

# Influencia de la cafeína en la respuesta muscular según la habituación a la cafeína y al deporte

Sergio Fuentes del Toro<sup>1</sup>, Silvia Santos-Cuadros<sup>2</sup>, Ester Olmeda Santamaría<sup>3</sup>, José Luis San Román García<sup>4</sup>

<sup>1</sup>MECATRAN, Departamento de Ingeniería Mecánica, Universidad Carlos III de Madrid, España. Email: sfuentes@ing.uc3m.es

<sup>2</sup>MECATRAN, Departamento de Ingeniería Mecánica, Universidad Carlos III de Madrid, España. Email: ssantos@ing.uc3m.es

<sup>3</sup>MECATRAN, Departamento de Ingeniería Mecánica, Universidad Carlos III de Madrid, España. Email: eolmeda@ing.uc3m.es

<sup>4</sup>MECATRAN, Departamento de Ingeniería Mecánica, Universidad Carlos III de Madrid, España. Email: jlsanro@ing.uc3m.es

## Resumen

A día de hoy la cafeína es un suplemento ampliamente consumido de forma habitual por la población en general. Este trabajo pretende mostrar los efectos de la cafeína en el tren superior y evaluar si el consumo habitual de cafeína afecta. Para ello, se contó con 18 voluntarios que realizaron varios ejercicios de contracción del bíceps en ayunas antes y después de la ingesta de una dosis de café. En paralelo, se registró la señal de electromiografía del músculo. Algunas de las conclusiones extraídas indican que no se observa un aumento generalizado de la señal muscular después de la toma de cafeína. De hecho, los no consumidores de cafeína muestran una respuesta muscular menor. No se observa ningún efecto ergogénico en los voluntarios que consumen regularmente cafeína ni en las personas que no practican deporte.

**Palabras clave:** cafeína; hábito; electromiografía; deporte.

## Abstract

Nowadays caffeine is a supplement widely consumed by the general population. This study aims to show the effects of caffeine on the upper body and to compare whether caffeine consumption has an effect. In order to undertake this work, 18 volunteers performed a number of exercises to contract the biceps while breakfasting before and after drinking a dose of coffee. At the same time, the electromyography signal of the muscle was recorded. Some of the conclusions drawn indicate that there is a lack of a generalized increase in the muscle signal after caffeine intake. In fact, non-consumers of caffeine show a lower muscle response. No ergogenic effect is observed in volunteers who regularly consume caffeine or in people who do not practice sport.

**Keywords:** caffeine; habits; electromyography; sport.

## 1. Introducción

La cafeína es ampliamente consumida a nivel general por parte de la población [1], y en particular por los atletas. Esto se debe principalmente a los efectos de mejora a la hora de realizar ejercicio [2], [3], puesto que se ha demostrado que su consumo mejora la resistencia [4]–[7], máxima intensidad [8]–[10] y

fuerza [8], [11]. Este efecto puede ser debido a la estimulación del sistema nervioso central y al aumento de unidades motoras a la hora de realizar una contracción muscular.

Diferentes estudios sostienen la tesis de que una dosis de cafeína diaria puede mejorar el rendimiento deportivo [12], [13], pero manteniendo el consumo en pequeñas dosis (~ 3-6 mg/kg), pues se observa un

efecto nulo para dosis elevadas ( $\geq 9$  mg/kg) [14]. Por el contrario, hay estudios que muestran todo lo contrario, es decir, no encontraron ningún cambio muscular tras la ingesta de cafeína [15].

No existe un mecanismo único que explique los efectos fisiológicos de la toma de diferentes sustancias, por lo que el estudio de la cafeína no va a ser diferente. Además, la cafeína presenta la dificultad de generar efecto sobre el sistema nervioso central y a su vez el sistema musculoesquelético [16]. Tanto es así, que se puede encontrar literatura que trata este efecto combinado en zonas periféricas del sistema neuromuscular, lo que hace que la toma de señales musculares, como la electromiografía (EMG), adquiera relevancia.

