los efectos de la cafeína sobre la fuerza-resistencia en los patrones motores de press de banca y press de piernas. Mientras que, para el press de banca, este estudio informó de que la ingesta de cafeína mejoró el rendimiento en una repetición adicional, para el press de piernas, no se encontraron diferencias significativas entre la ingesta de cafeína y el placebo (Ferreira et al., 2021). Sin embargo, estos resultados deben interpretarse con cautela, ya que estos datos se analizaron a través de la diferencia de medias en lugar de la diferencia de medias estandarizada (Ferreira et al., 2021). Cabe destacar en este sentido que hubo una gran heterogeneidad en las cargas utilizadas para medir la fuerza-resistencia entre estudios (i.e., 30% to 80% 1RM (Ferreira et al., 2021), siendo mucho menos importante en la práctica conseguir una repetición adicional con intensidades bajas (i.e., 30% 1RM) vs. intensidades altas (i.e., 80% 1RM) (Grgic, 2021).

Se ha sugerido que no sólo debería evaluarse el número de repeticiones realizadas como medida de la fuerza-resistencia debiéndose cuantificar también el volumen de ejercicio a través del tiempo bajo tensión (i.e., suma del tiempo invertido en las fases concéntrica y excéntrica) (Filip-Stachnik et al., 2021). En resumen, la evidencia científica actual sugiere que la

ingesta de cafeína (3-9 mg/kg) es una ayuda ergogénica eficaz para mejorar la fuerza-resistencia y que estos efectos son consistentes cuando se ejecutan diversos patrones motores, se seleccionan varias cargas y se utilizan distintos protocolos de series (Grgic, 2021).

Por último, cabe mencionar que diversos investigadores han evaluado no sólo la cantidad de repeticiones realizadas como reflejo de la fuerza-resistencia sino también la calidad de las repeticiones (Grgic, 2021). Concretamente, Grgic et al. (Grgic, Sabol, et al., 2019) evaluaron la fuerza-resistencia en deportistas entrenados a través de la realización de repeticiones hasta el fallo muscular en el press de banca con una carga de 85% de 1RM tras la ingesta de cafeína o placebo colocando en la barra un encoder lineal para medir la velocidad y potencia de cada repetición. Además de observar una mejora de neta de 1 repetición tras la ingesta de cafeína vs. placebo, se observó que la ingesta de cafeína tuvo un efecto positivo sustancial en la calidad de las repeticiones obteniendo resultados de mayor potencia y velocidad media y máxima en la situación experimental (Grgic, Sabol, et al., 2019).

### **Efectos de la cafeína sobre la fuerza muscular en mujeres**

Una importante limitación en este área de conocimiento es que la mayoría de los estudios que han investigado los efectos de la cafeína en el rendimiento neuromuscular han sido llevados a cabo en participantes de sexo masculino (Grgic, Grgic, et al.,

2020). Concretamente, un estudio reciente ha puesto de manifiesto que analizando datos de 362 estudios originales sobre cafeína y ejercicio físico, tan sólo el 13% de los participantes incluidos fueron mujeres (Salinero et al., 2019). De hecho, son numerosos los trabajos científicos que han reconocido esta limitación y han analizado de forma directa los efectos de la cafeína sobre la fuerza muscular en mujeres (Filip-Stachnik et al., 2021; Harty et al., 2020; M. T. Lane et al., 2019; Norum et al., 2020; Pereira et al., 2021; Romero-Moraleda et al., 2019; Salinero et al., 2019; Waer et al., 2021; Waller et al., 2020). Norum et al. observaron que, en 15 mujeres entrenadas en disciplinas de fuerza, la ingesta de cafeína (4 mg/kg) aumentó la 1RM y la fuerza-resistencia en el press de banca y la sentadilla (Norum et al., 2020). Si bien parece estar claro que la ingesta de cafeína mejora el rendimiento neuromuscular en mujeres, aún no se ha demostrado si existe una respuesta específica del sexo a sus efectos ergogénicos. Varios estudios han comparado directamente los efectos de la cafeína sobre la fuerza dinámica máxima y la fuerza-resistencia entre hombres y mujeres reportando respuestas similares entre sexos (Chen et al., 2019; M. T. Lane et al., 2019). Concretamente, Lane et al. pusieron de manifiesto que, en diez atletas de élite universitarios de sexo masculino y femenino, se observó una mejora de la fuerza dinámica máxima y la fuerza-resistencia muscular tras la ingesta de cafeína (i.e., 3 mg/kg) que osciló entre 5% y el 15 no difiriendo dicha respuesta entre sexos (M.

T. Lane et al., 2019). Por otro lado, Harty et al. también evaluaron los efectos de la cafeína sobre el rendimiento neuromuscular en hombres y mujeres obteniendo una mejora significativa en ambos sexos (Harty et al., 2020). Sin embargo, cabe destacar que los hombres respondieron de manera más consistente a la cafeína en comparación con las mujeres (Harty et al., 2020).

Los hallazgos obtenidos en estudios anteriores parecen indicar que las fases del ciclo menstrual deben ser un aspecto metodológico a considerar cuando se realizan estudios en mujeres (J. Lane et al., 1992). A pesar de que varios estudios no estandarizaron el ciclo menstrual, todos ellos informaron de un efecto ergogénico de la cafeína en mujeres (Filip-Stachnik et al., 2021; Harty et al., 2020; Waller et al., 2020). No obstante, existen motivos por los que cabría esperar que el metabolismo de la cafeína pudiera variar según la fase del ciclo menstrual en la que una mujer se encuentra, lo que posiblemente afectaría a los efectos ergogénicos de la cafeína sobre la fuerza muscular (J. Lane et al., 1992). Con respecto al rendimiento neuromuscular, Romero-Moraleda et al. evaluaron la velocidad media y máxima al 20%, 40%, 60% y 80% de 1RM en la sentadilla tras la ingesta de cafeína o placebo en las fases folicular temprana, folicular tardía y lútea media del ciclo menstrual obteniendo que la cafeína mejoró la velocidad media al 60% de 1RM en las fases folicular temprana y folicular tardía, mientras que no se reportaron resultados concluyentes

en respuesta a otras intensidades (Romero-Moraleda et al., 2019). Dicho efecto podría deberse a que las participantes incluidas fueron atletas de triatlón y tenían una experiencia limitada con el entrenamiento de fuerza basado en la velocidad. Norum et al. llevaron a cabo un estudio en mujeres durante la fase folicular temprana observando que la ingesta de cafeína (4 mg/kg) tuvo un efecto ergogénico significativo en la fuerza dinámica máxima y fuerza-resistencia (Norum et al., 2020). En resumen, hallazgos recientes sugieren que la ingesta de cafeína es ergogénica para el rendimiento neuromuscular en mujeres, siendo la magnitud de estos efectos similar a la observada en los hombres (Grgic, 2021). Dichos efectos ergogénicos de la cafeína no parecen estar determinados por las fases del ciclo menstrual, aunque este tema requiere más investigación (Grgic, 2021).

### **¿Atenúa la ingesta de cafeína la variación diurna observada en el rendimiento neuromuscular en mujeres?**

El rendimiento neuromuscular y, específicamente, la capacidad de generar fuerza y potencia durante las habilidades motoras complejas (e.g., lanzar, levantar una carga, saltar o correr) es de suma importancia para alcanzar un rendimiento deportivo exitoso (Cormie et al., 2011; Suchomel et al., 2016). Tal y como se ha evidenciado previamente, se sabe que el rendimiento neuromuscular se ve reducido por la mañana en comparación con la tarde y la noche,

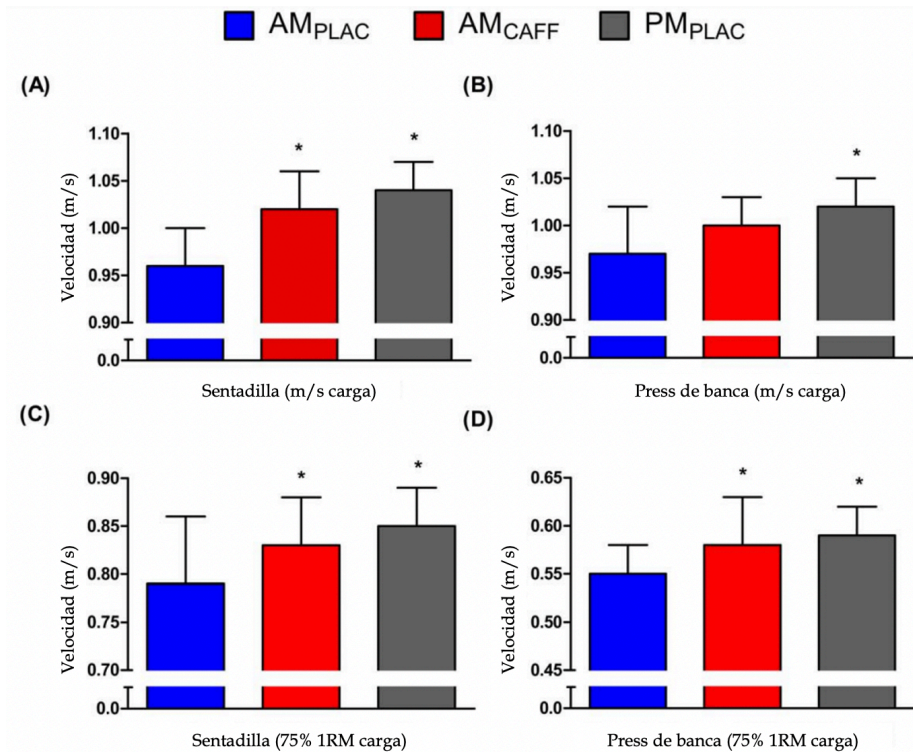
independientemente del status de entrenamiento y/o condición física de un deportista (Sedliak et al., 2008; Souissi et al., 2010), especialmente en eventos deportivos de corta duración que implican tareas motoras complejas (Atkinson & Reilly, 1996; Jasper et al., 2009). Estas variaciones diurnas en el rendimiento neuromuscular se han atribuido a varios factores fisiológicos, tales como la temperatura corporal, el estado hormonal, la capacidad de amortiguación del pH muscular, el metabolismo de los fosfágenos o la optimización de los puentes cruzados de actina-miosina (Atkinson & Reilly, 1996; Hayes et al., 2010). Sin embargo, la mayoría de los estudios previos han descrito como varía el rendimiento neuromuscular a lo largo del día sin manipular de forma exógena factores condicionantes tales como el uso de ayudas ergogénicas (Robles-González et al., 2022).

La eliminación de la cafeína de la lista de sustancias prohibidas de la Agencia Mundial Antidopaje en 2004 ha propiciado un aumento progresivo de su uso como ayuda ergogénica con el objetivo de mejorar el rendimiento deportivo de los atletas que llevan a cabo entrenamiento de fuerza muscular (Grgic, 2021; Grgic, Mikulic, et al., 2019). Concretamente, la cafeína es un inhibidor del receptor de la adenosina con capacidad para contrarrestar la fatiga del sistema nervioso central (Davis & Green, 2009; Warren et al., 2010) actuando como un inhibidor de la fosfodiesterasa y, por tanto, aumentando la movilización de calcio desde el retículo sarcoplásmico (Davis & Green, 2009;

Warren et al., 2010). Además, estos efectos ergogénicos también podrían explicarse por sus efectos derivados de la manipulación y activación cortical (Franco-Alvarenga et al., 2019). Dado que el desarrollo de la fuerza y la potencia están influenciados por factores neurales y musculares que se conectan en la unión neuromuscular (Cormie et al., 2011), estudios previos han evidenciado una mejora en el rendimiento del sprint (Astorino & Roberson, 2010; Schneiker et al., 2006) y una mejor respuesta a la fatiga producida durante la realización de ejercicios de fuerza-resistencia tras la ingesta de una dosis aguda de cafeína (Astorino et al., 2011).

Se ha sugerido que la ingesta de cafeína (i.e., 3-9 mg/kg) podría ser una ayuda ergogénica eficaz para contrarrestar la variación diurna observada en el rendimiento neuromuscular (Boyett et al., 2016; Cruz et al., 2015). Mora et al. concluyeron que la ingesta de una dosis aguda de cafeína (i.e., 3 mg/kg) puede atenuar la disminución de la variación diurna observada en la mañana de la potencia neuromuscular y la fuerza dinámica máxima en atletas masculinos (Mora-Rodríguez et al., 2012) (Figura 2). Sin embargo, este estudio se realizó únicamente en hombres entrenados en disciplinas de fuerza y, por lo tanto, aún se desconoce si estos hallazgos pueden aplicarse en atletas femeninas. Dado el creciente interés en comprender la fisiología y el rendimiento deportivo de las mujeres durante las últimas décadas y la escasez de estudios bien diseñados que aborden esta pregunta de

investigación, es de interés científico y práctico saber si el uso de la cafeína puede revertir la variación diurna observada durante la mañana en el rendimiento neuromuscular en atletas femeninas (Robles-González et al., 2022).



