

# Evaluación comparativa de termómetros digital rectal e infrarrojo en la toma de la temperatura corporal equina

Artículo original

Comparative evaluation of digital rectal and non-invasive infrared thermometers for measuring equine body temperature

Avaliação comparativa de termômetros digital retal e infravermelho na tomada da temperatura corporal equina

Oscar Guedes<sup>1</sup> <https://orcid.org/0009-0001-1698-3430>  
Carolina Viñoles<sup>2</sup> <https://orcid.org/0000-0001-8647-4802>  
Irene Kalpokas<sup>3</sup> <https://orcid.org/0000-0002-7381-9813>

<sup>1</sup>Ejercicio libre de la profesión, estudiante del Programa de Posgrados de la Facultad de Veterinaria, Universidad de la República. Autor para correspondencia: [oscar.23fabian@hotmail.com](mailto:oscar.23fabian@hotmail.com)

<sup>2</sup>Polo de Desarrollo Universitario Agroforestal, CENUR Noreste Cerro Largo, Universidad de la República.

<sup>3</sup>Polo de Desarrollo Equino, CENUR Noreste Cerro Largo, Universidad de la República.

Cómo citar este artículo:

Guedes, O., Viñoles, C., & Kalpokas, I. (2026). Evaluación comparativa de termómetros digital rectal e infrarrojo en la toma de la temperatura corporal equina. *Veterinaria (Montevideo)*, 62(225), e20266222504. <https://doi.org/10.29155/VET.62.225.4>

Veterinaria (Montevideo) Volumen 62  
Nº 225 (2026 Ene - Jun) e20266222501



Recibido: 12/09/2025  
Aceptado: 03/01/2026

## Resumen

El presente estudio evaluó la precisión de la termometría digital infrarroja (TDI) en comparación con la toma de temperatura rectal (TR) en 476 caballos sangre pura de carrera (SPC) clínicamente sanos de abril a junio previo a competencias de turf. Se midieron temperaturas en las regiones del cuello y hombro con TDI, y se compararon con la TR, considerada el método estándar. Las medianas y rangos intercuartílicos fueron cuello 36,2 °C (36,0-36,4), hombro 36,3 °C (36,2-36,5) y rectal 37,6 °C (37,4-37,9). Los análisis de concordancia Bland-Altman mostraron sesgos medios clínicamente relevantes: cuello vs. rectal=-1,59 °C (límites -2,85 a -0,33 °C) y hombro vs. rectal=-1,37 °C (límites -2,26 a -0,47 °C), mientras que cuello vs. hombro presentó un sesgo medio de -0,22 °C (límites -1,20 a 0,76 °C). Los coeficientes de correlación intraclase (ICC) entre TDI y TR fueron bajos (ICC=0,00823, IC 95 %: -0,013 a 0,034, ICC=0,00446, IC 95 %: -0,009 a 0,02, ICC=0,371, IC 95 %: 0,23 a 0,487, para cuello-rectal, hombro-rectal y cuello-hombro; no intercambiables). El modelo lineal mixto (caballo como efecto aleatorio) mostró que estar mojado redujo la temperatura superficial

en 0,59 °C ( $p < 0,001$ ), mientras que la presencia de capa no fue significativa ( $p = 0,32$ ); la temperatura ambiente aumentó la temperatura superficial 0,013 °C por cada 1 °C adicional ( $p < 0,001$ ). El  $R^2$  marginal fue 0,734 y el  $R^2$  condicional 0,77, lo que indica que gran parte de la variabilidad se explica por efectos fijos (región, condiciones ambientales) y que el efecto individual (caballo) es pequeño. Con base en estos hallazgos, la TDI en cuello/hombro no es equivalente ni intercambiable con la TR para diagnóstico de hipertermia en condiciones de campo, aunque puede tener utilidad complementaria bajo condiciones controladas.