El siguiente estudio se ha planteado en base a todo lo comentado anteriormente, marcando como principal objetivo el evaluar el efecto de la ingesta de cafeína sobre los miembros superiores. Se tendrá en cuenta tanto la práctica deportiva como los hábitos de consumo de café, con el fin de evaluar si este tipo de hábitos pudiesen tener influencia en los resultados. Un total de 18 voluntarios participaron en el experimento y se les hizo realizar una serie de contracciones de bíceps en ayunas antes y después de la ingesta de una dosis de café (sin aditivos), mientras se adquiría la señal correspondiente al bíceps.

## 2. Materiales y métodos

Esta sección se divide en 3 subsecciones. En primer lugar, se explica el escenario del experimento, a continuación el procedimiento de ensayo y, por último, el material utilizado.

### 2.1. Experimentos

La principal finalidad de los experimentos que se describen es la de evaluar la actividad muscular antes y después de haber tomado una dosis de café. Para ello fue necesario reclutar voluntarios que quisieran participar en el experimento. En total se contó con 18 personas con una media de edad de  $23 \pm 3$  años, una altura de  $177 \pm 9$  cm y un peso de  $73 \pm 12$  kg.

Se tuvo en cuenta el consumo habitual de cafeína (CCL) y la asiduidad con la que practicaban deporte (SPL), clasificando el consumo de cafeína en cuatro niveles: 1 (nunca), 2 (ocasional), 3 (moderado – menos de tres tazas a la semana), 4 (sustancial – más de 4 tazas a la semana); y la práctica deportiva en 5 niveles: 1 (nunca), 2 (bajo), 3 (moderado), 4 (regular), 5 (asiduo). De acuerdo a estos niveles, se recabó que un 28% de los voluntarios afirmó no consumir cafeína (nivel 1 CCL), otro 28 % indicó que lo hacía de forma ocasional (nivel 2 CCL), un 33 % alcanzó un nivel moderado (nivel 3 CCL) y un 11% tomaba cafeína de forma sustancial (nivel 4 CCL).

En relación con el deporte el 6% de los voluntarios se encontraban en el nivel 1 SPL (nunca), el 17% lo hacía bajo el nivel 2 SPL (bajo), el 17% subía a un nivel 3 SPL (moderado), y por último un 56% y un 6% se encontraban en un nivel 4 SPL (regular) y nivel 5 SPL (asiduo), respectivamente

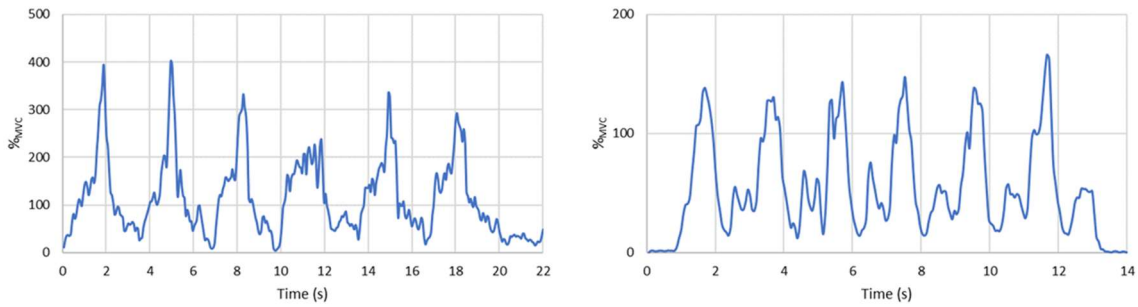
### 2.2. Procedimiento de ensayo

Los ensayos se llevaron a cabo teniendo en cuenta que los voluntarios se encontraban en condiciones de salud que no agravasen las posibles lesiones que los voluntarios pudieran tener.

Todos los voluntarios fueron informados de la metodología a seguir, del procedimiento del ensayo y de los posibles riesgos. Además se les entregó un informe de consentimiento que debían devolver firmado. Hay que señalar que los voluntarios podían abandonar el experimento en cualquier momento. El protocolo seguido cumple con la Declaración de Helsinki.

