



## Respuesta térmica de la piel mediante termografía infrarroja en juegos reducidos de futbolistas: un estudio piloto

*Skin thermal response assessed by infrared thermography during small-sided games in soccer players: a pilot study*

### Autores

Marvyn Moya Ortega <sup>1</sup>  
 Walter Gómez-Sánchez <sup>1</sup>  
 Estefanía Estrada Ocampo <sup>1</sup>  
 Juan David Fernández Villada <sup>1</sup>  
 John Garcia Tamayo <sup>1</sup>  
 Angie Yetzery Moya Ortega <sup>2</sup>

<sup>1</sup> Politécnico Colombiano Jaime Isaza Cadavid, (Colombia)

<sup>2</sup> Universidad de Valencia (España)

Autor de correspondencia:  
 Marvyn Moya Ortega  
 marvin\_moya80103@elpoli.edu.co

Recibido: 05-11-25

Aceptado: 18-11-25

### Cómo citar en APA

Moya Ortega, M., Gómez Sánchez, W., Estrada Ocampo, E., Fernández Villada, J. D., García Tamayo, J., & Moya Ortega, A. Y. (2026). Respuesta térmica de la piel mediante termografía infrarroja en juegos reducidos de futbolistas: estudio piloto. *Retos*, 74, 578-588. <https://doi.org/10.47197/retos.v74.118037>

### Resumen

**Introducción:** El fútbol implica acciones intermitentes de alta intensidad y fases de recuperación. El control de la carga de entrenamiento resulta esencial para optimizar el rendimiento y prevenir lesiones. En este contexto, la termografía infrarroja se consolida como una herramienta útil para detectar alteraciones térmicas derivadas del esfuerzo.

**Objetivo:** Analizar la respuesta térmica de la piel en futbolistas durante situaciones de juego reducido.

**Metodología:** Se realizó un estudio cuantitativo de tipo piloto con mediciones repetidas en un solo grupo. Se evaluó la temperatura media de la piel en tres momentos: antes del juego 4x4 (pre), inmediatamente después (post) y tras 10 minutos (final). Participaron 48 futbolistas varones ( $24 \pm 1$  años;  $176.7 \pm 0.6$  cm;  $72.5 \pm 3.5$  kg;  $12.6 \pm 1.0\%$  grasa corporal).

**Resultados:** Se observaron variaciones significativas en la temperatura de los miembros inferiores a lo largo de los momentos de medición, con incrementos posteriores al ejercicio y descensos durante la recuperación. Los cambios más pronunciados se presentaron en los miembros posteriores e izquierdos ( $p < .001$ ;  $ES = 0.4-0.8$ ). En el tren superior se evidenciaron diferencias significativas, con reducciones post esfuerzo y aumentos en la fase final, destacando los brazos anteriores derecho e izquierdo ( $p < .001$ ;  $ES = 0.7-0.9$ ). Las asimetrías térmicas más pronunciadas se concentraron en el muslo posterior y, en menor medida, en la pierna anterior ( $p < .05$ ). En el tren superior, el brazo posterior izquierdo mostró un aumento significativo post esfuerzo ( $ES = 0.69$ ).

**Conclusión:** La temperatura de la piel varía según el momento del juego, reflejando respuestas térmicas diferenciadas y posibles zonas de sobrecarga muscular.

### Palabras clave

Asimetrías térmicas; imágenes térmicas; situaciones de juego; prevención de lesión.

### Abstract

**Introduction:** Football is characterised by intermittent high-intensity actions interspersed with recovery phases. Monitoring training load is essential to optimize performance and prevent injuries. In this context, infrared thermography serves as a valuable tool for detecting thermal alterations related to physical exertion.

**Objective:** To analyze the skin temperature response of football players during small-sided games.

**Methodology:** A quantitative study with repeated measures in a single group was conducted. Mean skin temperature was recorded at three time points: before the 4x4 game (pre), immediately after (post), and after 10 minutes (final). Forty-eight male football players participated ( $24 \pm 1$  years;  $176.7 \pm 0.6$  cm;  $72.5 \pm 3.5$  kg;  $12.6 \pm 1.0\%$  body fat).

**Results:** Significant variations were observed in lower-limb temperature across the measurement moments, with increases following exercise and decreases during recovery. The greatest changes occurred in the posterior and left legs ( $p < .001$ ;  $ES = 0.4-0.8$ ). In the upper limbs, significant differences were also noted, with reductions post-exercise and increases during the final phase, particularly in the anterior arms ( $p < .001$ ;  $ES = 0.7-0.9$ ). The most marked thermal asymmetries were found in the posterior thigh and, to a lesser extent, in the anterior leg ( $p < .05$ ). The left posterior arm showed a significant post-exercise temperature rise with a moderate effect size ( $ES = 0.69$ ).

**Conclusion:** Skin temperature varied according to the phase of play, demonstrating distinct thermal responses and indicating potential areas of muscular overload.

### Keywords

Thermal asymmetries; thermal imaging; game situations; injury prevention.

## Introducción

El fútbol es una de las disciplinas más practicadas en el mundo y demanda una combinación compleja de capacidades físicas, técnicas y tácticas para alcanzar un rendimiento óptimo en el entrenamiento y la competencia. Este deporte se caracteriza por acciones intermitentes de alta intensidad que involucran simultáneamente los sistemas aeróbico y anaeróbico (León et al., 2011; Sarmiento et al., 2021). El músculo esquelético obtiene energía a partir de hidratos de carbono, grasas y proteínas, sustratos que actúan según los requerimientos de la actividad deportiva (Burke, 2011). Durante el juego, los futbolistas realizan esfuerzos predominantemente anaeróbicos como sprints o saltos alternados con fases de menor intensidad, dependiendo de la localización del balón (Bauer et al., 2023). La capacidad de sostener estas acciones depende, en gran medida, del consumo máximo de oxígeno ( $VO_{2\text{máx}}$ ), que refleja la eficiencia del sistema aeróbico y la capacidad de recuperación muscular (Wilmore & Costill, 2004).