**Palabras clave:** Termometría sin contacto, Temperatura central y superficial, Caballo, Medicina veterinaria.

## Abstract

This study evaluated the accuracy of infrared digital thermometry (IDT) compared to rectal temperature (RT) in 476 clinically healthy Thoroughbred racehorses prior to turf competitions. Temperatures were measured in the neck and shoulder regions using IDT and compared with RT, considered the gold standard. Median and interquartile ranges were: neck 36.2 °C (36.0-36.4), shoulder 36.3 °C (36.2-36.5), and rectal 37.6 °C (37.4-37.9). Bland-Altman analyses revealed clinically relevant mean biases: neck vs. rectal = -1.59 °C (limits -2.85 to -0.33 °C), shoulder vs. rectal = -1.37 °C (limits -2.26 to -0.47 °C), and neck vs. shoulder = -0.22 °C (limits -1.20 to 0.76 °C). Intraclass correlation coefficients (ICC) between IDT and RT were low (ICC = 0.00823, 95 % CI: -0.013 to 0.034; ICC = 0.00446, 95 % CI: -0.009 to 0.02; ICC = 0.371, 95 % CI: 0.23 to 0.487, for neck-rectal, shoulder-rectal, and neck-shoulder, respectively), indicating measurements are not interchangeable. A linear mixed model showed that wet conditions decreased surface temperature by 0.59 °C ( $p < 0.001$ ), while coat presence was not significant ( $p = 0.32$ ); ambient temperature increased surface temperature by 0.013 °C per 1 °C increase ( $p < 0.001$ ). Marginal  $R^2$  was 0.734 and conditional  $R^2$  0.77, indicating that most variability is explained by fixed effects (region, environmental conditions) and that individual horse effect is minor. Based on these findings, IDT measurements at the neck and shoulder are neither equivalent nor interchangeable with RT for hyperthermia diagnosis in field conditions, although it may be useful as a complementary tool under controlled conditions.

**Keywords:** Non-contact thermometry, Core and surface temperature, Horse, Veterinary medicine.

## Resumo

O presente estudo avaliou a precisão da termometria digital infravermelha (TDI) em comparação com a temperatura retal (TR) em 476 cavalos Puro Sangue de Corrida clinicamente saudáveis, antes de competições de turfe. As temperaturas foram medidas

nas regiões do pescoço e ombro com TDI e comparadas à TR, considerada padrão-ouro. Valores medianos e intervalos interquartílicos foram: pescoço 36,2 °C (36,0-36,4), ombro 36,3 °C (36,2-36,5) e retal 37,6 °C (37,4-37,9). As análises de Bland-Altman revelaram vieses médios clinicamente relevantes: pescoço vs. retal=-1,59 °C (limites -2,85 a -0,33 °C), ombro vs. retal=-1,37 °C (limites -2,26 a -0,47 °C), pescoço vs. ombro=-0,22 °C (limites -1,20 a 0,76 °C). Os coeficientes de correlação intraclasse (ICC) entre TDI e TR foram baixos (ICC=0,00823, IC 95 %: -0,013 a 0,034; ICC=0,00446, IC 95 %: -0,009 a 0,02; ICC=0,371, IC 95 %: 0,23 a 0,487, para pescoço-retal, ombro-retal e pescoço-ombro, respectivamente), indicando que as medidas não são intercambiáveis. Um modelo linear misto mostrou que estar molhado reduziu a temperatura superficial em 0,59 °C ( $p<0,001$ ), enquanto a presença de pelagem não foi significativa ( $p=0,32$ ); a temperatura ambiente aumentou a temperatura superficial em 0,013 °C para cada 1 °C adicional ( $p<0,001$ ). O  $R^2$  marginal foi 0,734 e o  $R^2$  condicional 0,77, indicando que a maior parte da variabilidade é explicada por efeitos fixos (região, condições ambientais) e que o efeito individual do cavalo é pequeno. Com base nesses achados, as medições de TDI no pescoço e ombro não são equivalentes nem intercambiáveis com a TR para diagnóstico de hipertermia em campo, embora possa ter uso complementar em condições controladas.

**Palabras-chave:** Termometria sem contato, Temperatura central e superficial, Cavalo, Medicina veterinária.

## Introducción

En la actualidad, nuestro país ostenta un alto nivel de competencia en el turf y de calidad genética de sus ejemplares sangre pura de carrera (SPC), mientras que la actividad vinculada a la raza genera 10169 puestos de trabajo (Uruguay XXI, 2021). Considerando esto, el estado de salud general del equino es fundamental para lograr el mejor desempeño. Uno de los parámetros a medir en su chequeo médico en los eventos deportivos es la temperatura corporal, esto es clave para detectar situaciones de hipertermia que pueden afectar su salud y desempeño. La temperatura es uno de los parámetros más comúnmente registrados en el examen clínico y es la causa más común de consultas al veterinario (Ramey et al., 2011). Pese a ser el método tradicionalmente utilizado, es invasivo, lleva tiempo en la ejecución y puede traer riesgos tanto para el animal como para el médico veterinario (Hall et al., 2019; Silva et al., 2022). En una de las últimas encuestas a profesionales equinos, de 620 encuestados, 495 declararon haber sufrido al menos una lesión al realizar este tipo de evaluaciones (Zobrist et al., 2024).