Los pasos seguidos en el experimento son un total de siete:

- Paso 1. Explicación del experimento: riesgos, procedimiento y metodología del ensayo son explicados. Además se requiere el consentimiento firmado para continuar.
- Paso 2. Cuestionario: una breve encuesta es entregada, donde los voluntarios aportan la información relativa a sus características antropométricas, hábitos deportivos y de consumo de cafeína.
- Paso 3. Explicación de los ejercicios y primera prueba: cada uno de los ejercicios fue explicado de forma detallada y se invitó a los voluntarios a realizar alguna práctica para que se familiarizaran al respecto. Los ejercicios descritos son los siguientes:
  - Contracción isométrica del bíceps: mantener durante 30 segundos una masa 6 kg con la mano dominante y manteniendo un agarre supino, asegurando que el codo se mantenga estable en ángulo recto y que el sujeto permanezca en posición erguida.
  - Contracción dinámica del bíceps: el voluntario debía contraer el bíceps mediante un curl de bíceps con agarre supino durante un total de seis veces. La masa empleada es la misma que para el ejercicio isométrico.
- Paso 4. Colocación de los sensores: los electrodos de electromiografía se colocaron sobre el bíceps. *branchii*, pues es el músculo que trabaja principalmente en dicha tarea. La localización del músculo se realizó mediante palpación [17], [18] y



**Figura 1.** Resultados de la contracción del bíceps de dos voluntarios antes de la toma de cafeína. A la izquierda, voluntario de 21 años, 165 cm de altura y 68 kg. A la derecha, voluntario de 22 años de edad, 180 cm de altura y 78 kg. Fuente: elaboración propia.

antes de proceder a situar el sensor, la zona fue rasurada y limpiada mediante una gasa estéril.

- Paso 5. Ejercicios pre-cafeína: realización de los ejercicios explicados en el paso 3. Los voluntarios fueron llamado a realizar las pruebas en ayunas.
- Paso 6. Toma de cafeína y 30 minutos de reposo: cada voluntario recibía una dosis de 100 mg de cafeína. No se añadía ningún tipo de aditivo como azúcar, leche o sacarina. Tras la ingesta, los voluntarios debían esperar 30 minutos, tiempo que fue definido en base a que a partir de los 15-45 minutos ya se pueden observar niveles elevados en el torrente sanguíneo [19].
- Paso 7. Ejercicios post-cafeína: realización de los ejercicios explicados en el paso 3 tras la ingesta de cafeína y el descanso de 30 minutos.

**2.3. Equipamiento**

El equipo principal empleado para la toma de datos sEMG fue el sistema Trigno de Delsys que ha sido empleado en otros estudios [20], [21] y con características según la 1.

**Tabla 1.** Información técnica del sistema Trigno sEMG de Delsys.

Dimensiones (mm)	27 x 37 x 13
Masa (g)	14
Rango entrada (mV)	11 / 22
Ancho de banda (Hz)	20-450 / 10 - 850
Dimensiones electrodo (mm)	5 x 1
Material electrodo	99.99 % plata

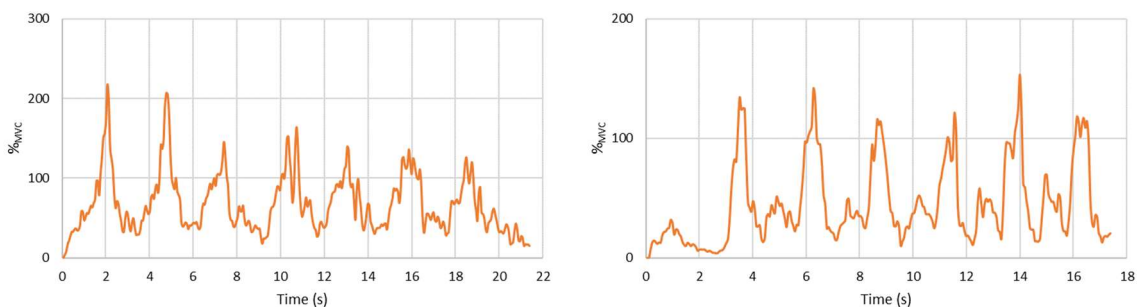
Fuente: elaboración propia.