En el alto rendimiento, el control de las cargas de entrenamiento es esencial para optimizar la adaptación fisiológica y prevenir lesiones. Estas cargas pueden clasificarse en externas, vinculadas a las variables del trabajo físico, e internas, asociadas al estrés fisiológico y psicológico del deportista (Macedo et al., 2024). Comprender su interacción permite ajustar el proceso de entrenamiento, evaluar la fatiga y minimizar el riesgo de sobrecarga (Bourdon et al., 2017). En este contexto, la termografía infrarroja (TI) ha cobrado relevancia como herramienta no invasiva para valorar el estado fisiológico del deportista, al detectar variaciones térmicas relacionadas con la actividad metabólica y circulatoria de la piel (Fernández-Cuevas, 2019).

La TI permite identificar alteraciones térmicas derivadas del esfuerzo, la fatiga o procesos inflamatorios, convirtiéndose en una herramienta útil para la prevención de lesiones (Fernández-Cuevas et al., 2015). En el fútbol, las lesiones comprometen la funcionalidad y el rendimiento del jugador (Rolong & Rebolledo-Cobos, 2021). Estudios previos evidencian que la TI puede anticipar desbalances musculares y zonas de sobrecarga; por ejemplo, Gómez-Carmona et al. (2020) observó asimetrías significativas en isquiotibiales y aductores, cuya detección temprana permitió ajustar cargas e implementar medidas preventivas, reduciendo la incidencia lesiva. De igual forma, Silva et al. (2022) describen una respuesta inflamatoria postejercicio que incrementa la temperatura de la piel hasta 48 horas después del esfuerzo, especialmente en las extremidades inferiores.

Por su parte, los juegos reducidos o *small-sided games* (SSG) se utilizan como estrategia para estimular de forma simultánea componentes técnicos, tácticos y fisiológicos, integrando el trabajo aeróbico y anaeróbico (Wen et al., 2024). Analizar la respuesta térmica de la piel durante los SSG ofrece información sobre las demandas fisiológicas y posibles asimetrías inducidas por el esfuerzo (Clemente et al., 2021). En consecuencia, el estudio de la respuesta térmica mediante TI durante diferentes formatos de SSG puede optimizar la planificación, recuperación y prevención de lesiones. No obstante, la evidencia en este contexto es aún limitada, lo que justifica el presente estudio piloto, cuyo objetivo es analizar la respuesta térmica de la piel en futbolistas durante juegos reducidos, identificando las regiones corporales con mayores variaciones y asimetrías térmicas antes y después del esfuerzo físico. Se hipotetiza que los juegos reducidos inducen variaciones significativas en la temperatura de la piel, reflejando respuestas térmicas diferenciales según región corporal.

## Método

### *Tipo de estudio*

Estudio cuantitativo de tipo piloto, con mediciones repetidas en un solo grupo. Se realizaron tres momentos de evaluación: pre-intervención, post-intervención inmediata y fase final 10 min de recuperación. Este diseño permite identificar las variaciones en la temperatura de la piel, así como detectar asimetrías térmicas entre diferentes regiones corporales asociadas a la carga fisiológica generada por la SSG. Además, al tratarse de un estudio piloto, busca establecer la viabilidad metodológica y la sensibilidad de la termografía infrarroja como herramienta de monitoreo térmico en contextos de entrenamiento controlado.

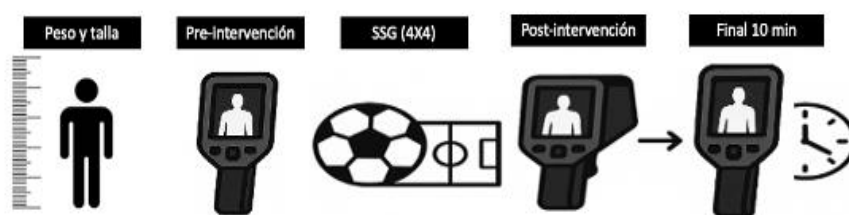
## Participantes

Cuarenta y ocho futbolistas varones pertenecientes a una selección representativa institucional, participaron voluntariamente en el estudio (edad:  $24 \pm 1$  años; estatura  $176.7 \pm 0.6$  cm; masa corporal  $72.5 \pm 3.5$  kg; porcentaje graso  $12.6 \pm 1.0\%$ ), siendo clasificados en nivel 3 por su alta capacidad física y participación en competencias a nivel nacional (McKay et al., 2022). La selección de la muestra fue de tipo no probabilístico por conveniencia, dado que los jugadores pertenecían al grupo disponible y accesible para la intervención, compartían un mismo contexto de entrenamiento y competición, y cumplían con los requisitos específicos para el control del estudio. El criterio de inclusión fue ser jugador de fútbol activo en un equipo universitario. Los criterios de exclusión fueron: (i) haber sufrido lesiones musculares recientes y (ii) Procesos inflamatorios activos o consumo de medicamentos termorreguladores, todos los deportistas cumplieron los criterios de participación. El estudio cumplió con los procedimientos establecidos en la Declaración de Helsinki, y todos los participantes fueron informados sobre las características del estudio y dieron su consentimiento informado por escrito.

## Procedimiento

Los futbolistas fueron convocados mediante citación previa vía correo electrónico y confirmación a las instalaciones del Politécnico JIC. Las evaluaciones se desarrollaron durante un único día entre las 12:00 m y 2:00 pm, en el laboratorio de la institución y la cancha de fútbol. Siguiendo siempre el mismo orden de aplicación de las mediciones, a) medidas antropométricas b) termografía pre-intervención c) Juego reducido fútbol 4vs4 d) Termografía post-intervención y e) termografía final 10 min. (Figura 1).

Figura 1. Representación esquemática del protocolo de intervención.



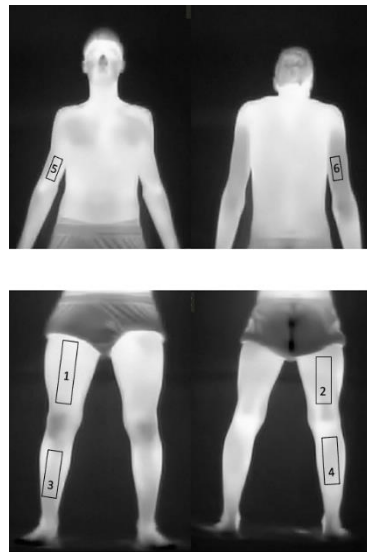
## Instrumento

### Evaluación de la temperatura de la piel

Previo a las mediciones, los futbolistas permanecieron 10 minutos en reposo en el entorno controlado para lograr la estabilización térmica de la piel. Posteriormente, se capturaron las imágenes termográficas pre-intervención en proyección anterior y posterior, Post-intervención y final 10 min tras la intervención de SSG con una cámara infrarroja HIKMICRO M31T ( $384 \times 288$  píxeles, NETD  $<0.05$  °C, precisión  $\pm 0.5$  °C; y el Software de análisis térmico Hikmicro Analyzer, Hangzhou, China). La cámara se ubicó a 1 m del futbolista, perpendicular a la región de interés (ROI), encendiéndose 10 min antes para estabilización. Las imágenes se tomaron con el futbolista de pie, en ropa interior (Carvalho et al., 2021).