**Figura 2.** Efectos del patrón de ritmo circadiano y la ingesta de cafeína sobre los valores dinámicos e isométricos de fuerza máxima y potencia muscular de tren superior e inferior. A) y B) Velocidad para potencia máxima y; C) y D) Velocidad para cargas correspondientes al 75% 1RM en la sentadilla y el press de banca. Los test se realizaron por la mañana (10:00 am) sin (AM<sub>PLAC</sub>) o con ingesta de cafeína (i.e., 3 mg/kg; AM<sub>CAF</sub>) y por la tarde (18:00 pm; PM<sub>PLAC</sub>). \*Diferencias significativas respecto a los valores de AM<sub>PLAC</sub>. p#<0.05. (adaptado de (Mora-Rodríguez et al., 2012))



---

# OBJETIVOS E HIPÓTESIS

---



## **Objetivo general**

El principal objetivo de la presente Tesis Doctoral es investigar el efecto de la ingesta aguda de cafeína en la variación diurna del rendimiento neuromuscular en mujeres jóvenes entrenadas.

## **Objetivos específicos**

1. Estudiar si existe variación diurna del rendimiento neuromuscular en mujeres jóvenes entrenadas.
2. Determinar si la ingesta de cafeína mejora el rendimiento neuromuscular durante la mañana y durante la tarde de forma independiente.
3. Investigar si la ingesta de cafeína durante la mañana iguala el rendimiento neuromuscular obtenido durante la tarde sin previa toma de la misma.

## **Hipótesis**

Las hipótesis de la Tesis Doctoral son:

1. El rendimiento neuromuscular es superior durante la tarde en comparación con la mañana en mujeres jóvenes entrenadas.
2. La ingesta de cafeína mejora el rendimiento neuromuscular en mujeres jóvenes entrenadas independientemente de la hora del día a la que se realice el ejercicio.
3. La toma de 3 mg/kg de cafeína promoverá un rendimiento neuromuscular similar en la mañana en comparación con la tarde sin la ingesta de cafeína.

---

# MATERIAL Y MÉTODOS

---



## **Participantes**

En el presente estudio participaron quince mujeres jóvenes entrenadas (de  $25,1 \pm 4,3$  años de edad). Los criterios de inclusión fueron los siguientes: (i) tener un índice de masa corporal de 18,5 a 30 kg/m<sup>2</sup>, (ii) no sufrir en la actualidad ninguna enfermedad aguda o crónica que pudiera verse potencialmente agravada por realizar ejercicios de fuerza, (iii) no consumir drogas o suplementos durante, al menos, 4 semanas antes del inicio del estudio, (iv) no estar embarazada, (v) tener experiencia previa en entrenamiento de fuerza (i.e., al menos 1 año entrenando con una frecuencia de dos o más sesiones por semana), (vi) no tener lesiones musculoesqueléticas durante las 4 semanas previas al inicio del estudio, y (v) tener una ingesta habitual de cafeína (> 2 mg/kg de masa corporal/día). Se registró la duración media del ciclo menstrual de cada participante (días) durante los últimos 3 meses con objeto de hacer coincidir las evaluaciones del rendimiento neuromuscular en la fase lútea del mismo. Se pidió a las participantes que dieran y firmaran el consentimiento informado oral y escrito, respectivamente. Los procedimientos del estudio cumplieron con la última Declaración de Helsinki (2013). El proyecto fue aprobado por el Comité de Ética de Investigación de la Universidad de Granada (Nº 2122/CEIH/2021).

## **Diseño experimental**

El presente diseño experimental cruzado, triple ciego, controlado con placebo, incluyó una evaluación del rendimiento neuromuscular en cuatro momentos temporales separados por 48-72 h (Figura 3). El diseño triple ciego se implementó de la siguiente manera: (i) un tercer investigador independiente (i.e., ajeno al estudio) preparó dos recipientes idénticos con cafeína y placebo, respectivamente, impidiendo la identificación de la sustancia por parte de los participantes o investigadores (los recipientes se codificaron como “condición 1” o “condición 2”); (ii) ninguno de los miembros del personal de investigación involucrado en los procedimientos experimentales supo si el recipiente 1 o 2 correspondía a cafeína o placebo, ni tampoco las participantes; (iii) durante los análisis estadísticos, ninguno de los miembros del equipo de investigación sabía el contenido de los recipientes 1 y 2, excepto un investigador que no participó en los mismos, por lo que el análisis de datos realizado fue ‘ciego’); (iv) una vez se llevaron a cabo todos los análisis estadísticos por parte de la doctoranda y sus directores, se reveló el contenido de los recipientes 1 y 2.

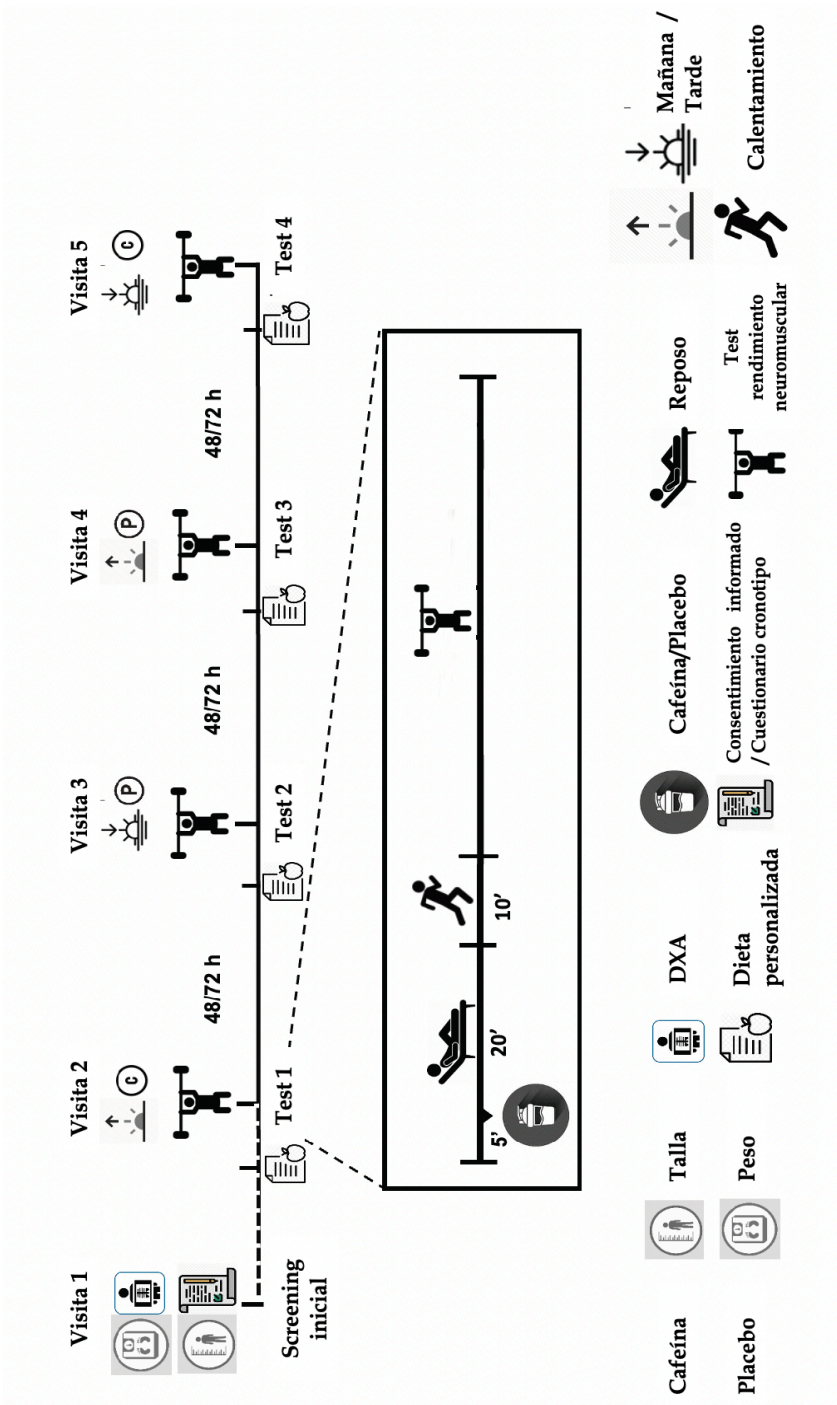
## **Ingesta de cafeína**

Los participantes consumieron 3 mg/kg de cafeína en polvo (Harrison Sport Nutrition (HSN) Store®, Granada, España) (Maughan et al., 2018) o un placebo compuesto de celulosa



microcristalina 100 % pura (Acofarma®, Madrid, España) 30 minutos antes de la evaluación del rendimiento neuromuscular. Cabe destacar que ambas sustancias eran inodoras, insípidas e incoloras. Esta dosis se seleccionó en base a un recientemente publicado documento de consenso (Maughan et al., 2018). Ambas sustancias (i.e., cafeína y placebo) se disolvieron en 300 ml de agua y posteriormente se ofrecieron a los participantes en un recipiente opaco e indistinguible.

El presente proyecto se llevó a cabo entre marzo y junio de 2021. Las mediciones se realizaron entre las 9 y las 11h a.m. (determinando la altura salto con contramovimiento-mañana, velocidad máxima del press de banca lanzado (VmPBL)-mañana, 1RM sentadilla-mañana, 1RM press de banca-mañana, velocidad promedio de la serie durante la sentadilla-mañana y número de repeticiones al fallo en press de banca-mañana), y entre las 5 y las 7h p.m. (determinando la altura de salto con contramovimiento-tarde, VmPBL-tarde, 1RM sentadilla-tarde, 1RM press de banca-tarde, velocidad promedio de la serie durante la sentadilla-tarde y número de repeticiones al fallo en press de banca-tarde). Aleatorizamos, con una función de MS Excel para Windows®, el orden en (i) la administración de cafeína o placebo, y (ii) la hora del día en que se realizó la prueba de rendimiento neuromuscular. En la Figura 3 se ilustran los procedimientos del estudio.



**Figura 3.** Procedimientos de estudio. Abreviaturas: DXA; Prueba de absorciometría de energía dual de rayos X.

## **Procedimientos del estudio**

Antes del primer test de rendimiento neuromuscular (Día 0), se evaluó la el peso corporal y la altura de los participantes utilizando una báscula y un estadiómetro validados (Seca-977, Hamburgo, Alemania) descalzos y con ropa ligera. Posteriormente, se calculó el índice de masa corporal (i.e., peso corporal dividido por la altura<sup>2</sup>). El peso corporal de los participantes obtenido de esta evaluación se utilizó para determinar la dosis de cafeína/placebo durante todo el experimento. La composición corporal se midió mediante absorciometría dual de rayos X (Hologic Discovery Wii, Bedford, MA, EE. UU.) obteniendo masa magra y grasa (kg). Los participantes cumplimentaron el cuestionario de HÖME para definir su cronotipo clasificándolos como cronotipo matutino definitivo (rango de puntuación 70-86), cronotipo matutino moderado (rango de puntuación 59-69), ningún cronotipo (rango de puntuación 42-58), cronotipo vespertino moderado (rango de puntuación 31-41) y cronotipo vespertino definido (rango de puntuación 16-30) (Horne & Ostberg, 1976). Además, se proporcionó a los participantes las siguientes instrucciones: (i) abstenerse de realizar actividad física de intensidad moderada o vigorosa 48 h antes de los días de prueba, (ii) seguir una dieta isocalórica personalizada y estandarizada (i.e., 50% de carbohidratos, 30% de grasas y 20% de proteínas) durante las 24 h previas a los días de prueba manteniendo el mismo orden de comidas, y (iii) ayunar

durante las 3 h previas al comienzo de las sesiones experimentales. El personal de investigación verificó el cumplimiento de las instrucciones mencionadas anteriormente mediante registros dietéticos y de actividad física auto-informados.

Durante los cuatro días de prueba, los participantes ingirieron una dosis personalizada de cafeína (i.e., 3 mg/kg) o placebo 30 minutos antes del comienzo de las sesiones de prueba. Todas las sesiones comenzaron con un calentamiento estandarizado (Janicijevic et al., 2021) estructurado del siguiente modo: (i) 5 minutos de trote a un ritmo autoseleccionado (i.e., intensidad baja-moderada), (ii) estiramientos dinámico, (iii) 10 sentadillas libres y (iv) 10 flexiones de brazos. Posteriormente, se evaluó el rendimiento neuromuscular de tren inferior y superior, incluido el rendimiento balístico (altura de salto con contramovimiento y  $V_{mPBL}$ ), la fuerza dinámica máxima (1RM sentadilla y press de banca), y el rendimiento en fuerza-resistencia (velocidad promedio de la serie durante la sentadilla y número de repeticiones al fallo en press de banca) siguiendo un orden secuencial en todos los casos.