La temperatura corporal superficial tomada mediante el uso de dispositivos infrarrojos, entre ellos la TDI en equinos, ha cobrado importancia en los últimos años por ser rápida, fácil de usar y no invasiva, lo que evita el estrés por manipulación (Verdegaal et al., 2024).

Pese a esto, las diferencias de temperatura central versus la de temperatura superficial están condicionadas por factores externos como el viento, lluvias, abrigo, así como factores del propio animal, como la producción de calor metabólico y el intercambio de calor con el ambiente (Gomes da Silva & Campos Maia, 2013; Zobrist et al., 2024). En equinos, diversas regiones anatómicas han sido sugeridas como potencialmente adecuadas para la evaluación de la temperatura superficial mediante termometría infrarroja, sobre todo aquellas con mayor perfusión sanguínea y menor espesor de piel. Sin embargo, existe variabilidad entre estudios respecto a qué localizaciones presentan mejor capacidad para reflejar cambios de temperatura sistémicos, siendo que las regiones del cuello y hombro han sido reportadas como accesibles, estables y menos afectadas por artefactos posturales en condiciones de campo (Soroko et al., 2018). Hasta la fecha, no se han publicado estudios que evalúen la concordancia entre la TDI en las regiones del cuello y el hombro frente a la TR, pese a ser estas dos localizaciones las más utilizadas por los veterinarios en condiciones reales de campo debido a su accesibilidad y seguridad.

Existen algunos trabajos realizados en equinos que arrojan resultados desiguales respecto a la variabilidad y la precisión de la TDI comparado con la toma rectal, eso se debe en gran parte a las diferentes regiones anatómicas evaluadas, razas, edades, así como el tipo y técnica de uso del dispositivo (Alberghina et al., 2025; Easterwood & Cohen, 2023; Giannetto et al., 2020; Stamberov et al., 2023). Estas diferencias generan la necesidad de validar regiones anatómicas que sean útiles para el uso confiable de la TDI, en especial en contextos deportivos donde la presencia de hipertermia no solo identifica una baja de rendimiento en el equino deportivo, sino que directamente lo deja fuera de espectáculos de competencia. A la fecha, no se han realizado pruebas en poblaciones homogéneas, así como tampoco existe información a nivel nacional.

Nuestra hipótesis plantea que el uso de la TDI presenta una correlación significativa con los valores obtenidos por medición rectal cuando se lo mide en la región del cuello y el hombro, 1) por presentar estas una gran irrigación sanguínea y 2) basándonos en uno de los trabajos recientes con cámara termográfica donde muestran estas zonas con mayor temperatura superficial comparadas con otras regiones (Stamberov et al., 2023). El objetivo de este estudio fue evaluar y validar el uso de la TDI como herramienta alternativa no invasiva a la toma de la TR en equinos SPC clínicamente sanos. Los objetivos específicos son a) determinar la variabilidad entre las regiones anatómicas y correlacionarlas con la toma rectal; b) evaluar los factores externos que pueden influir en la temperatura corporal, como ser la temperatura ambiente, humedad relativa, presencia de capa sobre el animal y pelo mojado; y c) evaluar el uso práctico del termómetro infrarrojo analizando la correlación de la toma por la TDI con la TR.