Se controlaron condiciones ambientales (temperatura 27 °C y humedad relativa 63%) y de preparación (p. ej., evitar alcohol, cafeína, fumar, cosméticos, comidas copiosas, ungüentos, sol y actividad física) para minimizar factores de influencia. Se completó la lista TISEM para verificar el protocolo (Moreira et al., 2017). Se definieron seis ROI de las cuales se registraron la temperatura media de: muslo anterior (MA) y posterior (MP), pierna anterior (PA) y posterior (PP), brazo anterior (BA) y posterior (BP) (Figura 2).

Figura 2. Ilustración representativa de las regiones de interés (ROI).



Nota: 1 Muslo anterior, 2: muslo posterior, 3: pierna anterior, 4: pierna posterior, 5: brazo anterior, 6: brazo posterior.

### Situación de juego reducido (desarrollo de fuerza)

Para la intervención con juego reducido, se utilizó un formato 4vs4 en un campo de 30x15 metros (56 m<sup>2</sup> por jugador), con porterías pequeñas. No se implementó la regla del fuera de juego, y la reposición del balón se realizó manualmente (Wen et al., 2024). Se colocaron varios balones ( $n > 4$ ) de manera estratégica alrededor del campo en cada juego, para facilitar una recuperación rápida del balón cuando salga de los límites, se realizaron 5 repeticiones con una duración de juego de 3 minutos y recuperación de 1 minuto.

Durante el juego, no se proporcionó ningún estímulo verbal. Los equipos fueron conformados por el entrenador, quien se encargó de equilibrar la competencia técnica y táctica, las posiciones de juego. Cada equipo debía incluir al menos un defensor, un mediocampista y un atacante. Estas composiciones de equipo fueron predeterminadas y se mantuvieron constantes durante las evaluaciones, con el fin de optimizar la dinámica del equipo. Para medir la intensidad experimentada por los futbolistas durante la intervención, se les monitoreó la frecuencia cardíaca mediante pulsómetros de marca Sigma Sport iD.RUN HR., el cual se tenía como criterio de intensidad alcanzar el 95% de la frecuencia cardíaca máxima, igualmente se les pidió que informaran su esfuerzo percibido al finalizar la sesión. Esto implicaba calificar su respuesta a la pregunta "¿Qué tan intensa fue la sesión?" en la escala CR-10 Borg (Borg, 1988), que se administró individualmente a cada futbolista.

### Análisis de datos

El análisis estadístico se realizó mediante el software JASP (v 0.95.3.0). En primer lugar, se verificaron los supuestos de normalidad y homocedasticidad mediante las pruebas de Shapiro-Wilk y Levene, respectivamente, observándose el incumplimiento del supuesto de normalidad. En consecuencia, se efectuó un análisis descriptivo empleando la mediana y el rango intercuartílico como medidas de tendencia central y dispersión.

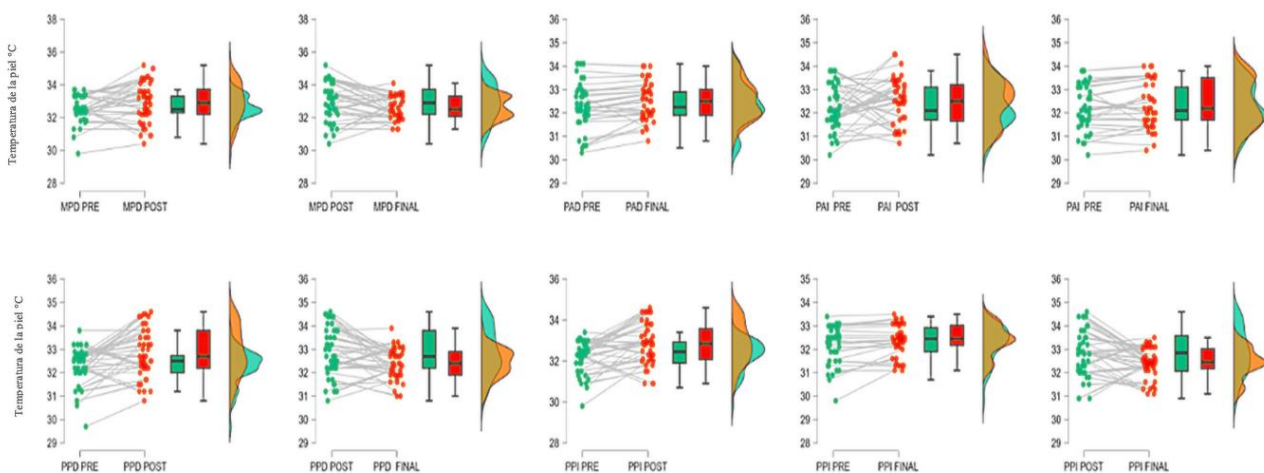
Para el análisis inferencial, se aplicó la prueba no paramétrica de Wilcoxon (W) para muestras relacionadas, con el objetivo de comparar diferentes momentos de medición por pares dentro del mismo segmento corporal (derecho e izquierdo): pre vs. post, pre vs. final y post vs. final, a fin de determinar la variación de la temperatura de la piel. Asimismo, se realizaron comparaciones entre segmentos en diferentes momentos (derecho vs izquierdo) para identificar posibles asimetrías térmicas. El nivel de significancia se estableció en  $p < .05$ . Se calcularon los tamaños del efecto (ES) ( $r$ ) conforme a los criterios propuestos por Cohen (1988). Considerando un efecto grande ( $r \geq 0.50$ ), moderado ( $r = 0.30$ ) y pequeño ( $r = 0.10$ ). Finalmente, se estimaron los intervalos de confianza del 95% para todas las comparaciones.