#### Rendimiento balístico

El rendimiento balístico de tren inferior se determinó mediante un protocolo estandarizado para evaluar la altura del salto con contramovimiento (Pueo et al., 2020). En resumen, los participantes realizaron un contramovimiento hasta una profundidad seleccionada por ellos mismos con las manos en

las caderas y, a partir de entonces, se les indicó que saltaran lo más alto posible y que aterrizaran en extensión completa de las articulaciones de las caderas, las rodillas y los tobillos. Después de 3 saltos con contramovimiento submáximo (i.e., calentamiento específico), se registraron 5 saltos con contramovimiento máximos (1 minuto de descanso entre intentos) con un dispositivo previamente validado (Chronojump-Boscosystem, Barcelona, España) (Pueo et al., 2020). El valor promedio de los mejores 4 saltos con contramovimiento se utilizó para los análisis estadísticos. El personal de investigación proporcionó feedback sobre el rendimiento del salto con contramovimiento a los participantes inmediatamente después de cada intento.

El rendimiento balístico de tren superior se determinó a través de la VmPBL utilizando una barra descargada (17 kg) implementada en una máquina Smith (Ffittech, Taiwán, China). La VmPBL se registró mediante un encoder de velocidad lineal (T-Force System, Ergotech, Murcia, España) que se colocó verticalmente en la barra. Después de 3 press de banca lanzados submáximos (i.e., calentamiento específico), se instruyó a los participantes a que realizaran 5 press de banca lanzados máximos separados por 1 minuto de descanso. El valor promedio de la velocidad máxima de los 4 mejores press de banca lanzados se utilizó para los análisis estadísticos. El personal de investigación proporcionó feedback sobre el

rendimiento de la VmPBL a los participantes inmediatamente después de cada intento.

### Fuerza dinámica máxima

La fuerza dinámica máxima de tren inferior y superior se evaluó considerando los ejercicios de sentadilla y press de banca, respectivamente. El 1RM correspondiente (i.e., fuerza dinámica máxima) se estimó a partir de la relación carga-velocidad individualizada a través de una prueba de carga incremental realizada en una máquina Smith (FFittech, Taiwán, China). La carga inicial se fijó en 20 kg y se fue incrementando progresivamente aplicando incrementos de 20 a 5 kg hasta que la velocidad media de la barra fue inferior a 0,60 m/s en el ejercicio de sentadilla y 0,50 m/s en el ejercicio de press de banca. Las participantes realizaron dos repeticiones cuando la velocidad media de la barra estaba por encima de 1 m/s, y solo 1 repetición cuando la velocidad media estaba por debajo de 1 m/s. El descanso entre los intentos con diferentes cargas se fijó en 3 minutos. Se instruyó a las participantes a que levantaran la barra lo más rápido posible y se registró la velocidad media con un encoder de velocidad lineal (T-Force System, Ergotech, Murcia, España). La velocidad media registrada en todas las cargas levantadas durante la prueba de carga incremental se usó para estimar la 1RM a partir de las relaciones carga-velocidad individualizadas a través de un modelo de regresión lineal considerando dicha 1RM como la carga asociada con una

velocidad media de 0,30 m/s en sentadilla y 0,17 m/s en press de banca (Banyard et al., 2017; García-Ramos et al., 2018).

### Rendimiento en fuerza-resistencia

El rendimiento en fuerza-resistencia en tren inferior y superior se determinó mediante la velocidad media promedio de una serie de 8 repeticiones realizadas al 70 % de la 1RM en el ejercicio de sentadilla (i.e., utilizando un encoder de velocidad lineal [T-Force System, Ergotech, Murcia, España]) y a través del número de repeticiones realizadas hasta el fallo al 70% de la 1RM estimada en press de banca. La carga del 70 % de 1RM se basó en la 1RM estimada en la primera sesión llevada a cabo por la participante, utilizándose las mismas cargas absolutas en las sesiones posteriores. Se fijó un descanso de 10 minutos entre pruebas. Se pidió a las participantes que realizaran todas las repeticiones lo más rápido posible. Cabe destacar que las repeticiones hasta el fallo no se usaron como un indicador del rendimiento en fuerza-resistencia en la sentadilla porque las participantes no estaban familiarizadas con las repeticiones hasta el fallo en dicho patrón de movimiento.

### **Análisis estadístico**

Los cálculos de tamaño de muestra y potencia estadística se determinaron en base a los resultados de un estudio previo (Mora-Rodríguez et al., 2012). Se estimó que se necesitarían un total de 12 participantes para determinar diferencias estadísticas entre condiciones (placebo vs. cafeína o mañana

vs. tarde) en salto con contramovimiento y VmPBL (~5%) (80% de potencia estadística;  $\alpha=0.05$ ). Considerando que nos encontramos ante un estudio con diseño cruzado (i.e., cada participante actúa como su propio control), el mínimo de participantes requerido fue  $n = 12$ . Suponiendo un drop-out máximo del 25 %, decidimos reclutar a 15 participantes.

Los análisis estadísticos se realizaron utilizando el paquete estadístico SPSS v.22.0 (IBM Corporation, Pittsburgh, PA, EE. UU.). La normalidad de todos los resultados fue verificada mediante histogramas, gráficos Q-Q y prueba de Shapiro-Wilk. Dado que todas las variables objeto de estudio presentaron una distribución normal, aplicamos pruebas paramétricas para determinar las diferencias entre las condiciones experimentales. Se utilizó un análisis de la varianza (ANOVA) de medidas repetidas de dos vías (hora del día x sustancia) para comparar los valores en términos de rendimiento balístico (i.e., salto con contramovimiento y VmPBL), la fuerza dinámica máxima (i.e., 1RM en sentadilla y press de banca) y rendimiento en fuerza-resistencia (i.e., velocidad promedio de 8 repeticiones en sentadilla al 70% de 1RM y el número de repeticiones hasta el fallo al 70% de 1RM en press de banca). Los análisis post hoc de Bonferroni se implementaron cuando se obtuvo un valor de F significativo para establecer diferencias por pares. Se realizaron análisis posteriores controlando por edad, cronotipo, composición corporal (i.e., masa magra y masa grasa), ingesta diaria de



cafeína y frecuencia habitual de entrenamiento. El nivel de significación estadística se estableció en  $P < 0,05$ . Los gráficos se construyeron utilizando el programa GraphPad Prism 5 (GraphPad Software, San Diego, CA, EE. UU.).



---

# RESULTADOS

---



Las características descriptivas de las participantes del estudio se presentan en la Tabla 1. El cronotipo fue predominantemente indefinido (i.e., n = 11 ningún cronotipo). De las quince participantes del estudio, seis (40 %) identificaron correctamente el placebo y la cafeína en la condición de la mañana, mientras que 8 (53,3 %) identificaron correctamente el placebo y la cafeína en la condición de la tarde.

**Tabla 1.** Características de las participantes (n=15).

Edad (años)	25,1 ± 4,3
Peso corporal (kg)	62,8 ± 9,5
Altura (m)	165,0 ± 6,3
Índice de masa corporal (kg/m <sup>2</sup> )	23,0 ± 2,9
Masa grasa (%)	29,9 ± 11,5
Masa magra (kg)	41,4 ± 5,0
Ingesta diaria de cafeína (mg)	121,4 ± 82,5
Horario de entrenamiento habitual	
Mañanas	5 [33,3]
Tardes	6 [40,0]
Ambos (i.e., mañanas y tardes)	4 [26,7]
Puntuación en cuestionario HÖME	
Tipo vespertino definitivo (n [%])	1 [6,7]
Tipo vespertino moderado (n [%])	1 [6,7]
Ningún tipo (n [%])	11 [73,3]
Tipo matutino definitivo (n [%])	2 [13,3]
Tipo matutino moderado (n [%])	0 [0,0]

Valores expresados como medias ± desviación estándar a menos que se indique lo contrario.

No se observó una interacción significativa (hora del día x sustancia) ni en la altura de salto con contramovimiento ni en VmPBL (todas  $P > 0,38$ ; Figura 4A y 4B, y Figura 5A y 5B, respectivamente). Observamos un efecto significativo de la hora del día en la altura de salto con contramovimiento y VmPBL (todas  $P < 0,02$ ), con estos valores siempre más altos (i.e., del 2,2 al 3,7 % para la altura del salto con contramovimiento y del 1,7 al 2,4 % para VmPBL) en la tarde que en la mañana. En comparación con el placebo, la ingesta de cafeína aumentó la altura del salto con contramovimiento en un 3,1 % por la mañana ( $26,8 \pm 4,7$  vs.  $27,6 \pm 5,1$  cm, respectivamente) y en un 1,6 % por la tarde ( $27,7 \pm 4,8$  vs.  $28,2 \pm 5,6$  cm, respectivamente) ( $P = 0,035$ ; Figura 4A y 4B), mientras que no se observaron cambios significativos en VmPBL en respuesta a la ingesta de cafeína en comparación con el placebo ni por la mañana ( $1,67 \pm 0,34$  vs.  $1,65 \pm 0,34$  m/s, respectivamente) ni por la tarde ( $1,70 \pm 0,37$  vs.  $1,69 \pm 0,36$  m/s, respectivamente) ( $P = 0,381$ ; Figura 5A y 5B).

No hubo una interacción significativa (hora del día x sustancia) ni en la 1RM de sentadilla ni en la 1RM de press de banca (todas  $P > 0,65$  Figuras 4C y 4D, y Figuras 5C y 5D, respectivamente). No se observó un efecto significativo de la hora del día en la 1RM de sentadilla ni en la 1RM de press de banca (todas  $P > 0,66$ ). De manera similar, la ingesta de cafeína no produjo cambios significativos en la 1RM de sentadillas ni en la 1RM de press de banca en comparación con el placebo ni

en la mañana ( $72.0 \pm 10.6$  vs.  $71.2 \pm 13.6$  kg para 1RM de sentadillas, y  $43.6 \pm 10.6$  vs.  $43.1 \pm 9.6$  kg para 1RM de press de banca, respectivamente), ni durante la tarde ( $71,2 \pm 12,1$  vs.  $71,1 \pm 12,6$  kg para 1RM de sentadilla, y  $43,6 \pm 9,9$  vs.  $43,4 \pm 10,0$  kg para 1RM de press de banca, respectivamente) (todas  $P=0,48$ ; Figura 4C y 4D, y Figura 5C y 5D, respectivamente).

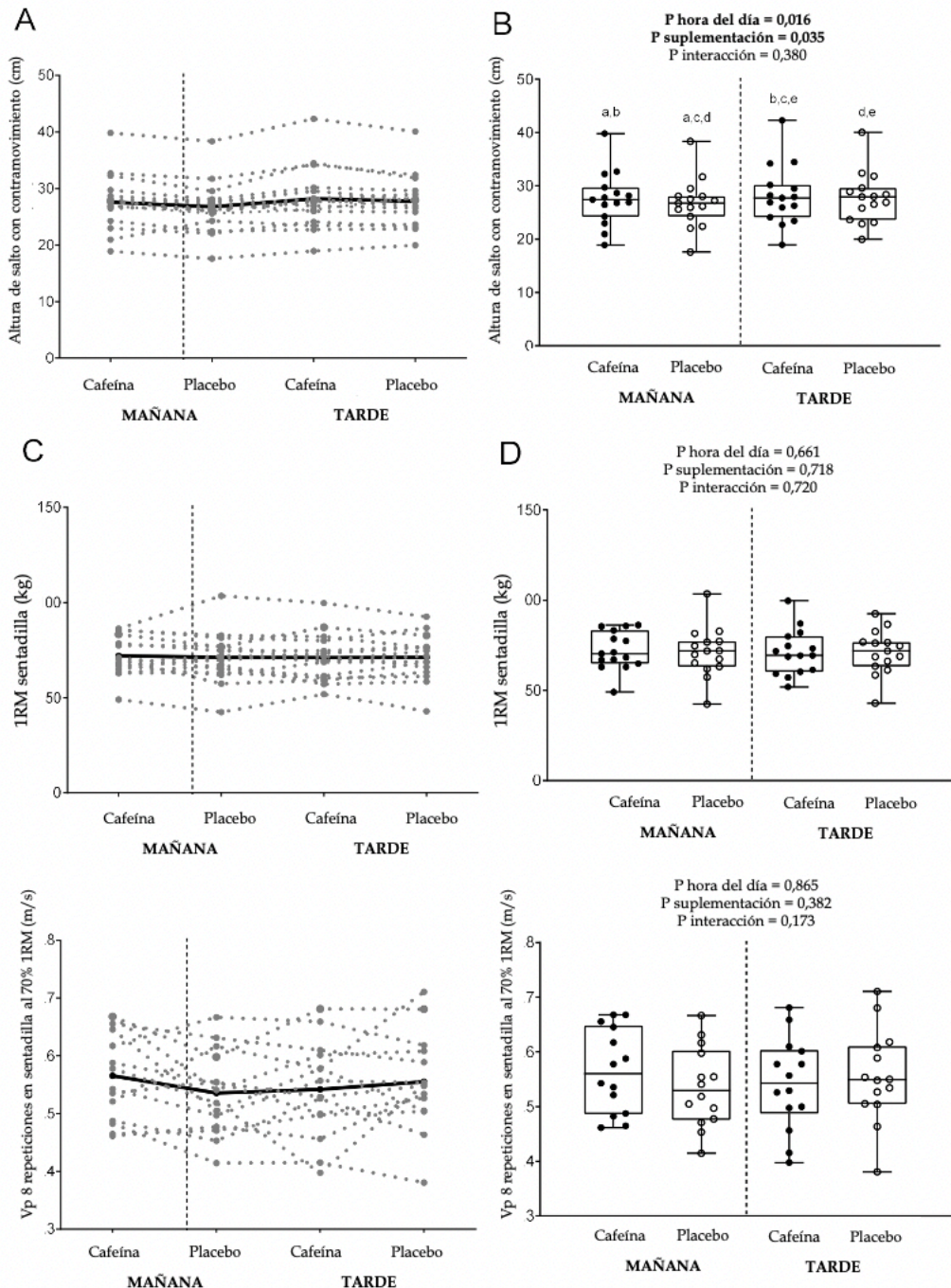
No se observó una interacción significativa (hora del día x sustancia) ni en la velocidad promedio de la serie, ni en el número de repeticiones hasta el fallo al 70 % de 1RM en sentadilla y press de banca, respectivamente (todas  $P > 0.17$ ; Figura 4E y 4F, y Figura 5E y 5F, respectivamente). No se detectó un efecto significativo de la hora del día ni en la velocidad promedio de 8 repeticiones en la sentadilla al 70% de 1RM, ni en el número de repeticiones al fallo en press de banca al 70% de 1RM (ambas  $P > 0.37$ ).