**3. Resultados**

Los resultados han sido tratados y normalizados en base a los datos obtenidos en los ejercicios isométricos y siguiendo las recomendaciones marcadas por diferentes autores [22]–[24].

Los resultados que se muestran a continuación representan las señales dinámicas una vez normalizadas mediante la MVC (Contracción Máxima Voluntaria). Éstos a su vez estarán separados en ejercicios antes de la toma de cafeína y ejercicios posteriores a la toma de cafeína. Recordemos que los ejercicios que se han llevado a cabo consisten en realizar varias extensiones de bíceps con una mancuerna de 6 kg sobre el brazo dominante.

Si se observan las señales musculares obtenidas, la Figura 1 muestra un par de ejemplos correspondientes a la contracción muscular previa a la ingesta de cafeína.



**Figura 2.** Resultados de la contracción del bíceps de dos voluntarios después de la toma de cafeína. A la izquierda, voluntario de 21 años, 165 cm de altura y 68 kg. A la derecha, voluntario de 22 años de edad, 180 cm de altura y 78 kg. Fuente: elaboración propia.

**Tabla 2.** Resultados clasificados según el nivel del consumo de cafeína (CCL), a la izquierda, y según el el nivel de práctica deportiva (SPL), a la derecha. BCI<sub>Área</sub>: área bajo la curva antes de la ingesta. ACI<sub>Área</sub>: área bajo la curva después de la ingesta.

Nivel	CCL				SPL				
	1	2	3	4	1	2	3	4	5
Media altura (cm)	178,6	180,4	174,7	167,5	174,0	175,3	180,7	175,6	180,8
Media peso (kg)	75,4	79	70,5	60	76,0	71,7	77,7	69,6	78,0
ACI <sub>Área</sub> / BCI <sub>Área</sub> (%)	-60%	12%	22%	2%	-2%	22%	52%	-30%	25%

Fuente: elaboración propia.

Tras proceder a la toma de cafeína y esperar los 30 minutos indicados en el procedimiento, se procedió a realizar el mismo ejercicio. En la Figura 2 puede verse el resultado obtenido para los mismos sujetos.

Además, se ha calculado el área bajo la curva de cada uno de los casos para poder realizar comparaciones entre voluntarios. El área se ha tomado antes (BCI) y después (ACI) de la toma de cafeína.

#### 4. Conclusiones

Tras analizar los resultados, no se aprecia un incremento sustancial en la señales anteriores y posteriores a la ingesta de café. Sin embargo, si se clasifican los resultados según el consumo de cafeína habitual (CCL) se puede decir que aquellos voluntarios que no tienen costumbre de tomar café muestran una actividad muscular menor tras la ingesta. Todo lo contrario sucede cuando hay un consumo moderado por parte del voluntario a la toma de cafeína. Voluntarios que presentan un consumo de café regular no muestran señales del efecto ergogénico de esta sustancia.

Así bien, si se clasifican los resultados en base al nivel deportivo (SPL), aquellos voluntarios que no practican deporte no muestran mejoría tras la toma de cafeína. Sin embargo, si se observan cambios en aquellos voluntarios que sí practican deporte, donde hay un incremento de la actividad muscular tras la ingesta de café, exceptuando los sujetos que practican deporte con regularidad (3-5 veces a la semana), donde aparece una reducción de la señal.

Es interesante también mencionar las limitaciones que se han tenido a la hora de llevar a cabo el estudio. Una de ellas es la muestra, donde toda la población se puede considerar joven y hombre en su mayoría. Esto obliga a tener en cuenta la posible extrapolación de los resultados, donde podría haber cambios tanto en las mujeres como en las personas mayores. A parte, la dosis de cafeína dada a todos los voluntarios era la misma, pudiendo haber sido una dosis relativa mucho más acertada para el estudio.

#### 5. Agradecimientos

Este trabajo ha sido en parte financiado por la Comunidad de Madrid a través de la línea de “Excelencia del Profesorado Universitario” del Convenio Plurianual con la UC3M (EPUC3M20), en el marco del V PRICIT (V Plan Regional de Investigación Científica e Innovación Tecnológica).