## Resultados

### Variación temperatura media de la piel entre momentos

En el tren inferior se observaron diferencias significativas en la temperatura de la piel según el momento de medición en los diferentes ROI. En el muslo posterior derecho (MPD) se identificaron diferencias entre *pre* y *post* ( $32.5 \pm 0.7$  °C vs.  $32.9 \pm 1.1$  °C;  $p < .05$ ; ES = 0.3) y entre *post* y *final* ( $32.9 \pm 1.1$  °C vs.  $32.5 \pm 0.7$  °C;  $p < .05$ ; ES = 0.3). En la pierna anterior derecha (PAD) se registraron diferencias entre *pre* y *final* ( $32.3 \pm 0.9$  °C vs.  $32.5 \pm 0.9$  °C;  $p < .001$ ; ES = 0.6), mientras que en la pierna anterior izquierda (PAI) se observaron diferencias entre *pre* y *post* ( $32.1 \pm 0.9$  °C vs.  $32.5 \pm 0.9$  °C;  $p < .001$ ; ES = 0.2). Asimismo, *pre* y *final* ( $32.1 \pm 0.9$  °C vs.  $32.5 \pm 0.9$  °C;  $p < .001$ ; ES = 0.6). En la pierna posterior derecha (PPD) se evidenciaron diferencias entre *pre* y *post* ( $32.5 \pm 0.7$  °C vs.  $32.8 \pm 1.0$  °C;  $p < .001$ ; ES = 0.6), *post* y *final* ( $32.8 \pm 1.0$  °C vs.  $32.4 \pm 0.6$  °C;  $p < .05$ ; ES = 0.4). En la pierna posterior izquierda (PPI) se identificaron diferencias entre *pre* y *post* ( $32.5 \pm 0.9$  °C vs.  $32.8 \pm 1.0$  °C;  $p < .001$ ; ES = 0.5), *pre* y *final* ( $32.5 \pm 0.9$  °C vs.  $32.4 \pm 0.6$  °C;  $p < .001$ ; ES = 0.8), y entre *post* y *final* ( $32.8 \pm 1.0$  °C vs.  $32.4 \pm 0.6$  °C;  $p < .001$ ; ES = 0.4) (Figura 3).

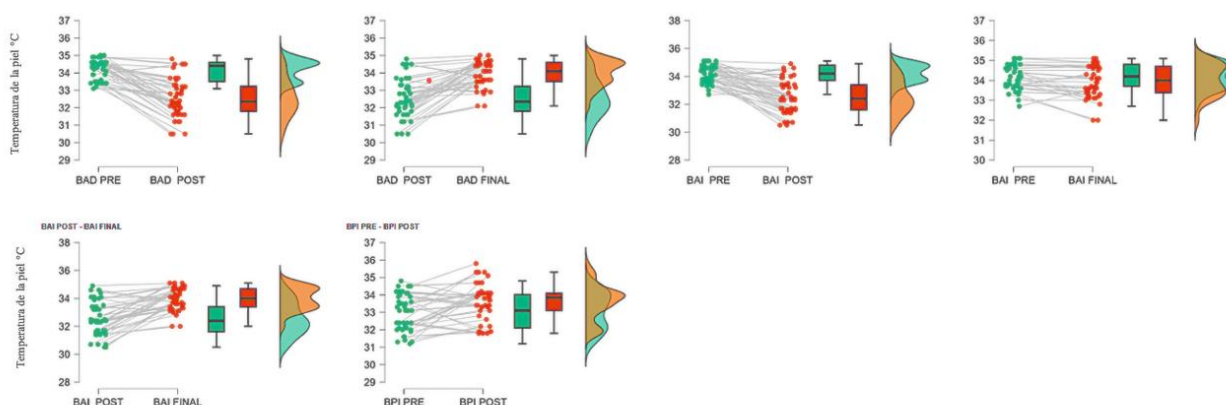
Figura 3. Cambios de temperatura en las variables MPD, PAD, PAI y PPI en los momentos de evaluación PRE, POST y FINAL. Cada panel representa la distribución y comparación de los datos mediante diagramas de caja y violín.



Nota: MPD = muslo posterior derecho; PAD = pierna anterior derecha; PAI = pierna anterior izquierda; PPI = pierna posterior izquierda.

En la figura 4 referente al tren superior se encontraron diferencias significativas en el brazo anterior derecho pre vs. post, ( $34.4 \pm 0.5$  °C vs.  $32.3 \pm 1.1$  °C;  $p < .001$ ; ES = 0.9); post vs. final, ( $32.3 \pm 1.1$  °C vs.  $34.1 \pm 0.7$  °C;  $p < .001$ ; ES = 0.8); el brazo anterior izquierdo pre vs. post, ( $32.2 \pm 0.6$  °C vs.  $32.4 \pm 1.1$  °C;  $p < .001$ ; ES = 0.9); pre vs. final, ( $32.2 \pm 0.6$  °C vs.  $34.0 \pm 0.8$  °C;  $p < .001$ ; ES = 0.7); post vs. final, ( $32.4 \pm 1.1$  °C vs.  $34.0 \pm 0.8$  °C;  $p < .001$ ; ES = 0.9) y brazo posterior izquierdo pre vs. post, ( $33.1 \pm 1.0$  °C vs.  $33.8 \pm 1.0$  °C;  $p < .05$ ; ES = 0.4).

Figura 4. Cambios de temperatura en las variables BAD, BAI y BPI en los momentos de evaluación PRE, POST y FINAL. Cada panel representa la distribución y comparación de los datos mediante diagramas de caja y violín.



Nota: BAD = brazo anterior derecho; BAI =brazo anterior izquierdo; BPI =brazo posterior izquierdo.

### Asimetría en la temperatura media de la piel por juego reducido

La tabla 1 muestra las asimetrías térmicas relevantes en el tren inferior las cuales se concentran en el muslo posterior y, en menor medida, en la pierna anterior. Los valores de ES entre (0.6 - 0.9) reflejan efectos grandes. En contraste, muslo anterior y pierna posterior presentan estabilidad bilateral a lo largo de las mediciones.

Tabla 1. ROI con diferencias significativas entre hemicuerpos tren inferior.