En comparación con el placebo, la ingesta de cafeína no alteró significativamente la velocidad promedio de 8 repeticiones en la sentadilla (70% de una 1RM) ni el número de repeticiones al fallo en press de banca (70% de una 1RM) ni en la mañana ( $0.53 \pm 0.07$  vs.  $0.57 \pm 0.08$  m/s para el promedio velocidad de la serie en sentadilla y  $16,0 \pm 4,7$  vs  $16,1 \pm 4,3$  repeticiones para el número de repeticiones hasta el fallo en press de banca, respectivamente), ni por la tarde ( $0,55 \pm 0,08$  vs  $0,54 \pm 0,08$  m/s para la velocidad promedio de la serie en sentadilla y  $16.6 \pm 5.1$  vs.  $16.7 \pm 4.0$  repeticiones para el número de repeticiones al fallo

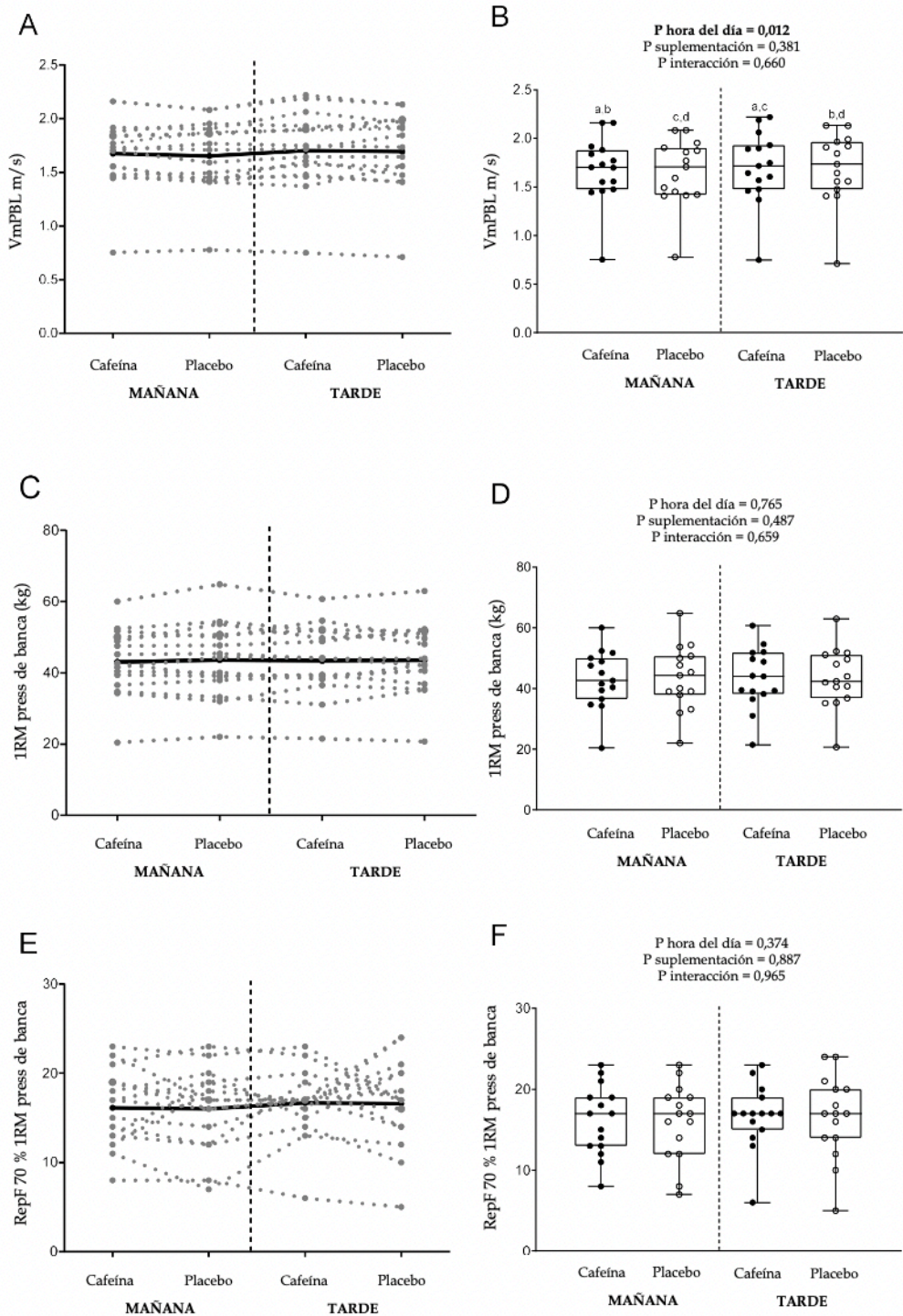
en press de banca, respectivamente) (todas  $P > 0.38$ ; Figura 4E y 4F, y Figura 5E y 5F, respectivamente).

Los valores absolutos y el tamaño del efecto de cada variable en cada condición pueden encontrarse en la Tabla 2. Los resultados persistieron tras controlar el análisis por edad, cronotipo, masa magra, masa grasa, ingesta diaria de cafeína y frecuencia de entrenamiento habitual en todos los casos (datos no mostrados).





**Figura 4.** Rendimiento balístico del tren inferior (i.e., altura del salto con contramovimiento), fuerza dinámica máxima (i.e., test de 1 repetición máxima [1RM] en sentadilla) y rendimiento en fuerza-resistencia (i.e., Velocidad promedio (Vp) 8 repeticiones en sentadilla al 70% 1RM por la mañana y por la tarde después de la ingesta de cafeína o placebo. Panel A: observaciones individuales para cada sujeto (líneas grises) y la media para todos los sujetos (línea negra). Panel B: observaciones individuales para cada sujeto (puntos negros), desviación estándar y valores mínimos/máximos (diagramas de caja y bigotes), y el valor de P obtenido a partir del análisis de la varianza de dos vías (ANOVA). Letras similares (i.e., a-a; b-b, etc.) indican diferencias post hoc significativas tras la comparación entre condiciones.



**Figura 5.** Rendimiento balístico del tren superior (i.e., velocidad máxima del press de banca lanzado [VmPBL]), fuerza dinámica máxima (i.e., test de 1 repetición máxima [1RM] en press banca) y rendimiento en fuerza-resistencia (i.e., repeticiones hasta el fallo al 70% 1RM [RtF-70 % 1RM] en press de banca) por la mañana y por la tarde después de la ingesta de cafeína o el placebo. Panel A: observaciones individuales para cada sujeto (líneas grises) y la media para todos los sujetos (línea negra). Panel B: observaciones individuales para cada sujeto (puntos negros), desviación estándar y valores mínimos/máximos (diagramas de caja y bigotes), y el valor de P obtenido por análisis de varianza de dos vías (ANOVA). Letras similares (i.e., a-a; b-b, etc.) indican diferencias post hoc significativas tras la comparación entre condiciones.

**Tabla 2.** Rendimiento balístico de tren inferior y superior (i.e., altura del salto con contramovimiento y velocidad máxima del press de banca lanzado [VmPBL]), fuerza dinámica máxima (i.e., test de 1 repetición máxima [IRM] en sentadilla y en press de banca) y rendimiento en fuerza-resistencia (i.e., velocidad promedio (Vp) 8 repeticiones en sentadilla al 70% 1RM y repeticiones hasta el fallo al 70% 1RM [RtF-70 % 1RM] en press de banca) por la mañana y por la tarde tras la ingesta de café o placebo.

	Mañ-Caf Media±DE	Mañ-Pla Media±DE	Tard-Caf Media±DE	Tard-Pla Media±DE	Mañ-Caf		Mañ-Pla		Mañ-Caf		Mañ-Pla		Tard-Caf		Tard-Pla	
					vs. ΔMedia±DE (D Cohen)	vs. ΔMedia±DE (D Cohen)	vs. ΔMedia±DE (D Cohen)	vs. ΔMedia±DE (D Cohen)	vs. ΔMedia±DE (D Cohen)	vs. ΔMedia±DE (D Cohen)	vs. ΔMedia±DE (D Cohen)	vs. ΔMedia±DE (D Cohen)				
Altura de salto con contramovimiento (cm)	27,59±5,06	26,75±4,66	28,2±5,65	27,74±4,81	0,84±0,4 (0,17)	-0,61±-0,59 (0,11)	-0,15±0,25 (0,03)	-1,45±-0,99 (0,28)	-0,99±-0,15 (0,21)	0,02±0,00 (0,06)	-0,03±-0,03 (0,08)	-0,02±-0,03 (0,06)	-0,05±-0,03 (0,14)	-0,04±-0,03 (0,03)	0,01±0,00 (0,11)	0,46±0,84 (0,09)
VmPBL (m/s)	1,67±0,34	1,65±0,34	1,70±0,37	1,69±0,37	0,84±-2,96 (0,07)	0,96±-1,95 (0,08)	0,84±-1,56 (0,07)	0,12±1,01 (0,01)	0,00±1,4 (0,00)	0,02±0,00 (0,4)	0,03±-0,00 (0,25)	0,01±0,00 (0,13)	0,05±-0,01 (0,02)	-0,02±-0,01 (0,27)	0,01±0,00 (0,13)	0,01±0,00 (0,13)
IRM sentadilla (kg)	72,01±10,62	71,17±13,58	71,05±12,57	71,17±12,18	-0,57±-1,04 (0,06)	-0,34±-0,43 (0,04)	-0,52±-0,28 (0,05)	0,23±0,61 (0,02)	0,05±0,76 (0,01)	0,03±0,01 (0,06)	0,02±0,00 (0,13)	0,01±-0,01 (0,13)	0,23±0,61 (0,02)	-0,02±-0,01 (0,27)	-0,12±0,39 (0,01)	0,07±-1,13 (0,02)
IRM press banca (kg)	43,06±9,57	43,63±10,61	43,40±10,00	43,58±9,85	0,13±-0,36 (0,03)	-0,54±0,33 (0,13)	-0,47±-0,8 (0,10)	-0,67±-0,69 (0,15)	0,05±0,76 (0,01)	0,03±0,01 (0,4)	0,02±0,00 (0,25)	0,01±-0,01 (0,13)	0,23±0,61 (0,02)	-0,02±-0,01 (0,27)	-0,12±0,39 (0,01)	0,07±-1,13 (0,02)
Vp 8 repeticiones en sentadilla al 70% 1RM (m/s)	0,56±0,08	0,53±0,07	0,54±0,08	0,55±0,08	0,13±-0,36 (0,03)	-0,54±0,33 (0,13)	-0,47±-0,8 (0,10)	-0,67±-0,69 (0,15)	0,05±0,76 (0,01)	0,03±0,01 (0,4)	0,02±0,00 (0,25)	0,01±-0,01 (0,13)	0,23±0,61 (0,02)	-0,02±-0,01 (0,27)	-0,12±0,39 (0,01)	0,07±-1,13 (0,02)
RtF-70 % 1RM en press de banca	16,13±4,32	16,00±4,68	16,67±3,99	16,60±5,12	0,13±-0,36 (0,03)	-0,54±0,33 (0,13)	-0,47±-0,8 (0,10)	-0,67±-0,69 (0,15)	0,05±0,76 (0,01)	0,03±0,01 (0,4)	0,02±0,00 (0,25)	0,01±-0,01 (0,13)	0,23±0,61 (0,02)	-0,02±-0,01 (0,27)	-0,12±0,39 (0,01)	0,07±-1,13 (0,02)

Abreviaturas: Mañana; Mañ, Café; Caf, Tarde; Tard, Placebo; Pla. Tamaño del efecto expresado a partir de la D Cohen.