## Materiales y métodos

El presente trabajo cuenta con la aprobación de la CEUA (protocolo 2058). El ensayo se llevó adelante durante los meses de abril a junio del año 2024, en Montevideo, Uruguay (30°-35° S, 53°-58° W). Se utilizaron 482 caballos de la raza PSC, 307 machos (239 enteros y 68 castrados) y 175 hembras, con un promedio de edad general de 3,4 años (2 a 7 años), clínicamente sanos, en la instancia del chequeo veterinario previo a competencias deportivas (turf). Se midió la temperatura y humedad relativa del lugar con un termohigrómetro digital (TA318) y se calculó el índice de confort térmico (ICT) según la ecuación de Jones (2009): temperatura (°F) + humedad relativa (%), donde un índice menor a 130 indica termo confort. La temperatura corporal se registró en el horario de 13:00 a 20:00 h en los boxes de chequeo veterinario previo a las competencias. Se compararon registros de mediciones por la TDI en regiones de cuello y hombro con la temperatura vía rectal con termómetro digital para evaluar si existieron diferencias entre regiones. Para ello se registraron temperaturas con un termómetro infrarrojo digital (Haier modelo AET-R1B1) en la tabla del cuello y en hombro (Silva et al., 2022; Verdegaal et al., 2024). La temperatura fue medida por un único operador, del lado izquierdo del caballo, a mitad de la región del cuello y en la región del hombro, a 2 cm de la superficie corporal a 90°, mientras los cuidadores sujetaban al caballo del cabestro. Las mediciones por TDI se realizaron solo en cuello y hombro. Estas regiones fueron seleccionadas porque presentan piel relativamente delgada, buena perfusión superficial y menor interferencia por variaciones posturales o sombreados, características relevantes para obtener mediciones térmicas más estables en campo. Estudios previos han descrito estas zonas como adecuadas para evaluaciones térmicas comparativas en equinos (Soroko et al., 2018). Luego, la TR fue medida con un termómetro digital (modelo DMT-433) por los operadores del servicio veterinario, el cual era calibrado de forma rutinaria. El protocolo de medición fue único, se insertó el termómetro digital vía rectal, unos 5 cm aproximadamente, inclinando el termómetro para tomar contacto con la pared del recto. La temperatura ambiente (°C) fue incluida como covariable en el modelo lineal mixto para evaluar su influencia sobre la temperatura superficial y determinar si modificaba la relación entre la TDI y la TR. Se ajustaron modelos con caballo como efecto aleatorio y efectos fijos de región anatómica, ambiente, humedad relativa y condición del pelaje.

Luego, se registraron los datos en planillas (n.º -ID- animal, pelaje, sexo, edad, entero/castrado, temperatura de cuello, hombro, rectal, si tenía capa o no, si estaba mojado o seco, temperatura ambiental y humedad relativa). Al finalizar el trabajo de campo, se eliminaron 6 caballos del estudio por obtenerse temperaturas con la TDI fuera de rango del dispositivo (<32 °C), por lo que 476 caballos, 304 machos (239 enteros y 65 castrados) y 172 hembras fueron los que finalmente se utilizaron.

## Análisis estadístico

Los datos recolectados fueron registrados y organizados en hojas Excel, para su posterior análisis con software estadístico Projects+ versión R4.5.1. Se evaluó la normalidad de los datos mediante el test de Shapiro-Wilk, aplicado a las variables continuas de temperatura (TR, TDI cuello y TDI hombro). Como las comparaciones entre TDI y TR provinieron de mediciones pareadas del mismo caballo y no se cumplió el supuesto de normalidad ( $p < 0,05$ ) se utilizó la prueba de rangos con signo de Wilcoxon para muestras dependientes considerando una significancia estadística de  $p < 0,05$  para evaluar diferencias entre las temperaturas obtenidas por TDI en las regiones del cuello y el hombro con la TR. Los datos fueron presentados como la mediana. Posteriormente, se utilizó la correlación de Spearman para evaluar la correlación entre métodos. También se analizó la correlación entre la edad de los equinos y la temperatura superficial (TS) como el promedio de temperatura entre cuello y hombro y la TR considerando un  $r > 0,7$  de fuerte correlación. Se utilizó el coeficiente de correlación intraclase (CCI) (nivel significancia de  $p < 0,05$ ) para medir el grado de acuerdo absoluto o consistencia entre dos métodos de medición, para saber si los métodos eran intercambiables. Se empleó también el método de Bland-Altman para analizar la concordancia entre las mediciones de temperatura por TDI y por TR. Las variables continuas (temperaturas) agrupadas en dos niveles categóricos (capa, mojado) fueron analizadas con la prueba de Mann-Whitney U, para observar si la capa o la humedad del pelaje afectan la temperatura corporal en las diferentes regiones y entre las diferencias de las temperaturas registradas. Se utilizó una transformación logarítmica para aplicar un modelo lineal mixto para observar cómo las variables capa, mojado, sexo, temperatura ambiente y humedad relativa influyen sobre la temperatura superficial (expresada como el promedio de ambas regiones).

Además, se consideró la variable caballo repetido para controlar los posibles patrones fisiológicos individuales que podrían generar dependencia entre las mediciones y sesgar los resultados. Se empleó un modelo lineal mixto incorporando al caballo como efecto aleatorio, y como efecto fijo a las regiones del cuello, hombro y rectal. Se calculó el  $R^2$  marginal (para efectos fijos) y  $R^2$  condicional (para efectos fijos más aleatorios).