ROIs	Momento	Derecha		Izquierda		P	ES
		Mdn	DE	Mdn	DE		
Muslo anterior	Pre	33.0°C	0.8	32.9°C	0.8	0.71	0.04
	Post	33.5°C	1.0	33.3°C	0.8	0.12	0.29
	Final	33.0°C	0.7	32.2°C	0.7	0.37	0.16
Pierna anterior	Pre	32.3°C	0.9	32.1°C	0.9	0.02*	0.37
	Post	32.6°C	0.8	32.5°C	0.9	0.70	0.08
	Final	32.5°C	0.8	32.2°C	1.0	0.10	0.30
Muslo posterior	Pre	32.5°C	0.7	32.8°C	0.7	<0.01**	0.90
	Post	32.9°C	1.1	33.1°C	1.0	0.03*	0.37
	Final	32.5°C	0.7	32.8°C	0.7	<0.01**	0.64
Pierna posterior	Pre	32.5°C	0.7	32.5°C	0.7	0.79	0.04
	Post	32.7°C	1.0	32.8°C	1.0	0.07	0.38
	Final	32.4°C	0.6	32.5°C	0.6	0.75	0.06

Nota: Mdn: mediana; DE: Desviación estándar; ES: Tamaño efecto; Significancia:  $p < .05^*$ ,  $p < .01^{**}$ ,  $p < .001^{***}$ .

Respecto al tren superior el brazo posterior muestra un aumento en la temperatura de la piel significativo post-intervención en el lado izquierdo, con un tamaño del efecto grande (ES = 0.69). El brazo anterior muestra una estabilidad térmica bilateral constante en los diferentes momentos de evaluación (Tabla 2).

Tabla 2. ROI con diferencias significativas entre hemicuerpos tren superior.

ROIs	Momento	Derecha		Izquierda		P	ES
		Mdn	DE	Mdn	DE		
Brazo anterior	Pre	34.4°C	0.5	34.2°C	0.6	0.35	0.17
	Post	32.3°C	1.1	32.4°C	1.1	0.99	0.01
	Final	34.1°C	0.7	34.0°C	0.8	0.61	0.09
Brazo posterior	Pre	33.4°C	1.1	33.1°C	1.0	0.32	0.16
	Post	33.3°C	0.9	33.8°C	1.0	<0.01**	0.69
	Final	33.6°C	1.0	33.4°C	1.0	0.70	0.06

Nota: Mdn: mediana; DE: Desviación estándar; ES: Tamaño efecto; Significancia:  $p < .05^*$ ,  $p < .01^{**}$ ,  $p < .001^{***}$ .

## Discusión

Los resultados del presente estudio evidenciaron variaciones significativas en la temperatura de la piel en distintos ROI del tren inferior, especialmente en el muslo posterior y la pierna anterior, tanto en el hemicuerpo derecho como en el izquierdo. El incremento térmico observado en el post SSG, particularmente en el MPD y en PAI, sugiere un aumento de la actividad metabólica y de la perfusión sanguínea en los grupos musculares más implicados durante los esfuerzos intermitentes de los juegos reducidos (Fernández-Cuevas et al., 2015; Masur et al., 2024). La posterior disminución hacia el momento final, evidenciada en la mayoría de los ROI, indicaría una fase de recuperación termorreguladora y de redistribución del flujo sanguíneo tras el cese de la carga (Majano et al., 2023). Asimismo, las diferencias bilaterales observadas, especialmente en la pierna posterior izquierda (PPI), podrían estar relacionadas con la dominancia lateral y la ejecución repetida de gestos específicos como pases, giros o cambios de dirección, los cuales generan demandas asimétricas en los miembros inferiores (Espada et al., 2021)

Este hallazgo coinciden con estudios que han documentado incrementos térmicos tras esfuerzos prolongados o de alta intensidad, seguidos de una fase de enfriamiento gradual, lo cual se asocia con la fatiga muscular y los mecanismos de disipación del calor (Fernandes et al., 2016; Hu et al., 2025; Korkmaz et al., 2025; Majano et al., 2023). En un estudio, Majano et al. (2023) observaron la relación entre las demandas físicas, la temperatura de la piel y el bienestar de jugadores de fútbol de élite, concluyendo que las variaciones térmicas reflejan de manera sensible el estado fisiológico y el estrés térmico inducido por el ejercicio.

No obstante, otros estudios han reportado resultados contradictorios, indicando que las respuestas térmicas pueden no ser uniformes entre segmentos corporales o incluso no presentar variaciones significativas tras cargas físicas similares (de Carvalho et al., 2021; Metoyer et al., 2025), factores como la individualidad biológica, la experiencia deportiva y las diferencias en la intensidad de los SSG pueden modular la respuesta térmica, limitando la comparabilidad entre estudios (Gómez-Carmona et al., 2020). Asimismo, Fernández-Cuevas et al. (2015) advierten que el control ambiental, el momento de medición y las condiciones previas al ejercicio influyen considerablemente en los valores registrados. Estas discrepancias sugieren la necesidad de estandarizar los protocolos termográficos y considerar las particularidades de la población evaluada para interpretar adecuadamente las variaciones térmicas observadas.

Respecto a las asimetrías entre hemicuerpos, los resultados muestran en términos generales que fueron reducidas, lo que sugiere una adecuada simetría bilateral y un control térmico eficiente. Sin embargo, se identificaron diferencias significativas en regiones específicas, particularmente en la pierna anterior, el muslo posterior y el brazo posterior, lo que evidencia que las variaciones térmicas pueden estar moduladas por la función muscular y la carga de trabajo aplicada.

En los miembros inferiores, el muslo anterior no presentó diferencias significativas entre ambos lados, mostrando una distribución térmica estable a lo largo de los tres momentos. Este comportamiento se considera fisiológicamente normal, ya que diferencias inferiores a 0.3 °C no reflejan desequilibrios relevantes (Fernández-Cuevas et al., 2015; Ring & Ammer, 2012). Por el contrario, la pierna anterior evidenció una asimetría significativa en el momento Pre ( $p = .02$ ;  $d = 0.37$ ), que desapareció tras el ejercicio. Este patrón coincide con lo descrito por Lahiri et al. (2012) y Moreira et al. (2017), quienes señalan que el aumento del flujo sanguíneo durante la actividad física favorece la homogeneización térmica cutánea, reduciendo las diferencias bilaterales previamente existentes. Dichos cambios sugieren que la activación muscular induce una redistribución térmica compensatoria que equilibra el perfil térmico entre hemicuerpos. El muslo posterior mostró diferencias significativas en los tres momentos evaluados ( $p < 0.05$ ;  $d = 0.37 - 0.90$ ), con temperaturas consistentemente mayores en un hemicuerpo. Esta persistencia podría reflejar un patrón de activación desigual, dominancia lateral o una sobrecarga funcional mantenida.