---

# DISCUSIÓN

---



La presente Tesis Doctoral tuvo como objetivo principal determinar la potencial interacción entre la hora del día (i.e., mañana vs. tarde) y la ingesta de cafeína sobre el rendimiento neuromuscular del tren inferior y superior (i.e., rendimiento balístico, fuerza dinámica máxima y rendimiento en fuerza-resistencia) en mujeres jóvenes entrenadas. Los principales hallazgos indican que una dosis aguda de cafeína (i.e., 3 mg/kg) ingerida por la mañana restauró el rendimiento del salto con contramovimiento a los niveles encontrados por la tarde. Curiosamente, también se observó que el rendimiento balístico del tren inferior y superior (medido mediante los test de salto con contramovimiento y VmPBL) es mayor por la tarde que por la mañana, y que la ingesta de cafeína podría usarse para mejorar el rendimiento del salto con contramovimiento independientemente de la hora del día. Ni la variación diurna ni el consumo de cafeína afectaron a los niveles de fuerza dinámica máxima y al rendimiento en fuerza-resistencia en nuestra cohorte objeto de estudio.

Estudios previos han puesto de manifiesto la existencia de una variación diurna en la fuerza muscular, con valores más altos en la tarde-noche en comparación con la mañana en los hombres (Gabriel et al., 2020; Knaier et al., 2019). Knaier et al. (Knaier et al., 2019) reportaron mayores valores de altura de salto con contramovimiento, fuerza isométrica y fuerza isocinética de tren superior, inferior y tronco que oscilaron entre el 5 y el 19 % en la tarde en comparación con la mañana.

Del mismo modo, Giacomoni et al. (Giacomoni et al., 2005) y Guette et al. (Guette et al., 2005) encontraron variaciones diurnas del 10-12% en la fuerza isocinética e isométrica del tren inferior, respectivamente, mientras que Gauthier et al. (Gauthier et al., 2001) observaron diferencias de hasta un 14 % en la flexión isométrica máxima del codo. Estas diferencias se han atribuido parcialmente al oscilante estado fisiológico del organismo observado durante las 24h del día (Gabriel et al., 2020). En primer lugar, se ha demostrado que el rendimiento en términos de fuerza neuromuscular está relacionado con la temperatura corporal (Sébastien Racinais et al., 2005) ya que es ésta es capaz de modular la extensibilidad del tejido conectivo, la función contráctil del músculo, la viscosidad muscular y la conducción de potenciales de acción en el músculo esquelético (Shephard, 1984). De hecho, evidencia científica previa indica que el rendimiento neuromuscular aumenta entre un 2 y un 5 % con un incremento de 1°C en la temperatura muscular (S. Racinais & Oksa, 2010). Sin embargo, aunque las variaciones en el rendimiento neuromuscular dependientes de la hora del día parecen depender de la temperatura corporal, otros factores podrían afectar adicionalmente tales fluctuaciones (S. Racinais & Oksa, 2010). En segundo lugar, se ha demostrado que existe un aumento del pico de catecolaminas en respuesta al ejercicio físico por la tarde en comparación a la mañana (Drust et al., 2005; Teo et al., 2011), lo que también podría optimizar la función neuromuscular. Finalmente, es bien



sabido que una sesión de ejercicio agudo produce una elevación posterior de los niveles plasmáticos de testosterona y cortisol que modulan el estado anabólico/catabólico de los miocitos (Kraemer & Ratamess, 2005). De hecho, ambas hormonas presentan un pico de regulación circadiana durante la mañana (Piro et al., 1973). En este sentido, un estudio previo reportó que una sesión aguda de entrenamiento de fuerza inducía una mayor respuesta de cortisol durante la mañana que en la noche sin variaciones diurnas en la testosterona, concluyendo que una disminución de la relación testosterona/cortisol podría promover un ambiente anabólico en el organismo durante la tarde lo que explicaría el mayor rendimiento neuromuscular en esta franja horaria (Bird & Tarpenning, 2004).

Los hallazgos mencionados anteriormente contrastan parcialmente con los obtenidos en el presente estudio, ya que, aunque observamos una mejora significativa de la altura de salto con contramovimiento y VmPBL (del 2 al 3 %) por la tarde, no se encontró una variación diurna estadísticamente significativa en la fuerza dinámica máxima y el rendimiento en fuerza-resistencia en las mujeres estudiadas. Estos resultados controvertidos podrían explicarse por varios factores: en primer lugar, las participantes del presente estudio eran mujeres jóvenes entrenadas en disciplinas relacionadas con la fuerza muscular, mientras que los reclutados en trabajos anteriores eran hombres activos y entrenados (Giacomoni et

al., 2005; Guette et al., 2005; Knaier et al., 2019). Las diferencias obvias en el perfil hormonal y el metabolismo entre sexos podrían ser una razón potencial para estos resultados inciertos (Taipale et al., 2013). Por ejemplo, las evaluaciones del rendimiento neuromuscular del presente estudio estuvieron organizadas durante la fase lútea del ciclo menstrual en todos los casos, la cual se caracteriza por un aumento de la temperatura corporal independientemente de la hora del día en que se realicen las pruebas, lo que conduce a una optimización generalizada del rendimiento neuromuscular (Cagnacci et al., 2002). En segundo lugar, utilizamos métodos diferentes para evaluar el rendimiento neuromuscular (i.e., rendimiento balístico, fuerza dinámica máxima y rendimiento en fuerza-resistencia) que los seleccionados por estudios previos (e.g., test de fuerza isométrica o isocinética) que también podrían proporcionar una explicación alternativa sobre estos controvertidos hallazgos. Es importante destacar que estudios previos realizados en nuestro laboratorio demostraron una fiabilidad aceptable entre sesiones de las diferentes variables dependientes incluidas en el presente trabajo (i.e., salto con contramovimiento (Cuevas-Aburto et al., 2020), VmPBL (García-Ramos et al., 2018), 1RM de sentadilla y press de banca estimados a partir de la relación carga-velocidad (Banyard et al., 2017; García-Ramos et al., 2018), velocidad promedio de la serie en sentadilla (Pérez-Castilla et al., 2021) y número de repeticiones al fallo en press de banca

(Mann et al., 2012), hecho que apoya la robustez de los resultados mostrados.

La cafeína se considera actualmente una ayuda ergogénica eficaz para mejorar el rendimiento neuromuscular en hombres entrenados (Grgic et al., 2018). Sin embargo, se desconoce si este hallazgo se aplica a atletas femeninas, ya que la mayoría de los estudios llevados a cabo en esta área se han realizado en individuos masculinos y no se debe hacer una generalización considerando las numerosas diferencias biológicas entre sexos (Costello et al., 2014). De hecho, un metaanálisis reciente concluyó que no existen diferencias significativas en el rendimiento neuromuscular de tren inferior entre la ingesta de placebo y la ingesta de cafeína en mujeres, mientras que si se encontró un efecto ergogénico significativo de la cafeína en la fuerza de tren superior, atribuyendo estos resultados ambiguos al pequeño número de estudios realizados en mujeres (Grgic & Del Coso, 2021). Estos hallazgos difieren en parte de los obtenidos en el presente trabajo, ya que solo encontramos una influencia positiva significativa de la ingesta de cafeína en el salto con contramovimiento en comparación con el placebo, mientras que no se observaron diferencias en la fuerza dinámica máxima, el rendimiento en fuerza-resistencia o el rendimiento balístico del tren superior. Dos razones podrían explicar estas controversias: (i) el método utilizado para determinar el rendimiento de 1RM (i.e., la relación carga-velocidad individualizada [utilizada en nuestro estudio] frente

a los procedimientos tradicionales (Grgic & Del Coso, 2021)), (ii) dosis de cafeína (i.e., 3 mg/kg [utilizada en nuestro estudio] frente a 3-6 mg/kg (Grgic & Del Coso, 2021)) proporcionadas antes de los test de fuerza, y el hecho de que el ~45 % de las participantes identificaron correctamente el placebo y la cafeína con sus respectivas consecuencias (i.e., se ha demostrado que la correcta identificación de la cafeína mejoró el rendimiento mientras que la correcta identificación del placebo provocó deterioros en el rendimiento) (Franco-Alvarenga et al., 2019). Aun se necesitan más estudios para aclarar si una ingesta aguda de cafeína es una estrategia eficiente y eficaz para mejorar el rendimiento neuromuscular en mujeres jóvenes entrenadas y la dosis óptima para ese propósito.

Mora-Rodríguez et al. realizaron un elegante estudio evaluando el rendimiento neuromuscular bajo tres condiciones experimentales diferentes: (i) mañana tras ingesta aguda de cafeína, (ii) mañana tras ingesta aguda de placebo, y (iii) tarde tras ingesta aguda de placebo (Mora-Rodríguez et al., 2012). Sus datos no solo respaldan la noción de que la cafeína puede considerarse una sustancia ergogénica eficaz para aumentar el rendimiento neuromuscular por la mañana, sino también que esta sustancia consumida por la mañana puede restaurar los niveles de rendimiento neuromuscular obtenidos por la tarde en los hombres (Mora-Rodríguez et al., 2012). Estos hallazgos coincidieron parcialmente con nuestros

resultados, ya que observamos que una ingesta aguda de cafeína en la mañana restauró el rendimiento en salto con contramovimiento a los niveles encontrados en la tarde. Sin embargo, esta compensación no se produjo ni en el rendimiento balístico de del tren superior, ni en la fuerza dinámica máxima y el rendimiento en fuerza-resistencia. Una posible explicación sobre estos hallazgos parcialmente contrarios podría ser que, aunque ambos estudios usaron dosis similares de cafeína (i.e., 3 mg/kg) y tuvieron tamaño de muestra similar (i.e., 12 vs. 15 participantes), Mora-Rodríguez et al. reclutaron atletas de sexo masculino, mientras que en el presente experimento únicamente incluyó a mujeres jóvenes entrenadas. Por lo tanto, especulamos que las mujeres podrían necesitar una dosis más alta de cafeína (i.e., 6-9 mg/kg) para mejorar el rendimiento neuromuscular en base a su mayor adiposidad corporal (lo que retrasaría la absorción y metabolización de la cafeína), entre otros hechos. Además, como estos efectos ergogénicos también podrían explicarse a través de un incremento en la activación y manipulación cortical (Franco-Alvarenga et al., 2019), los mismos podrían ser diferentes entre sexos. Finalmente, dado que se han reportado variaciones importantes del metabolismo de la cafeína en diferentes fases del ciclo menstrual (Nehlig, 2018), se necesitan futuros estudios realizados durante la fase folicular o durante la ovulación para dilucidar si los resultados actuales

(obtenidos durante la fase lútea) aplican a otras fases del ciclo menstrual.

---

# LIMITACIONES Y FORTALEZAS

---





## **Limitaciones**

A pesar de los resultados tan interesantes y aplicables obtenidos en la presente Tesis Doctoral, se deben mencionar algunas limitaciones.

1. En primer lugar, debido a razones logísticas y económicas, no evaluamos la temperatura corporal ni los parámetros bioquímicos (e.g., concentración de hormonas implicadas en el rendimiento neuromuscular), lo que impide poder dilucidar los mecanismos que podrían explicar los resultados obtenidos.
2. Además, las participantes de nuestro estudio eran mujeres jóvenes entrenadas con experiencia en disciplinas de fuerza y, por lo tanto, los resultados no pueden extenderse directamente a atletas que compiten en otras disciplinas (e.g., fútbol, baloncesto o voleibol) o mujeres sedentarias.

## **Fortalezas**

Sin embargo, esta Tesis Doctoral también posee fortalezas importantes:

1. Se trata de un ensayo cruzado, aleatorizado, triple ciego, controlado con placebo, diseño que permite responder con robustez a la pregunta de investigación
2. Se llevó a cabo un control meticuloso de posibles factores de confusión tales como el tiempo de ayuno, la ingesta de alimentos o niveles de actividad física que realizaban el día antes de la prueba.
3. Se reclutó una cohorte bien fenotipada de mujeres jóvenes entrenadas, una población en la que esta pregunta de investigación no ha sido respondida previamente.

---

# CONCLUSIÓN Y PERSPECTIVAS FUTURAS

---



## **Conclusión**

Los resultados principales de esta Tesis Doctoral ponen de manifiesto que una dosis aguda de cafeína ingerida 30 minutos antes de un test de fuerza neuromuscular mejoró el rendimiento balístico del tren inferior (i.e., altura de salto con contramovimiento) en mujeres jóvenes entrenadas, independientemente de la hora del día. Por el contrario, este efecto ergogénico no se observó ni en la fuerza dinámica máxima ni en el rendimiento en fuerza-resistencia.

Los presentes resultados confirman la existencia de una variación diurna en el rendimiento balístico en mujeres jóvenes entrenadas, siendo los niveles más altos por la tarde que por la mañana. Sin embargo, no se encontró un efecto de la variación diurna en la fuerza dinámica máxima y el rendimiento en fuerza-resistencia.