Finalmente, se excluyeron del análisis aquellos animales que presentaron valores fuera del rango operativo del termómetro infrarrojo ( $< 32$  °C), para evitar sesgos derivados del dispositivo.

## Resultados

### Efecto de la temperatura ambiente

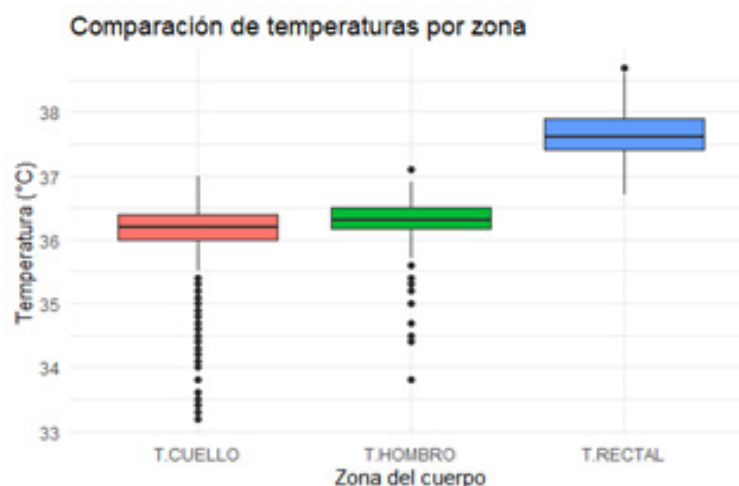
La temperatura ambiental registró una media de 16,4 °C con un mínimo de 10 °C y un máximo de 26,2 °C y la humedad relativa registró una media de 63,9 % con un mínimo de

35 % y un máximo de 91 %. El ICT medido tuvo una media de 125,5 con un mínimo de 101,6 y un máximo de 153,1. El 25 % de los caballos tuvo un ICT igual o menor a 112,8, el 50 % de los caballos tuvo un ICT igual o menor a 123,9 y el 75 % de los caballos tuvo un ICT igual o menor a 137,6.

La temperatura ambiente tuvo un efecto positivo y significativo sobre la temperatura superficial registrada mediante TDI ( $\beta=0,013$  °C por cada 1 °C de incremento;  $p<0,001$ ). Sin embargo, este efecto fue de pequeña magnitud y no modificó el sesgo observado entre TDI y TR ni mejoró la concordancia entre métodos. Los coeficientes de correlación intraclase (ICC) se mantuvieron bajos incluso tras ajustar por la temperatura ambiente.

### Temperatura corporal

La región del cuello presentó una mediana rango intercuartílico (RIC) de 36,2 °C (36,0-36,4), mín.-máx.: 33,2-37,0; la región del hombro una mediana (RIC) de 36,3 °C (36,2-36,5) mín.-máx.: 33,8-37,1; y la toma rectal una mediana (RIC) de 37,6 °C (37,4-37,9), mín.-máx.: 36,7-38,7. El coeficiente de variación fue de 1,6 °C, 0,9 °C y 0,9 °C para la región de cuello, hombro y rectal (gráfico 1).



**Gráfico 1:** Comparación de temperaturas medidas en tres zonas del cuerpo (cuello, hombro y rectal). El gráfico de cajas muestra la distribución de las temperaturas para cada zona. La línea media en cada caja representa la mediana y los límites de caja representan el rango intercuartílico (20 al 75 %). Los puntos representan los valores atípicos y la dispersión general de los datos.

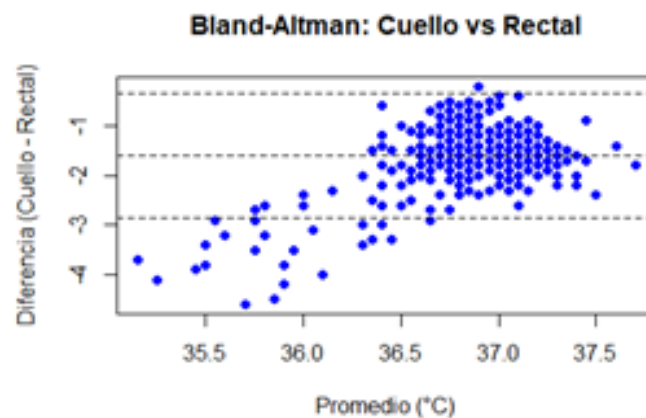
La prueba de rangos con signos de Wilcoxon (nivel significancia de  $p=0,05$ ) dio valores de  $V=0$ ,  $p\text{-value}<2,2e-16$ ,  $V=0$ ,  $p\text{-value}<2,2e-16$  y  $V=14964$ ,  $p\text{-value}<2,2e-16$  para cuello-rectal, hombro-rectal y cuello-hombro.