Resultados similares han demostrado que las regiones musculares implicadas en acciones repetitivas o con alta demanda excéntrica tienden a mostrar asimetrías térmicas más evidentes (Hildebrandt et al., 2012; Selfe et al., (2006). Sin embargo, otras investigaciones sugieren que la temperatura de la piel entre isquiotibiales y cuádriceps podrían estar más relacionadas con factores termorreguladores que con desequilibrios de fuerza o fatiga (da Silva et al., 2018; Mendonça et al., 2020)

En la pierna posterior no se hallaron diferencias significativas ( $p > .05$ ), confirmando la existencia de una regulación térmica estable. Este hallazgo concuerda con los resultados de Zhang et al. (2023), quienes observaron simetría térmica consistente en esta región, atribuyéndole a una participación muscular más homogénea.

En los miembros superiores, tanto el brazo anterior como el posterior mantuvieron temperaturas simétricas, salvo una diferencia puntual en el brazo posterior durante el momento Post ( $p < 0.01$ ;  $d = 0.69$ ). Este incremento térmico unilateral podría relacionarse con un uso dominante del miembro durante la tarea o con un proceso de recuperación local acelerado tras una fatiga acumulada (Adamczyk et al., 2016; Machado et al., 2023). Sin embargo, la normalización en el momento Final indica que estas asimetrías son transitorias y responden a ajustes fisiológicos propios de la termorregulación post ejercicio. De acuerdo con Priego-Quesada et al. (2019), las variaciones térmicas en extremidades superiores suelen ser menores y más efímeras, debido a su menor implicación locomotora y a la menor masa muscular respecto a las extremidades inferiores.

En conjunto, los hallazgos de este estudio respaldan la idea de que las asimetrías térmicas son fenómenos localizados y dinámicos, influenciados por la intensidad del esfuerzo, la dominancia lateral y la eficiencia del sistema vascular. El hecho de que los efectos térmicos observados presentan tamaños del efecto variables (de pequeño a moderado) sugiere que, aunque los cambios son estadísticamente significativos, su magnitud fisiológica puede ser moderada y dependiente de factores individuales como el nivel de condición física, la capacidad de termorregulación, la hidratación y la distribución de flujo sanguíneo regional. La sensibilidad de la termografía para detectar estos cambios la convierte en una herramienta prometedora para estudios de control de carga, recuperación y prevención lesional en entornos deportivos.

Desde una perspectiva práctica, estos resultados apoyan la inclusión de evaluaciones térmicas periódicas durante sesiones de entrenamiento o competencias en futbolistas, especialmente en formatos de juego reducido. Las fluctuaciones térmicas identificadas podrían informar decisiones sobre cargas de entrenamiento, necesidades de recuperación activa o intervenciones locales para modular la fatiga muscular. Sin embargo, debido al carácter exploratorio del estudio (piloto) y a la variabilidad individual inherente, se recomienda cautela antes de generalizar los hallazgos.

### **Limitaciones**

Cabe señalar que el estudio no consideró factores como el hemicuerpo dominante, grado de sudoración, percepción térmica individual o variaciones ambientales menores durante las mediciones, los cuales podrían influir en las lecturas térmicas. Además, el tamaño muestral relativamente modesto y el diseño sin grupo control restringen la capacidad de inferir causalidad.

En futuras investigaciones, se sugiere emplear diseños con grupos control, tener en cuenta el hemicuerpo dominante, debido a que este puede modificar la perfusión sanguínea, la actividad muscular y la respuesta térmica tras esfuerzos intermitentes. Incorporar esta variable permitiría distinguir mejor entre asimetrías fisiológicas propias del deporte y alteraciones térmicas potencialmente asociadas a fatiga o riesgo lesional, aumentar la frecuencia de medición térmica (por ejemplo, cada 2-5 minutos), incorporar medidas fisiológicas complementarias (lactato, electromiografía, termorregulación cutánea) y realizar estudios longitudinales para explorar la relación entre patrones térmicos y riesgo lesional a mediano y largo plazo.

### **Conclusiones**

El presente estudio piloto evidenció que la temperatura de la piel de los futbolistas varía significativamente a lo largo de las diferentes fases de un juego reducido, mostrando respuestas térmicas diferenciadas entre el tren superior e inferior. Los incrementos observados tras el ejercicio y los descensos durante la recuperación reflejan adaptaciones fisiológicas vinculadas a la demanda metabólica y a los mecanismos de termorregulación. Asimismo, las asimetrías térmicas detectadas en el muslo posterior y la pierna anterior podrían indicar zonas de mayor carga funcional durante el juego.

## Financiación

Este estudio no ha recibido financiación por parte de ninguna entidad pública ni privada.