Finalmente, estos hallazgos sugieren que la ingesta de cafeína por la mañana puede ser una ayuda ergogénica eficaz para revertir la reducción matinal en el rendimiento del tren inferior existente como consecuencia de los ritmos circadianos.

## **Futuras perspectivas**

1. Futuros estudios son necesarios para testar si una dosis más alta de cafeína (considerando los rangos recomendados por el documento de consenso) (Maughan et al., 2018) induciría diferentes efectos sobre el rendimiento neuromuscular en mujeres entrenadas en fuerza.
2. Considerando los resultados encontrados en la presente Tesis Doctoral, futuras intervenciones deben implementarse para estudiar si tanto la variación diurna observada como los efectos inducidos por la cafeína en el rendimiento neuromuscular pueden explicarse por factores hormonales (i.e., análisis sanguíneos) o por variaciones en la temperatura corporal.
3. Se necesitan futuras investigaciones para confirmar si los hallazgos obtenidos en esta Tesis Doctoral son extrapolables a mujeres no entrenadas o con diferentes edades.
4. Teniendo en cuenta los efectos fisiológicos que producen otras ayudas ergogénicas (e.g., creatina, citrulina, citrulina-malato, etc.), resulta de interés estudiar si las mismas tienen efectos sobre el rendimiento neuromuscular y si compensan la variación diurna observada.

5. Futuros estudios deben llevarse a cabo para comprobar si los resultados obtenidos en el presente trabajo aplican en otras fases del ciclo menstrual además de en la fase lútea.
6. Por último, futuras investigaciones son necesarias para evaluar si la ingesta crónica de cafeína induciría diferentes efectos sobre el rendimiento neuromuscular en mujeres entrenadas en fuerza independientemente de la hora del día a la que ésta es evaluada.





---

# REFERENCIAS

---



1. Aguiar, A. S., Speck, A. E., Canas, P. M., & Cunha, R. A. (2020). Neuronal adenosine A2A receptors signal ergogenic effects of caffeine. *Scientific Reports*, 10(1), 13414. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-69660-1>
2. Aloui, K., Abdelmalek, S., Chtourou, H., Wong, D., Boussetta, N., & Souissi, N. (2017). Effects of time-of-day on oxidative stress, cardiovascular parameters, biochemical markers, and hormonal response following level-1 Yo-Yo intermittent recovery test. *Physiology International*, 104(1), 77–90. <https://doi.org/10.1556/2060.104.2017.1.6>
3. Ammar, A., Chtourou, H., Hammouda, O., Turki, M., Ayedi, F., Kallel, C., AbdelKarim, O., Hoekelmann, A., & Souissi, N. (2016). Relationship between biomarkers of muscle damage and redox status in response to a weightlifting training session: effect of time-of-day. *Acta Physiologica Hungarica*, 103(2), 243–261. <https://doi.org/10.1556/036.103.2016.2.11>
4. Aoyama, S., & Shibata, S. (2020). Time-of-Day-Dependent Physiological Responses to Meal and Exercise. *Frontiers in Nutrition*, 7. <https://doi.org/10.3389/fnut.2020.00018>
5. Astorino, T. A., Martin, B. J., Schachtsiek, L., Wong, K., & Ng, K. (2011). Minimal Effect of Acute Caffeine Ingestion on Intense Resistance Training Performance. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 25(6), 1752–1758. <https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e3181ddf6db>
6. Astorino, T. A., & Roberson, D. W. (2010). Efficacy of Acute Caffeine Ingestion for Short-term High-Intensity Exercise Performance: A Systematic Review. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 24(1), 257–265. <https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e3181c1f88a>
7. Atkinson, G., & Reilly, T. (1996). Circadian Variation in Sports Performance. *Sports Medicine*, 21(4), 292–312.

<https://doi.org/10.2165/00007256-199621040-00005>

8. Ayala, V., Martínez-Bebia, M., Latorre, J. A., Gimenez-Blasi, N., Jimenez-Casquet, M. J., Conde-Pipo, J., Bach-Faig, A., & Mariscal-Arcas, M. (2021). Influence of circadian rhythms on sports performance. *Chronobiology International*, 38(11), 1522–1536. <https://doi.org/10.1080/07420528.2021.1933003>
9. Banyard, H. G., Nosaka, K., & Haff, G. G. (2017). Reliability and Validity of the Load-Velocity Relationship to Predict the 1RM Back Squat. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 31(7), 1897–1904. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000001657>
10. Bellastella, G., De Bellis, A., Maiorino, M. I., Paglionico, V. A., Esposito, K., & Bellastella, A. (2019). Endocrine rhythms and sport: it is time to take time into account. *Journal of Endocrinological Investigation*, 42(10), 1137–1147. <https://doi.org/10.1007/s40618-019-01038-1>
11. Bird, S. P., & Tarpensing, K. M. (2004). Influence of Circadian Time Structure on Acute Hormonal Responses to a Single Bout of Heavy-Resistance Exercise in Weight-Trained Men. *Chronobiology International*, 21(1), 131–146. <https://doi.org/10.1081/CBI-120027987>
12. Boyett, J., Giersch, G., Womack, C., Saunders, M., Hughey, C., Daley, H., & Luden, N. (2016). Time of Day and Training Status Both Impact the Efficacy of Caffeine for Short Duration Cycling Performance. *Nutrients*, 8(10), 639. <https://doi.org/10.3390/nu8100639>
13. Burley, S. D., Whittingham-Dowd, J., Allen, J., Grosset, J.-F., & Onambele-Pearson, G. L. (2016). The Differential Hormonal Milieu of Morning versus Evening May Have an Impact on Muscle Hypertrophic Potential. *PLOS ONE*, 11(9), e0161500. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0161500>
14. Cagnacci, A., Arangino, S., Tuveri, F., Paoletti, A. M., & Volpe, A.

- (2002). Regulation of the 24h body temperature rhythm of women in luteal phase: role of gonadal steroids and prostaglandins. *Chronobiology International*, 19(4), 721–730. <https://doi.org/10.1081/CBI-120005394>
15. Chen, H.-Y., Chen, Y.-C., Tung, K., Chao, H.-H., & Wang, H.-S. (2019). Effects of caffeine and sex on muscle performance and delayed-onset muscle soreness after exercise-induced muscle damage: a double-blind randomized trial. *Journal of Applied Physiology*, 127(3), 798–805. <https://doi.org/10.1152/jappphysiol.01108.2018>
  16. Chtourou, H., & Souissi, N. (2012). The Effect of Training at a Specific Time of Day. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 26(7), 1984–2005. <https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e31825770a7>
  17. Cormie, P., McGuigan, M. R., & Newton, R. U. (2011). Developing Maximal Neuromuscular Power. *Sports Medicine*, 41(2), 125–146. <https://doi.org/10.2165/11538500-000000000-00000>
  18. Costello, J. T., Bieuzen, F., & Bleakley, C. M. (2014). Where are all the female participants in Sports and Exercise Medicine research? *European Journal of Sport Science*, 14(8), 847–851. <https://doi.org/10.1080/17461391.2014.911354>
  19. Cruz, R., de Aguiar, R., Turnes, T., Guglielmo, L., Beneke, R., & Caputo, F. (2015). Caffeine Affects Time to Exhaustion and Substrate Oxidation during Cycling at Maximal Lactate Steady State. *Nutrients*, 7(7), 5254–5264. <https://doi.org/10.3390/nu7075219>
  20. Cuevas-Aburto, J., Jukic, I., Chiroso-Ríos, L. J., González-Hernández, J. M., Janicijevic, D., Barboza-González, P., Guede-Rojas, F., & García-Ramos, A. (2020). Effect of Traditional, Cluster, and Rest Redistribution Set Configurations on Neuromuscular and Perceptual Responses During Strength-Oriented Resistance Training. *Journal of Strength and Conditioning Research*.

<https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000003658>

21. Davis, J. K., & Green, J. M. (2009). Caffeine and Anaerobic Performance. *Sports Medicine*, 39(10), 813–832. <https://doi.org/10.2165/11317770-000000000-00000>
22. de Salles Painelli, V., Teixeira, E. L., Tardone, B., Moreno, M., Morandini, J., Larrain, V. H., & Pires, F. O. (2021). Habitual Caffeine Consumption Does Not Interfere With the Acute Caffeine Supplementation Effects on Strength Endurance and Jumping Performance in Trained Individuals. *International Journal of Sport Nutrition and Exercise Metabolism*, 31(4), 321–328. <https://doi.org/10.1123/ijsnem.2020-0363>
23. des Georges, A., Clarke, O. B., Zalk, R., Yuan, Q., Condon, K. J., Grassucci, R. A., Hendrickson, W. A., Marks, A. R., & Frank, J. (2016). Structural Basis for Gating and Activation of RyR1. *Cell*, 167(1), 145–157.e17. <https://doi.org/10.1016/j.cell.2016.08.075>
24. Douma, L. G., & Gumz, M. L. (2018). Circadian clock-mediated regulation of blood pressure. *Free Radical Biology and Medicine*, 119, 108–114. <https://doi.org/10.1016/j.freeradbiomed.2017.11.024>
25. Drust, B., Waterhouse, J., Atkinson, G., Edwards, B., & Reilly, T. (2005). Circadian rhythms in sports performance - An update. *Chronobiology International*, 22(1), 21–44. <https://doi.org/10.1081/CBI-200041039>
26. Ferreira, T. T., da Silva, J. V. F., & Bueno, N. B. (2021). Effects of caffeine supplementation on muscle endurance, maximum strength, and perceived exertion in adults submitted to strength training: a systematic review and meta-analyses. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 61(15), 2587–2600. <https://doi.org/10.1080/10408398.2020.1781051>
27. Filip-Stachnik, A., Wilk, M., Krzysztofik, M., Lulińska, E., Tufano, J. J., Zajac, A., Stastny, P., & Del Coso, J. (2021). The effects of different doses of caffeine on maximal strength and strength-

- endurance in women habituated to caffeine. *Journal of the International Society of Sports Nutrition*, 18(1), 25. <https://doi.org/10.1186/s12970-021-00421-9>
28. Franco-Alvarenga, P. E., Brietzke, C., Canestri, R., Goethel, M. F., Viana, B. F., & Pires, F. O. (2019). Caffeine Increased Muscle Endurance Performance Despite Reduced Cortical Activation and Unchanged Neuromuscular Efficiency and Corticomuscular Coherence. *Nutrients*, 11(10). <https://doi.org/10.3390/nu11102471>
29. Gabriel, G., Soares, R., Nu, M., & Araujo, D. (2020). *Time-of-Day Effects on Short- Duration Maximal Exercise Performance*. 10, 1-17. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-66342-w>
30. García-Ramos, A., Haff, G. G., Pestaña-Melero, F. L., Pérez-Castilla, A., Rojas, F. J., Balsalobre-Fernández, C., & Jaric, S. (2018). Feasibility of the 2-Point Method for Determining the 1-Repetition Maximum in the Bench Press Exercise. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 13(4), 474-481. <https://doi.org/10.1123/ijsp.2017-0374>
31. Gauthier, A., Davenne, D., Martin, A., & Van Hoecke, J. (2001). Time of day effects on isometric and isokinetic torque developed during elbow flexion in humans. *European Journal of Applied Physiology*, 84(3), 249-252. <https://doi.org/10.1007/s004210170014>
32. Giacomoni, M., Edwards, B., & Bambaiechi, E. (2005). Gender differences in the circadian variations in muscle strength assessed with and without superimposed electrical twitches. *Ergonomics*, 48(11-14), 1473-1487. <https://doi.org/10.1080/00140130500101452>
33. Grgic, J. (2021). Effects of Caffeine on Resistance Exercise: A Review of Recent Research. *Sports Medicine*, 51(11), 2281-2298. <https://doi.org/10.1007/s40279-021-01521-x>
34. Grgic, J., & Del Coso, J. (2021). Ergogenic Effects of Acute Caffeine Intake on Muscular Endurance and Muscular Strength in Women:

A Meta-Analysis. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 18(11), 5773.  
<https://doi.org/10.3390/ijerph18115773>