Las correlaciones de Spearman indicaron ausencia de correlación significativa entre TDI y TR tanto en el cuello ( $\rho=0,033$ ;  $p=0,4658$ ) como en el hombro ( $\rho=0,0078$ ;  $p=0,8649$ ). En cambio, se observó una correlación moderada y altamente significativa entre las temperaturas obtenidas en cuello y hombro ( $\rho=0,498$ ;  $p<2,2e-16$ ).

Para la correlación con la edad, los valores fueron de  $\rho=0,094$  y un valor de  $p=0,0394$  y un  $\rho=0,052$  y un valor de  $p=0,2594$  para TS y TR.

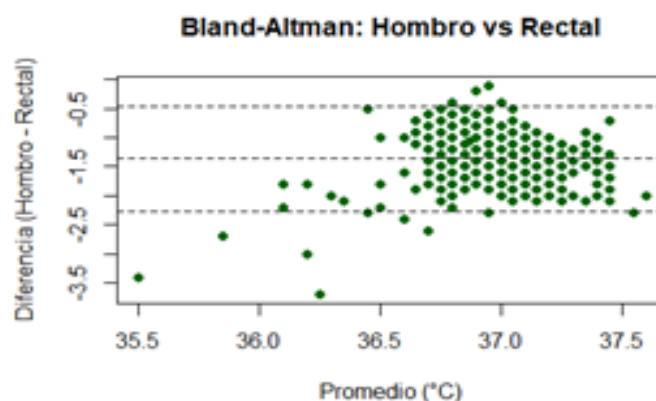
El coeficiente de correlación intraclase (CCI) (nivel significancia de  $p<0,05$ ) presentó valores de  $ICC=0,00823$ , IC 95 %:  $-0,013$  a  $0,034$ ,  $p=0,25$ ,  $ICC=0,00446$ , IC 95 %:  $-0,009$  a  $0,02$ ,  $p=0,276$ ,  $ICC=0,371$ , IC 95 %:  $0,23$  a  $0,487$ ,  $p=7,86e-07$  para cuello-rectal, hombro-rectal y cuello-hombro.

El gráfico 2 de Bland-Altman mostró un sesgo medio de  $-1,59$  °C con límites de acuerdo inferior de  $-2,85$  °C y superior de  $-0,33$  °C para las diferencias entre la toma de cuello-rectal.



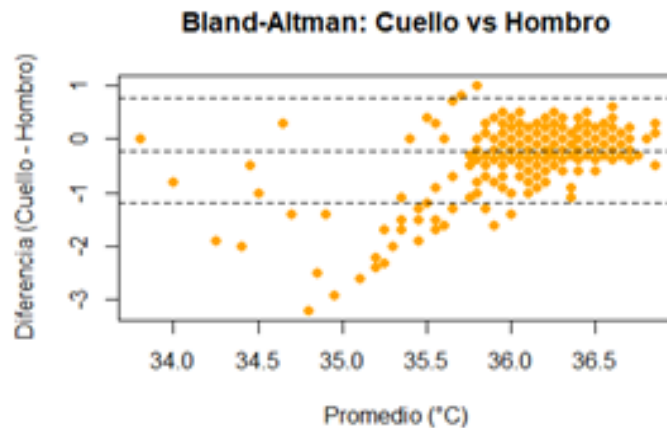
**Gráfico 2:** Acuerdo entre temperatura de cuello y rectal de 476 caballos. La línea central representa el sesgo medio ( $-1,59$  °C) y las líneas extremas representan los límites de concordancia (sesgo medio  $\pm 1,26$  °C).

El gráfico 3 de Bland-Altman mostró un sesgo medio de  $-1,37$  °C con límites de acuerdo inferior de  $-2,26$  °C y superior de  $-0,47$  °C para las diferencias entre la toma de hombro-rectal.



**Gráfico 3:** Acuerdo entre temperatura de hombro y rectal de 476 caballos. La línea central representa el sesgo medio ( $-1,37$  °C) y las líneas extremas representan los límites de concordancia (sesgo medio  $\pm 0,9$  °C).