## Referencias

- Adamczyk, J. G., Krasowska, I., Boguszewski, D., & Reaburn, P. (2016). The use of thermal imaging to assess the effectiveness of ice massage and cold-water immersion as methods for supporting post-exercise recovery. *Journal of thermal biology*, 60, 20-25. <https://doi.org/10.1016/j.jtherbio.2016.05.006>
- Espada, M. C., Jardim, M., Assunção, R., Estaca, A., Ferreira, C. C., Pessôa Filho, D. M., Verardi, C. E. L., Gamonales, J. M., & Santos, F. J. (2023). Lower Limb Unilateral and Bilateral Strength Asymmetry in High-Level Male Senior and Professional Football Players. *Healthcare (Basel, Switzerland)*, 11(11), 1579. <https://doi.org/10.3390/healthcare11111579>
- Bauer, P., Anzer, G., & Shaw, L. (2023). Putting team formations in association football into context. *Journal of sports analytics*, 9(1), 39-59. <https://doi.org/10.3233/JSA-220620>
- Borg, G. (1998). *Borg's perceived exertion and pain scales*. Human kinetics.
- Bourdon, P., Cardinale, M., Murray, A., Gastin, P., Kellmann, M., Varley, M. C., Gabbett, T., Coutts, A., Burgess, D., Gregson, W., & Cable, N. (2017). Monitoring athlete training loads: Consensus statement. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 12(2), 161-170. <https://doi.org/10.1123/IJSPP.2017-0208>
- Burke, L. M., Hawley, J. A., Wong, S. H., & Jeukendrup, A. E. (2011). Carbohydrates for training and competition. *Journal of sports sciences*, 29 Suppl 1, S17-S27. <https://doi.org/10.1080/02640414.2011.585473>
- Carvalho, J., Kunzler, M. R., Priego-Quesada, J. I., Aparicio, I., Pérez-Soriano, P., Machado, Á. S., & Carpes, F. P. (2021). Effects of 24 h Compression Interventions with Different Garments on Recovery Markers during Running. *Life*, 11(9), 905. <https://doi.org/10.3390/life11090905>
- Clemente, F. M., Praça, G., Aquino, R., Castillo, D., Raya-González, J., & Rico-González, M. et al. (2023). Effects of pitch size on soccer players' physiological, physical, technical, and tactical responses during small-sided games: a meta-analytical comparison. *Biology of Sport*, 40(1), 111-147. <https://doi.org/10.5114/biolsport.2023.110748>
- Cohen J (1988) *Statistical power analysis for the behavioral sciences*. Lawrence Erlbaum, London
- da Silva, W., Machado, Á. S., Souza, M. A., Kunzler, M. R., Priego-Quesada, J. I., & Carpes, F. P. (2018). Can exercise-induced muscle damage be related to changes in skin temperature?. *Physiological measurement*, 39(10), 104007. <https://doi.org/10.1088/1361-6579/aae6df>
- de Carvalho, G., Girasol, C. E., Gonçalves, L. G. C., Guirro, E. C. O., & Guirro, R. R. J. (2021). Correlation between skin temperature in the lower limbs and biochemical marker, performance data, and clinical recovery scales. *PLoS one*, 16(3), e0248653. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0248653>
- Fernandes, A. A., Moreira, D. G., Brito, C. J., da Silva, C. D., Sillero-Quintana, M., Pimenta, E. M., Bach, A. J., Garcia, E. S., & Bouzas Marins, J. C. (2016). Validity of inner canthus temperature recorded by infrared thermography as a non-invasive surrogate measure for core temperature at rest, during exercise and recovery. *Journal of thermal biology*, 62(Pt A), 50-55. <https://doi.org/10.1016/j.jtherbio.2016.09.010>
- Fernández-Cuevas, I. (2019, noviembre). Aplicación de la termografía infrarroja para la prevención, seguimiento de lesiones y apoyo al diagnóstico en el deporte y la salud [Presentación oral]. 15º Congreso Internacional de Ciencias del Deporte y la Salud, Pontevedra, España. <https://www.researchgate.net/publication/339816234>
- Fernández-Cuevas, I., Bouzas Marins, J. C., Arnáiz-Lastras, J., Gómez-Carmona, P. M., Piñonosa Cano, S., García-Concepción, M. Á., & Sillero-Quintana, M. (2015). Classification of factors influencing the use of infrared thermography in humans: A review. *Infrared Physics & Technology*, 71, 28-55. <https://doi.org/10.1016/j.infrared.2015.02.007>
- Gómez-Carmona, P., Fernández-Cuevas, I., Sillero-Quintana, M., Arnáiz-Lastras, J., & Navandar, A. (2020). Infrared Thermography Protocol on Reducing the Incidence of Soccer Injuries. *Journal of sport rehabilitation*, 29(8), 1222-1227. <https://doi.org/10.1123/jsr.2019-0056>