#### 6. Referencias

- [1] D. C. Mitchell, C. A. Knight, J. Hockenberry, R. Teplansky, and T. J. Hartman, “Beverage caffeine intakes in the U.S.,” *Food Chem. Toxicol.*, vol. 63, pp. 136–142, Jan. 2014, doi: 10.1016/J.FCT.2013.10.042.
- [2] J. Del Coso, G. Muñoz, and J. Muñoz-Guerra, “Prevalence of caffeine use in elite athletes following its removal from the World Anti-Doping Agency list of banned substances,” *Appl. Physiol. Nutr. Metab.*, vol. 36, no. 4, pp. 555–561, Aug. 2011, doi: 10.1139/H11-052.
- [3] B. Desbrow and M. Leveritt, “Awareness and Use of Caffeine by Athletes Competing at the 2005 Ironman Triathlon World Championships,” *Int. J. Sport Nutr. Exerc. Metab.*, vol. 16, no. 5, pp. 545–558, Oct. 2006, doi: 10.1123/IJSNEM.16.5.545.
- [4] J. G. Pallarés, V. E. Fernández-Elías, J. F. Ortega, G. Muñoz, J. Muñoz-Guerra, and R. Mora-Rodríguez, “Neuromuscular responses to incremental caffeine doses: Performance and side effects,” *Med. Sci. Sports Exerc.*, vol. 45, no. 11, pp. 2184–2192, Nov. 2013, doi: 10.1249/MSS.0B013E31829A6672.
- [5] R. Mora-Rodríguez, J. G. Pallarés, Á. López-Samanes, J. F. Ortega, and V. E. Fernández-Elías, “Caffeine Ingestion Reverses the Circadian Rhythm Effects on Neuromuscular Performance in Highly Resistance-Trained Men,” *PLoS One*, vol. 7, no. 4, p. e33807, Apr. 2012, doi: 10.1371/JOURNAL.PONE.0033807.