El gráfico 4 de Bland-Altman mostró un sesgo medio de  $-0,22\text{ }^{\circ}\text{C}$  con límites de acuerdo inferior de  $-1,2\text{ }^{\circ}\text{C}$  y superior de  $0,76\text{ }^{\circ}\text{C}$  para las diferencias entre la toma de cuello-hombro.



**Gráfico 4:** Acuerdo entre temperatura de cuello y hombro de 476 caballos. La línea central representa el sesgo medio ( $-0,22\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) y las líneas extremas representan los límites de concordancia (sesgo medio  $\pm 0,97\text{ }^{\circ}\text{C}$ ).

En la tabla 1 se presentan el efecto de la capa y la humedad del pelaje sobre la temperatura corporal en las diferentes regiones evaluadas.

**Tabla 1.** Comparación de temperaturas entre dos grupos (mojado y capa) mediante la prueba de Wilcoxon/Mann-Whitney

Variable evaluada	Comparación	Estadístico W	Valor p
TCUELLO	Mojado vs. seco	18427,5	<0,001
DIFCUELECT	Mojado vs. seco	18013	<0,001
DIFCUEHOM	Mojado vs. seco	16542	<0,001
DIFCUEHOM	Con capa vs. sin capa	17715	<0,001
THOMBRO	Con capa vs. sin capa	30209,5	<0,001
THOMBRO	Mojado vs. seco	12431,5	0,016
DIFHOMRECT	Con capa vs. sin capa	27729	0,022
DIFCUELECT	Con capa vs. sin capa	22295	0,108
DIFHOMRECT	Mojado vs. seco	11475,5	0,183
TCUELLO	Con capa vs. sin capa	22760	0,200
TRECTAL	Mojado vs. seco	10709,5	0,627
TRECTAL	Con capa vs. sin capa	24292,5	0,861

Se consideró significancia estadística un valor de  $p < 0,05$ . TCUELLO=temp. infrarroja en cuello; THOMBRO=temp. infrarroja en hombro; DIFCUELECT=temp. cuello-rectal; DIFCUEHOM=temp. cuello-hombro; DIFHOMRECT=temp. hombro-rectal.

El modelo lineal mixto para las diferentes variables de efecto fijo (capa, mojado, sexo, humedad relativa y temperatura ambiente) y aleatorio (caballos) mostró una varianza entre caballos de 0,0000259 (SD=0,0051) y una varianza residual de 0,00006421 (SD=0,0080) (tabla 2 y tabla 3).

**Tabla 2.** Modelo lineal mixto

Variable	$\beta$ (log)	p	Cambio °C aprox.	Interpretación
Intercepto	3,581	<0,001	35,9	Temperatura promedio del grupo de referencia
Capa (NO vs. SI)	-0,00103	0,32	-0,04	No significativo
Mojado (SI vs. NO)	-0,01654	<0,001	-0,59	Caballos mojados tienen menor temperatura superficial
Sexo (M vs. H)	0,0017	0,075	+0,06	Tendencia leve a mayor temp. en machos, no significativa
Temperatura ambiente	0,000359	<0,001	+0,013 / °C	Cada 1 °C extra en ambiente aumenta temperatura superficial
Humedad relativa	0,0000325	0,37	+0,0012	No significativo

Intercepto: valor promedio de la temperatura superficial.  $\beta$  (log) es la escala logarítmica utilizada en el modelo. Se calcularon las medias ajustadas en °C para mejor comprensión. Los valores significativos se indican con  $p < 0,05$ . Valores positivos indican aumento, negativos disminución.

**Tabla 3.** Efecto de mojado, capa y sexo sobre la temperatura superficial

Factor	Nivel	Media ajustada (°C)	IC 95 %	Comparación post-hoc	p-ajustado
Mojado	NO	35,80	35,73-35,87	NO vs. SI	<0,001
Mojado	SI	35,21	35,14-35,28	—	—
Capa	NO	35,40	35,33-35,47	NO vs. SI	0,32
Capa	SI	35,41	35,34-35,48	—	—
Sexo	H	35,42	35,35-35,49	H vs. M	0,075
Sexo	M	35,36	35,29-35,43	—	—

Comparaciones ajustadas con método Tukey para controlar error tipo 1. Los valores muestran la temperatura superficial promedio por categoría, promedio sobre las demás variables. Mojado reduce significativamente la temp. superficial (-0,6 °C). La presencia de capa no muestra diferencias significativas y sexo muestra una tendencia leve en machos no significativa.