- Hildebrandt, C., Raschner, C., & Ammer, K. (2010). An overview of recent application of medical infrared thermography in sports medicine in Austria. *Sensors (Basel, Switzerland)*, 10(5), 4700–4715. <https://doi.org/10.3390/s100504700>
- Hu, C., Du, N., Liu, Z., & Song, Y. (2025). Can Infrared Thermal Imaging Reflect Exercise Load? An Incremental Cycling Exercise Study. *Bioengineering (Basel, Switzerland)*, 12(3), 280. <https://doi.org/10.3390/bioengineering12030280>
- Korkmaz, S., Thapa, R. K., Relph, N., Çalik, İ., & Uysal, H. Ş. (2025). Thermal imaging responses of lower-limb muscles following anaerobic testing in male soccer players: A time-series approach. *PloS one*, 20(10), e0331102. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0331102>
- Lahiri, B. B., Bagavathiappan, S., Jayakumar, T., & Philip, J. (2012). Medical applications of infrared thermography: A review. *Infrared Physics & Technology*, 55(4), 221-235. <https://doi.org/10.1016/j.infrared.2012.03.007>
- León, H., Sánchez, A. & Ramírez, J. (2011). Demandas fisiológicas y psicológicas en el fútbol. *Revista de Investigación Cuerpo, Cultura y Movimiento*, 1(2), 41-55. <https://doi.org/10.15332/s2248-4418.2011.0002.02>
- Macedo, A., Almeida, T., Massini, D., de Oliveira, D., Espada, M., Robalo, R., Hernández-Beltrán, V., Gamonales, J., Vilela, A., & Pessôa, D. (2024). Métodos de monitoreo de carga para controlar la efectividad del entrenamiento sobre el acondicionamiento físico y la planificación de la participación: una revisión narrativa. *Ciencias aplicadas*, 14(22), 10465. <https://doi.org/10.3390/app142210465>
- Machado, Á. S., da Silva, W., Priego-Quesada, J. I., & Carpes, F. P. (2023). Can infrared thermography serve as an alternative to assess cumulative fatigue in women?. *Journal of thermal biology*, 115, 103612. <https://doi.org/10.1016/j.jtherbio.2023.103612>
- Majano, C., Garcia-Unanue, J., Fernández-Cuevas, I., Escamilla-Galindo, V., Alonso-Callejo, A., Sanchez-Sanchez, J., Gallardo, L., & Felipe, J. L. (2023). Association between physical demands, skin temperature and wellbeing status in elite football players. *Scientific reports*, 13(1), 13780. <https://doi.org/10.1038/s41598-023-40396-y>
- Masur, L., Brand, F., & Düking, P. (2024). Response of infrared thermography related parameters to (non-)sport specific exercise and relationship with internal load parameters in individual and team sport athletes-a systematic review. *Frontiers in sports and active living*, 6, 1479608. <https://doi.org/10.3389/fspor.2024.1479608>
- McKay, A. K. A., Stellingwerff, T., Smith, E. S., Martin, D. T., Mujika, I., Goosey-Tolfrey, V. L., Sheppard, J., & Burke, L. M. (2022). Defining Training and Performance Caliber: A Participant Classification Framework. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 17(2), 317-331. <https://doi.org/10.1123/ijsp.2021-0451>
- Mendonça Teixeira, R., Dellagrana, R. A., Priego-Quesada, J. I., Machado, J. C. B. P., Fernandes da Silva, J., Pacheco Dos Reis, T. M., & Rossato, M. (2020). Muscular Strength Imbalances Are not Associated with Skin Temperature Asymmetries in Soccer Players. *Life (Basel, Switzerland)*, 10(7), 102. <https://doi.org/10.3390/life10070102>
- Metoyer, C. J., Lever, J. R., Smith-Hale, V., Klaus, C., Ocobock, C., Huebner, A., McGinty, M., Hauenstein, J. D., & Wagle, J. P. (2025). Exploring the Use of Thermography for Monitoring Physiological Responses to Training in Division-I Collegiate Female Soccer Players. *Journal of biophotonics*, 18(8), e70016. <https://doi.org/10.1002/jbio.70016>
- Moreira, D. G., Costello, J. T., Brito, C. J., Adamczyk, J. G., Ammer, K., Bach, A. J. E., Costa, C. M. A., Eglin, C., Fernandes, A. A., Fernández-Cuevas, I., Ferreira, J. J. A., Formenti, D., Fournet, D., Havenith, G., Howell, K., Jung, A., Kenny, G. P., Kolosovas-Machuca, E. S., Maley, M. J., Merla, A., ... Sillero-Quintana, M. (2017). Thermographic imaging in sports and exercise medicine: A Delphi study and consensus statement on the measurement of human skin temperature. *Journal of thermal biology*, 69, 155-162. <https://doi.org/10.1016/j.jtherbio.2017.07.006>
- Priego-Quesada, J. I., Oficial-Casado, F., Gandia-Soriano, A., & Carpes, F. P. (2019). A preliminary investigation about the observation of regional skin temperatures following cumulative training loads in triathletes during training camp. *Journal of thermal biology*, 84, 431-438. <https://doi.org/10.1016/j.jtherbio.2019.07.035>
- Ring, E. F. J., & Ammer, K. (2012). Infrared thermal imaging in medicine. *Physiological Measurement*, 33(3), R33-R46. <https://doi.org/10.1088/0967-3334/33/3/R33>

- Rolong, C. & Rebolledo-Cobos, R. (2021). Relación entre asimetrías en diferentes pruebas de salto y lesiones musculoesqueléticas en futbolistas profesionales de Colombia. *Revista Biociencias*, 16(1), 1-12. <https://doi.org/10.18041/2390-0512/biociencias.1.7836>
- Sarmiento, H., Martinho, D. V., Gouveia, É. R., Afonso, J., Chmura, P., Field, A., Savedra, N. O., Oliveira, R., Praça, G., Silva, R., Barrera-Díaz, J., & Clemente, F. M. (2024). The Influence of Playing Position on Physical, Physiological, and Technical Demands in Adult Male Soccer Matches: A Systematic Scoping Review with Evidence Gap Map. *Sports medicine* (Auckland, N.Z.), 54(11), 2841-2864. <https://doi.org/10.1007/s40279-024-02088-z>
- Selfe, J., Hardaker, N., Thewlis, D., & Karki, A. (2006). An accurate and reliable method of thermal data analysis in thermal imaging of the anterior knee for use in cryotherapy research. *Archives of physical medicine and rehabilitation*, 87(12), 1630-1635. <https://doi.org/10.1016/j.apmr.2006.08.346>
- Silva, A., Teixeira, H. & Bouzas, J. (2022). Bases fisiológicas da aplicação da termografia para controle de carga no futebol: uma breve revisão. *Revista Brasileira de Futebol*, 15(3), 3-20. <https://rbf.ufv.br/index.php/RBFutebol/article/view/368>
- Wen, X., Song, F., Yang, L., & Xu, Q. (2024). Small-Sided Soccer Games Promote Greater Adaptations on Vertical Jump and Change-of-Direction Deficit and Similar Adaptations in Aerobic Capacity than High-Intensity Interval Training in Females. *Journal of sports science & medicine*, 23(2), 445-454. <https://doi.org/10.52082/jssm.2024.445>
- Wilmore, J. & Costill, D. (2004). *Fisiología del esfuerzo y del deporte* (5ª ed.). Editorial Paidotribo.
- Zhang, H. Y., Son, S., Yoo, B. R., & Youk, T. M. (2023). Reference Standard for Digital Infrared Thermography of the Surface Temperature of the Lower Limbs. *Bioengineering* (Basel, Switzerland), 10(3), 283. <https://doi.org/10.3390/bioengineering10030283>

### Datos de los/as autores/as y traductor/a:

Marvyn Moya Ortega	<a href="mailto:marvin_moya80103@elpoli.edu.co">marvin_moya80103@elpoli.edu.co</a>	Autor/Traductor
Walter Gómez Sánchez	<a href="mailto:wlgomez@elpoli.edu.co">wlgomez@elpoli.edu.co</a>	Autor/a
Estefânia Estrada Ocampo	<a href="mailto:estefania_estrada80201@elpoli.edu.co">estefania_estrada80201@elpoli.edu.co</a>	Autor/a
Juan David Fernández Villada	<a href="mailto:jdfernandez@elpoli.edu.co">jdfernandez@elpoli.edu.co</a>	Autor/a
John Garcia Tamayo	<a href="mailto:jagarcia@elpoli.edu.co">jagarcia@elpoli.edu.co</a>	Autor/a
Angie Yetzery Moya Ortega	<a href="mailto:Anmor2@uv.es">Anmor2@uv.es</a>	Autor/a