35. Grgic, J., Grgic, I., Pickering, C., Schoenfeld, B. J., Bishop, D. J., & Pedisic, Z. (2020). Wake up and smell the coffee: caffeine supplementation and exercise performance – an umbrella review of 21 published meta-analyses. *British Journal of Sports Medicine*, 54(11), 681–688. <https://doi.org/10.1136/bjsports-2018-100278>
36. Grgic, J., Mikulic, P., Schoenfeld, B. J., Bishop, D. J., & Pedisic, Z. (2019). The Influence of Caffeine Supplementation on Resistance Exercise: A Review. *Sports Medicine (Auckland, N.Z.)*, 49(1), 17–30. <https://doi.org/10.1007/s40279-018-0997-y>
37. Grgic, J., & Pickering, C. (2019). The effects of caffeine ingestion on isokinetic muscular strength: A meta-analysis. *Journal of Science and Medicine in Sport*, 22(3), 353–360. <https://doi.org/10.1016/j.jsams.2018.08.016>
38. Grgic, J., Pickering, C., Bishop, D. J., Schoenfeld, B. J., Mikulic, P., & Pedisic, Z. (2020). CYP1A2 genotype and acute effects of caffeine on resistance exercise, jumping, and sprinting performance. *Journal of the International Society of Sports Nutrition*, 17(1), 21. <https://doi.org/10.1186/s12970-020-00349-6>
39. Grgic, J., Sabol, F., Venier, S., Mikulic, I., Bratkovic, N., Schoenfeld, B. J., Pickering, C., Bishop, D. J., Pedisic, Z., & Mikulic, P. (2019). What Dose of Caffeine to Use: Acute Effects of 3 Doses of Caffeine on Muscle Endurance and Strength. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 1–8. <https://doi.org/10.1123/ijsp.2019-0433>
40. Grgic, J., Trexler, E. T., Lazineca, B., & Pedisic, Z. (2018). Effects of caffeine intake on muscle strength and power: a systematic review and meta-analysis. *Journal of the International Society of Sports Nutrition*, 15(1), 11. <https://doi.org/10.1186/s12970-018-0216-0>



41. Guette, M., Gondin, J., & Martin, A. (2005). Time-of-Day Effect on the Torque and Neuromuscular Properties of Dominant and Non-Dominant Quadriceps Femoris. *Chronobiology International*, 22(3), 541–558. <https://doi.org/10.1081/CBI-200062407>
42. Hammouda, O., Chtourou, H., Chaouachi, A., Chahed, H., Bellimem, H., Chamari, K., & Souissi, N. (2013). Time-of-day effects on biochemical responses to soccer-specific endurance in elite Tunisian football players. *Journal of Sports Sciences*, 31(9), 963–971. <https://doi.org/10.1080/02640414.2012.757345>
43. Harty, P. S., Zabriskie, H. A., Stecker, R. A., Currier, B. S., Tinsley, G. M., Surowiec, K., Jagim, A. R., Richmond, S. R., & Kerksick, C. M. (2020). Caffeine Timing Improves Lower-Body Muscular Performance: A Randomized Trial. *Frontiers in Nutrition*, 7. <https://doi.org/10.3389/fnut.2020.585900>
44. Hayes, L. D., Bickerstaff, G. F., & Baker, J. S. (2010). Interactions of cortisol, testosterone, and resistance training: influence of circadian rhythms. *Chronobiology International*, 27(4), 675–705. <https://doi.org/10.3109/07420521003778773>
45. Horne, J. A., & Ostberg, O. (1976). A self assessment questionnaire to determine Morningness Eveningness in human circadian rhythms. *International Journal of Chronobiology*, 4(2), 97–110.
46. Hower, I. M., Harper, S. A., & Buford, T. W. (2018). Circadian Rhythms, Exercise, and Cardiovascular Health. *Journal of Circadian Rhythms*, 16(1). <https://doi.org/10.5334/jcr.164>
47. Janicijevic, D., Mao, H., Gu, Y., Pérez-Castilla, A., González-Hernández, J. M., & García-Ramos, A. (2021). Ballistic, maximal strength and strength-endurance performance of male handball players: Are they affected by the evaluator's sex? *PLOS ONE*, 16(4), e0249974. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0249974>
48. Jasper, I., Häußler, A., Baur, B., Marquardt, C., & Hermsdörfer, J. (2009). Circadian Variations in the Kinematics of Handwriting and

- Grip Strength. *Chronobiology International*, 26(3), 576–594.  
<https://doi.org/10.1080/07420520902896590>
49. Kantermann, T., Forstner, S., Halle, M., Schlangen, L., Roenneberg, T., & Schmidt-Trucksäss, A. (2012). The Stimulating Effect of Bright Light on Physical Performance Depends on Internal Time. *PLoS ONE*, 7(7), e40655. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0040655>
  50. Knaier, R., Infanger, D., Cajochen, C., Schmidt-, A., Faude, O., Roth, R., Knaier, R., Infanger, D., Cajochen, C., Schmidt-, A., & Knaier, R. (2019). Diurnal and day-to-day variations in isometric and isokinetic strength Diurnal and day-to-day variations in isometric and isokinetic strength. *Chronobiology International*, 0(00), 1–13. <https://doi.org/10.1080/07420528.2019.1658596>
  51. Kraemer, W. J., & Ratamess, N. A. (2005). Hormonal Responses and Adaptations to Resistance Exercise and Training. *Sports Medicine*, 35(4), 339–361. <https://doi.org/10.2165/00007256-200535040-00004>
  52. Kunorozva, L., Roden, L. C., & Rae, D. E. (2014). Perception of effort in morning-type cyclists is lower when exercising in the morning. *Journal of Sports Sciences*, 32(10), 917–925. <https://doi.org/10.1080/02640414.2013.873139>
  53. Kūusmaa, M., Schumann, M., Sedliak, M., Kraemer, W. J., Newton, R. U., Malinen, J.-P., Nyman, K., Häkkinen, A., & Häkkinen, K. (2016). Effects of morning versus evening combined strength and endurance training on physical performance, muscle hypertrophy, and serum hormone concentrations. *Applied Physiology, Nutrition, and Metabolism*, 41(12), 1285–1294. <https://doi.org/10.1139/apnm-2016-0271>
  54. Lane, J., Steege, J., Rupp, S., & Kuhn, C. (1992). Menstrual cycle effects on caffeine elimination in the human female. *European Journal of Clinical Pharmacology*, 43(5), 543–546. <https://doi.org/10.1007/BF02285099>

55. Lane, M. T., Byrd, M. T., Bell, Z., & Hurley, T. (2019). Effects of Supplementation of a Pre-workout on Power Maintenance in Lower Body and Upper Body Tasks in Women. *Journal of Functional Morphology and Kinesiology*, 4(2), 18. <https://doi.org/10.3390/jfmk4020018>
56. Lok, R., Zerbini, G., Gordijn, M. C. M., Beersma, D. G. M., & Hut, R. A. (2020). Gold, silver or bronze: circadian variation strongly affects performance in Olympic athletes. *Scientific Reports*, 10(1), 16088. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-72573-8>
57. Lopes-Silva, J. P., Rocha, A. L. S. da, Rocha, J. C. C., Silva, V. F. dos S., & Correia-Oliveira, C. R. (2021). Caffeine ingestion increases the upper-body intermittent dynamic strength endurance performance of combat sports athletes. *European Journal of Sport Science*, 1-10. <https://doi.org/10.1080/17461391.2021.1874058>
58. López-Samanes, Á., Moreno-Pérez, D., Maté-Muñoz, J. L., Domínguez, R., Pallarés, J. G., Mora-Rodriguez, R., & Ortega, J. F. (2017). Circadian rhythm effect on physical tennis performance in trained male players. *Journal of Sports Sciences*, 35(21), 2121-2128. <https://doi.org/10.1080/02640414.2016.1258481>
59. Mann, J. B., Stoner, J. D., & Mayhew, J. L. (2012). NFL-225 test to predict 1RM bench press in NCAA Division I football players. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 26(10), 2623-2631. <https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e31826791ef>
60. Maughan, R. J., Burke, L. M., Dvorak, J., Larson-Meyer, D. E., Peeling, P., Phillips, S. M., Rawson, E. S., Walsh, N. P., Garthe, I., Geyer, H., Meeusen, R., van Loon, L. J. C., Shirreffs, S. M., Spriet, L. L., Stuart, M., Vernec, A., Currell, K., Ali, V. M., Budgett, R. G., ... Engebretsen, L. (2018). IOC consensus statement: dietary supplements and the high-performance athlete. *British Journal of Sports Medicine*, 52(7), 439-455. <https://doi.org/10.1136/bjsports-2018-099027>

61. Mora-Rodríguez, R., Pallarés, J. G., López-Samanes, Á., Ortega, J. F., & Fernández-Elías, V. E. (2012). Caffeine ingestion reverses the circadian rhythm effects on neuromuscular performance in highly resistance-trained men. *PLoS ONE*, 7(4). <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0033807>
62. Muñoz, A., López-Samanes, Á., Pérez-López, A., Aguilar-Navarro, M., Moreno-Herederó, B., Rivilla-García, J., González-Frutos, P., Pino-Ortega, J., Morencos, E., & Del Coso, J. (2020). Effects of Caffeine Ingestion on Physical Performance in Elite Women Handball Players: A Randomized, Controlled Study. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 15(10), 1406–1413. <https://doi.org/10.1123/ijsp.2019-0847>
63. Nehlig, A. (2018). Interindividual Differences in Caffeine Metabolism and Factors Driving Caffeine Consumption. *Pharmacological Reviews*, 70(2), 384–411. <https://doi.org/10.1124/pr.117.014407>
64. Norum, M., Risvang, L. C., Bjørnsen, T., Dimitriou, L., Rønning, P. O., Bjørgen, M., & Raastad, T. (2020). Caffeine increases strength and power performance in resistance-trained females during early follicular phase. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*, 30(11), 2116–2129. <https://doi.org/10.1111/sms.13776>
65. Pallarés, J. G., Fernández-Elías, V. E., Ortega, J. F., Muñoz, G., Muñoz-Guerra, J., & Mora-Rodríguez, R. (2013). Neuromuscular Responses to Incremental Caffeine Doses. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 45(11), 2184–2192. <https://doi.org/10.1249/MSS.0b013e31829a6672>
66. Pereira, P. E. A., Azevedo, P., Azevedo, K., Azevedo, W., & Machado, M. (2021). Caffeine Supplementation or Carbohydrate Mouth Rinse Improves Performance. *International Journal of Sports Medicine*, 42(2), 147–152. <https://doi.org/10.1055/a-1212-0742>
67. Pérez-Castilla, A., Boullosa, D., & García-Ramos, A. (2021).

- Reliability and Validity of the iLOAD Application for Monitoring the Mean Set Velocity During the Back Squat and Bench Press Exercises Performed Against Different Loads. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 35(Suppl 1), S57-S65. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000003739>
68. Piro, C., Fraioli, F., Sciarra, P., & Conti, C. (1973). Circadian rhythm of plasma testosterone, cortisol and gonadotropins in normal male subjects. *Journal of Steroid Biochemistry*, 4(3), 321-329. [https://doi.org/10.1016/0022-4731\(73\)90056-3](https://doi.org/10.1016/0022-4731(73)90056-3)
69. Polito, M. D., Grandolfi, K., & de Souza, D. B. (2019). Caffeine and resistance exercise: the effects of two caffeine doses and the influence of individual perception of caffeine. *European Journal of Sport Science*, 19(10), 1342-1348. <https://doi.org/10.1080/17461391.2019.1596166>
70. Postolache, T. T., Gulati, A., Okusaga, O. O., & Stiller, J. W. (2020). *An Introduction to Circadian Endocrine Physiology: Implications for Exercise and Sports Performance* (pp. 363-390). [https://doi.org/10.1007/978-3-030-33376-8\\_20](https://doi.org/10.1007/978-3-030-33376-8_20)
71. Pueo, B., Penichet-Tomas, A., & Jimenez-Olmedo, J. (2020). Reliability and validity of the Chronojump open-source jump mat system. *Biology of Sport*, 37(3), 255-259. <https://doi.org/10.5114/biol sport.2020.95636>
72. Pullinger, S. A., Oksa, J., Brocklehurst, E. L., Iveson, R. P., Newlove, A., Burniston, J. G., Doran, D. A., Waterhouse, J. M., & Edwards, B. J. (2018). Controlling rectal and muscle temperatures: Can we offset diurnal variation in repeated sprint performance? *Chronobiology International*, 35(7), 959-968. <https://doi.org/10.1080/07420528.2018.1444626>
73. Racinais, S., & Oksa, J. (2010). Temperature and neuromuscular function. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*, 20, 1-18. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0838.2010.01204.x>

74. Racinais, Sébastien, Blanc, S., Jonville, S., & Hue, O. (2005). Time of day influences the environmental effects on muscle force and contractility. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 37(2), 256–261. <https://doi.org/10.1249/01.mss.0000149885.82163.9f>
75. Raya-González, J., Rendo-Urteaga, T., Domínguez, R., Castillo, D., Rodríguez-Fernández, A., & Grgic, J. (2020). Acute Effects of Caffeine Supplementation on Movement Velocity in Resistance Exercise: A Systematic Review and Meta-analysis. *Sports Medicine*, 50(4), 717–729. <https://doi.org/10.1007/s40279-019-01211-9>
76. Robles-González, L., Maldonado, M. R., Alcalá-Escamilla, J. C., Jurado-Fasoli, L., Miras-Moreno, S., Soriano, M. A., García-Ramos, A., Ruiz, J. R., & Amaro-Gahete, F. J. (2022). Caffeine ingestion attenuates diurnal variation of lower-body ballistic performance in resistance-trained women. *European Journal of Sport Science*, 1–23. <https://doi.org/10.1080/17461391.2022.2038274>
77. Roden, L., Rudner, T., & Rae, D. (2017). Impact of chronotype on athletic performance: current perspectives. *ChronoPhysiology and Therapy, Volume 7*, 1–6. <https://doi.org/10.2147/CPT.S99804>
78. Romero-Moraleda, Del Coso, Gutiérrez-Hellín, & Lara. (2019). The Effect of Caffeine on the Velocity of Half-Squat Exercise during the Menstrual Cycle: A Randomized Controlled Trial. *Nutrients*, 11(11), 2662. <https://doi.org/10.3390/nu11112662>
79. Ruddick-Collins, L. C., Johnston, J. D., Morgan, P. J., & Johnstone, A. M. (2018). The Big Breakfast Study: Chrono-nutrition influence on energy expenditure and bodyweight. *Nutrition Bulletin*, 43(2), 174–183. <https://doi.org/10.1111/nbu.12323>
80. Ruddick-Collins, L. C., Morgan, P. J., & Johnstone, A. M. (2020). Mealtime: A circadian disruptor and determinant of energy balance? *Journal of Neuroendocrinology*, 32(7). <https://doi.org/10.1111/jne.12886>
81. Sabzevari Rad, R., Mahmoodzadeh Hosseini, H., & Shirvani, H.