- [6] F. J. Diaz-Lara, J. Del Coso, J. M. García, L. J. Portillo, F. Areces, and J. Abián-Vicén, "Caffeine improves muscular performance in elite Brazilian Jiu-jitsu athletes," *Eur. J. Sport Sci.*, vol. 16, no. 8, pp. 1079–1086, Nov. 2016, doi: 10.1080/17461391.2016.1143036.
- [7] J. Grgic, P. Mikulic, B. J. Schoenfeld, D. J. Bishop, and Z. Pedisic, "The Influence of Caffeine Supplementation on Resistance Exercise: A Review," *Sport. Med.*, vol. 49, no. 1, pp. 17–30, Jan. 2019, doi: 10.1007/s40279-018-0997-y.
- [8] M. Glaister et al., "Caffeine supplementation and multiple sprint running performance," *Med. Sci. Sports Exerc.*, vol. 40, no. 10, pp. 1835–1840, 2008, doi: 10.1249/MSS.0B013E31817A8AD2.
- [9] G. R. Stuart, W. G. Hopkins, C. Cook, and S. P. Cairns, "Multiple effects of caffeine on simulated high-intensity team-sport performance," *Med. Sci. Sports Exerc.*, vol. 37, no. 11, pp. 1998–2005, Nov. 2005, doi: 10.1249/01.MSS.0000177216.21847.8A.
- [10] K. T. Schneiker, D. Bishop, B. Dawson, and L. P. Hackett, "Effects of caffeine on prolonged intermittent-sprint ability in team-sport athletes," *Med. Sci. Sports Exerc.*, vol. 38, no. 3, pp. 578–585, Mar. 2006, doi: 10.1249/01.MSS.0000188449.18968.62.
- [11] K. Woolf, W. K. Bidwell, and A. G. Carlson, "The Effect of Caffeine as an Ergogenic Aid in Anaerobic Exercise," *Int. J. Sport Nutr. Exerc. Metab.*, vol. 18, no. 4, pp. 412–429, Aug. 2008, doi: 10.1123/IJSNEM.18.4.412.
- [12] A. F. San Juan et al., "Caffeine Supplementation Improves Anaerobic Performance and Neuromuscular Efficiency and Fatigue in Olympic-Level Boxers," *Nutr.* 2019, Vol. 11, Page 2120, vol. 11, no. 9, p. 2120, Sep. 2019, doi: 10.3390/NU11092120.
- [13] P. E. Franco-Alvarenga, C. Brietzke, R. Canestri, M. F. Goethel, B. F. Viana, and F. O. Pires, "Caffeine Increased Muscle Endurance Performance Despite Reduced Cortical Activation and Unchanged Neuromuscular Efficiency and Corticomuscular Coherence," *Nutr.* 2019, Vol. 11, Page 2471, vol. 11, no. 10, p. 2471, Oct. 2019, doi: 10.3390/NU11102471.
- [14] T. E. Graham and L. L. Spriet, "Metabolic, catecholamine, and exercise performance responses to various doses of caffeine," *J. Appl. Physiol.*, vol. 78, no. 3, pp. 867–874, 1995, doi: 10.1152/JAPPL.1995.78.3.867.
- [15] T. J. Szabo and J. Welcher, "Dynamics of low speed crash tests with energy absorbing bumpers," 1992. doi: 10.4271/921573.
- [16] L. L. Spriet, "Caffeine and Performance," *Int. J. Sport Nutr. Exerc. Metab.*, vol. 5, no. s1, pp. S84–S99, Jun. 1995, doi: 10.1123/IJSN.5.S1.S84.
- [17] R. Merletti, P. A. Parker, and P. J. Parker, *Electromyography: Physiology, Engineering, and Non-Invasive Applications*. Wiley, 2004. [Online]. Available: <https://books.google.co.uk/books?id=SQthgVMil3YC>
- [18] S. Angelova, S. Ribagin, R. Raikova, and I. Veneva, "Power frequency spectrum analysis of surface EMG signals of upper limb muscles during elbow flexion – A comparison between healthy subjects and stroke survivors," *J. Electromyogr. Kinesiol.*, vol. 38, no. March 2017, pp. 7–16, Feb. 2018, doi: 10.1016/j.jelekin.2017.10.013.
- [19] S. K. (Scott K. Powers and E. T. Howley, *Exercise physiology : theory and application to fitness and performance*, 8th ed. New York: McGraw-Hill, 2012.
- [20] D. Simsek, "Different fatigue-resistant leg muscles and EMG response during whole-body vibration," *J. Electromyogr. Kinesiol.*, vol. 37, no. September, pp. 147–154, 2017, doi: 10.1016/j.jelekin.2017.10.006.
- [21] J. C. Carr, M. S. Stock, J. M. Hernandez, J. R. Ortegon, and J. A. Mota, "Additional insight into biarticular muscle function: The influence of hip flexor fatigue on rectus femoris activity at the knee," *J. Electromyogr. Kinesiol.*, vol. 42, no. March, pp. 36–43, 2018, doi: 10.1016/j.jelekin.2018.06.011.
- [22] M. Limem, M. A. Hamdi, and M. A. Maaref, "Denosing uterine EMG signals using LMS and RLS adaptive algorithms," in *2016 2nd International Conference on Advanced Technologies for Signal and Image Processing (ATSIP)*, 2016, pp. 273–276. doi: 10.1109/ATSIP.2016.7523113.
- [23] C. R. Salamea Palacios and S. Luna Romero, "Calibración Automática en Filtros Adaptativos para el Procesamiento de Señales EMG," *Rev. Iberoam. Automática e Informática Ind.*, vol. 16, pp. 232–237, 2019, doi: 10.4995/riai.2018.10204.
- [24] S. Fuentes del Toro, Y. Wei, E. Olmeda, L. Ren, W. Guowu, and V. Díaz, "Validation of a Low-Cost Electromyography (EMG) System via a Commercial and Accurate EMG Device: Pilot Study," *Sensors*, vol. 19, no. 23, p. 5214, Nov. 2019, doi: 10.3390/s19235214.