- (2021). Circadian rhythm effect on military physical fitness and field training: a narrative review. *Sport Sciences for Health*, 17(1), 43–56. <https://doi.org/10.1007/s11332-020-00692-w>
82. Salinero, J. J., Lara, B., Jiménez-Ormeño, E., Romero-Moraleda, B., Giráldez-Costas, V., Baltazar-Martins, G., & Del Coso, J. (2019). More Research Is Necessary to Establish the Ergogenic Effect of Caffeine in Female Athletes. *Nutrients*, 11(7), 1600. <https://doi.org/10.3390/nu11071600>
83. Schneiker, K. T., Bishop, D., Dawson, B., & Hackett, L. P. (2006). Effects of Caffeine on Prolonged Intermittent-Sprint Ability in Team-Sport Athletes. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 38(3), 578–585. <https://doi.org/10.1249/01.mss.0000188449.18968.62>
84. Sedliak, M., Finni, T., Cheng, S., Haikarainen, T., & Häkkinen, K. (2008). Diurnal Variation in Maximal and Submaximal Strength, Power and Neural Activation of Leg Extensors in Men: Multiple Sampling Across Two Consecutive Days. *International Journal of Sports Medicine*, 29(3), 217–224. <https://doi.org/10.1055/s-2007-965125>
85. Serin, Y., & Acar Tek, N. (2019). Effect of Circadian Rhythm on Metabolic Processes and the Regulation of Energy Balance. *Annals of Nutrition and Metabolism*, 74(4), 322–330. <https://doi.org/10.1159/000500071>
86. Shephard, R. J. (1984). Sleep, Biorhythms and Human Performance. *Sports Medicine*, 1(1), 11–37. <https://doi.org/10.2165/00007256-198401010-00003>
87. Souissi, N., Driss, T., Chamari, K., Vandewalle, H., Davenne, D., Gam, A., Fillard, J.-R., & Jousset, E. (2010). Diurnal variation in wingate test performances: influence of active warm-up. *Chronobiology International*, 27(3), 640–652. <https://doi.org/10.3109/07420528.2010.483157>
88. Souza, D. B., Duncan, M., & Polito, M. D. (2019). Improvement of

- Lower-Body Resistance-Exercise Performance With Blood-Flow Restriction Following Acute Caffeine Intake. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 14(2), 216–221. <https://doi.org/10.1123/ijsp.2018-0224>
89. Suchomel, T. J., Nimphius, S., & Stone, M. H. (2016). The Importance of Muscular Strength in Athletic Performance. *Sports Medicine*, 46(10), 1419–1449. <https://doi.org/10.1007/s40279-016-0486-0>
90. Taipale, R. S., Mikkola, J., Vesterinen, V., Nummela, A., & Häkkinen, K. (2013). Neuromuscular adaptations during combined strength and endurance training in endurance runners: maximal versus explosive strength training or a mix of both. *European Journal of Applied Physiology*, 113(2), 325–335. <https://doi.org/10.1007/s00421-012-2440-7>
91. Teo, W., Newton, M. J., & McGuigan, M. R. (2011). Circadian rhythms in exercise performance: Implications for hormonal and muscular adaptation. *Journal of Sports Science and Medicine*, 10(4), 600–606.
92. Venier, S., Grgic, J., & Mikulic, P. (2019a). Caffeinated Gel Ingestion Enhances Jump Performance, Muscle Strength, and Power in Trained Men. *Nutrients*, 11(4), 937. <https://doi.org/10.3390/nu11040937>
93. Venier, S., Grgic, J., & Mikulic, P. (2019b). Acute Enhancement of Jump Performance, Muscle Strength, and Power in Resistance-Trained Men After Consumption of Caffeinated Chewing Gum. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 14(10), 1415–1421. <https://doi.org/10.1123/ijsp.2019-0098>
94. Vitale, J. A., & Weydahl, A. (2017). Chronotype, Physical Activity, and Sport Performance: A Systematic Review. *Sports Medicine*, 47(9), 1859–1868. <https://doi.org/10.1007/s40279-017-0741-z>
95. Waer, F. Ben, Laatar, R., Jouira, G., Srihi, S., Rebai, H., & Sahli, S.



- (2021). Functional and cognitive responses to caffeine intake in middle-aged women are dose depending. *Behavioural Brain Research*, 397, 112956. <https://doi.org/10.1016/j.bbr.2020.112956>
96. Waller, G., Dolby, M., Steele, J., & Fisher, J. P. (2020). A low caffeine dose improves maximal strength, but not relative muscular endurance in either heavier-or lighter-loads, or perceptions of effort or discomfort at task failure in females. *PeerJ*, 8, e9144. <https://doi.org/10.7717/peerj.9144>
97. Warren, G. L., Park, N. D., Maresca, R. D., Mckibans, K. I., & Millard-Stafford, M. L. (2010). Effect of Caffeine Ingestion on Muscular Strength and Endurance. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 42(7), 1375–1387. <https://doi.org/10.1249/MSS.0b013e3181cabbd8>
98. Wilk, M., Filip, A., Krzysztofik, M., Gepfert, M., Zajac, A., & Del Coso, J. (2020). Acute Caffeine Intake Enhances Mean Power Output and Bar Velocity during the Bench Press Throw in Athletes Habituated to Caffeine. *Nutrients*, 12(2), 406. <https://doi.org/10.3390/nu12020406>
99. Wilson, G. J., & Murphy, A. J. (1996). The use of isometric tests of muscular function in athletic assessment. *Sports Medicine (Auckland, N.Z.)*, 22(1), 19–37. <https://doi.org/10.2165/00007256-199622010-00003>



---

# CURRICULUM VITAE

---



## DATOS PERSONALES

---

<b>Nombre</b>	Lidia Robles González
<b>DNI</b>	75569566F
<b>Fecha de nacimiento</b>	17/12/1990
<b>Correo electrónico</b>	<a href="mailto:lydiro@gmail.com">lydiro@gmail.com</a>
<b>Posición actual</b>	Funcionaria de carrera (Maestra de Educación Primaria)

## FORMACIÓN ACADÉMICA

---

<b>2008-2011</b>	<b>Diplomatura en Magisterio (Especialidad en Educación Física).</b> Universidad de Granada
<b>2012-2014</b>	<b>Licenciatura en Ciencias de la Actividad Física y del Deporte</b> Universidad de Granada
<b>2016-2017</b>	<b>Máster en Investigación en Actividad Física y del Deporte</b> Universidad de Granada
<b>2019-Actualidad</b>	<b>Doctorado en Biomedicina.</b> Universidad de Granada

# FORMACIÓN INVESTIGADORA Y DOCENTE

---

## Publicaciones científicas

1. **Robles-González L**, Maldonado MR, Alcalá-Escamilla JC, Jurado-Fasoli L, Miras-Moreno S, Soriano MA, García-Ramos A, Ruiz JR, Amaro-Gahete FJ. Caffeine ingestion attenuates diurnal variation of lower-body ballistic performance in resistance-trained women. *Eur. J. Sport Sci.* 2022;1–23. **Q1**.
2. **Robles-González L**, Gutiérrez-Hellín J, Aguilar-Navarro M, Ruiz-Moreno C, Muñoz A, Del-Coso J, R. Ruiz J, Amaro-Gahete FJ. Inter-Day Reliability of Resting Metabolic Rate and Maximal Fat Oxidation during Exercise in Healthy Men Using the Ergostik Gas Analyzer. *Nutrients* 2021;13(12):4308. **Q1**.
3. Amaro-Gahete FJ, De-la-O A, Sanchez-Delgado G, **Robles-Gonzalez L**, Jurado-Fasoli L, Ruiz JR, Gutiérrez A. Functional Exercise Training and Undulating Periodization Enhances the Effect of Whole-Body Electromyostimulation Training on Running Performance. *Front. Physiol.* 2018;9. doi:10.3389/fphys.2018.00720. **Q1**
4. Amaro-Gahete FJ, De-la-O A, Sanchez-Delgado G, **Robles-Gonzalez L**, Jurado-Fasoli L, Ruiz JR, Gutierrez A. Whole-Body Electromyostimulation Improves Performance-Related Parameters in Runners. *Front. Physiol.* 2018;9. doi:10.3389/fphys.2018.01576. **Q1**
5. Amaro-Gahete FJ, De-la-O A, Jurado-Fasoli L, Espuch-Oliver A, **Robles-Gonzalez L**, Navarro-Lomas G, de Haro T, Femia P, Castillo MJ, Gutierrez A. Exercise training as S-Klotho protein stimulator in sedentary healthy adults: Rationale, design, and methodology. *Contemp. Clin. Trials Commun.* 2018;11:10–19. **Q3**
6. Amaro-Gahete F, De-la-O A, **Robles-González L**, Castillo M, Gutierrez A. Impact of two whole-body electromyostimulation training modalities on body composition in recreational runners during endurance training cessation. *Rev. Int. Cienc. Deporte* 2018;53:205–218. **Q4**

## **Contribuciones en congresos**

1. *“Efecto de un programa de entrenamiento con electroestimulación integral de cuerpo completo sobre la composición corporal en adultos físicamente activos”*. Póster. Simposio EXERNET. Cádiz. 2016.
2. *“Electroestimulación y rendimiento en corredores”*. Comunicación oral. I Congreso Internacional WB-EMS. Oporto. 2017.
3. *“WB-EMS como terapia anti-ageing”*. Comunicación oral. I Congreso Internacional WB-EMS. Lisboa. 2018.
4. *“Is there a diurnal variation of maximal fat oxidation during exercise in young women”*. Comunicación oral. Simposio EXERNET. Cuenca. 2021.

## **Proyectos de investigación**

1. Proyecto FIT-AGEING: Role of physical exercise on the S-Klotho protein regulation and other ageing biomarkers in healthy adults. IP: Manuel Castillo Garzón. Financiación: 6500€
2. Proyecto CAFLIP: Efectos de la ingesta aguda de cafeína (3-6 mg/kg) en la oxidación de grasas durante el ejercicio en cicloergómetro. Dosis respuesta. IP: Millán Aguilar. Financiación: 5000€

## **Cursos de formación**

1. Recursos didácticos y psicopedagógicos: dinámicas de relación interpersonal en el aula. 110 horas. 2014. Universidad Camilo José Cela
2. La educación para la convivencia en el marco de la organización escolar. 110 horas. 2015. Universidad Camilo José Cela.
3. Psicopedagogía constructivista en centros educativos: práctica docente. 110 horas. 2016. Universidad Camilo José Cela





---

# AGRADECIMIENTOS

---



Primeramente, mis agradecimientos van dirigidos a la Universidad de Granada sin cuyo aporte económico material y técnico hubiera sido imposible completar la presente tesis doctoral. Del mismo modo, quisiera agradecer a los grupos de investigación *PRomoting FITness and Health through Physical Activity (PROFITH; CTS-977)* y *Evaluación Funcional y Fisiología del Ejercicio (EFFECTS-262)* en cuyo seno he desarrollado esta tesis doctoral; gracias por vuestro imprescindible respaldo y soporte.

Del mismo modo, el diseño, desarrollo, elaboración y finalización de mi tesis doctoral hubiera sido imposible sin el constante apoyo, supervisión y dirección de los Drs. Francisco J. Amaro Gahete y Jonatan Ruiz Ruiz, el consejo y buen hacer de los Drs. Amador García Ramos y Marcos A. Soriano, el trabajo y asistencia de D. Lucas Jurado, D. Juan Carlos Alcalá y D. Sergio Miras y, en términos generales, el apoyo de todos los colaboradores involucrados en el proyecto.

Por último, y con marcada importancia, quisiera agradecer a los participantes del estudio su impagable colaboración por prestarse a participar de forma altruista y desinteresada en el estudio.