El modelo lineal mixto para comparar las temperaturas corporales tuvo una varianza entre caballos de 0,02 °C con un desvío estándar de 0,15 °C y una varianza residual (dentro del mismo caballo) de 0,14 °C con un desvío estándar de 0,38 °C. Cuando se compararon las temperaturas por regiones se observó que la temperatura del cuello tuvo una media de 36,09 °C, la media para hombro fue de +0,24 °C y la rectal fue de +1,55 °C comparadas con la del cuello. Las diferencias entre regiones fueron estadísticamente significativas con un valor  $p < 0,001$ . El valor de R2 marginal fue de 0,734 y R2 condicional fue de 0,77.

## Discusión

La hipótesis de que el uso de la TDI presentaría una correlación significativa con los valores obtenidos por medición rectal cuando se lo mide en la región del cuello y el hombro fue rechazada. A pesar de que las regiones del cuello y hombro fueron seleccionadas por ser puntos anatómicos con piel más delgada y buena perfusión, considerados estratégicamente adecuados para estudios térmicos en equinos, los resultados obtenidos en este trabajo muestran que la temperatura registrada con la TDI no puede considerarse intercambiable con la TR medida con termómetro digital convencional. La baja concordancia, la no correlación de Spearman y los coeficientes de correlación intraclase próximos a cero evidencian que, bajo las condiciones evaluadas, la TDI subestima la TR de manera sistemática (Zakari & Ayo, 2021). Estos hallazgos coinciden con lo reportado por Ramey et al. (2011) y Easterwood y Cohen (2023), quienes también observaron discrepancias clínicamente significativas que limitan el uso de la TDI como sustituto del método rectal. Sin embargo, las diferencias metodológicas entre estudios son considerables. Ramey utilizó regiones anatómicas distintas, un tamaño de muestra menor y condiciones ambientales estables, sin contemplar humedad, viento o estado del pelaje. En contraste, nuestro estudio incluyó 476 caballos evaluados en un entorno competitivo con variaciones ambientales y factores de manejo como el estado del pelaje y/o el uso de capa cuyo efecto no había sido evaluado previamente en la radiación infrarroja. Por lo tanto, la similitud en el patrón de subestimación responde a principios fisiológicos generales (como la mayor disipación periférica del calor) y no a una equivalencia metodológica entre los estudios. A diferencia de estudios previos que evaluaron regiones faciales, grupa o flanco (Alberghina et al., 2025; Easterwood & Cohen, 2023; Na Lampang et al., 2023; Zobrist et al., 2024), este estudio es el primero en comparar de forma simultánea cuello y hombro, dos regiones de uso cotidiano en la práctica clínica equina.

Los resultados tampoco replican lo encontrado por un trabajo reciente, Alberghina et al. (2025) reportaron una correlación significativa y estable entre la TDI y la temperatura rectal. Esta discrepancia se explica por diferencias en el diseño experimental: aquellos autores trabajaron bajo condiciones controladas, midieron zonas anatómicas con mínima interferencia del pelaje (ojo, mucosa gingival y perineo), emplearon un protocolo de

estabilización térmica del instrumento y utilizaron un dispositivo ubicado a una distancia fija mayor a la nuestra. Además, ajustaron el efecto de la temperatura ambiente mediante modelos gamma, mientras que nuestro estudio incorporó variaciones ambientales incluyendo humedad relativa a través del índice de termo confort. Estas diferencias metodológicas refuerzan la necesidad de estandarizar protocolos antes de considerar el uso clínico de la TDI como sustituto del método rectal.

En nuestro análisis se evidenció que la temperatura ambiente afecta de manera leve pero significativa la temperatura superficial, lo cual coincide con estudios previos que describen la sensibilidad del método a factores ambientales (Kang et al., 2023; Meisfjord Jørgensen et al., 2020; Na Lampang et al., 2023). Sin embargo, este efecto no redujo el sesgo sistemático ni mejoró la concordancia con la temperatura rectal, incluso tras ajustar estadísticamente condiciones como humedad, capa y mojado del pelaje. Los valores de ICC se mantuvieron bajos, lo que indica que las discrepancias entre ambos métodos son inherentes a su naturaleza fisiológica y técnica, y no atribuibles solo al ambiente. El ICT registrado durante el estudio se mantuvo dentro de rangos bajo a moderado, ya que el trabajo se desarrolló en un período térmicamente confortable para el equino; no obstante, queda abierta la interrogante de si, en condiciones de termoestrés, estos efectos ambientales podrían intensificarse.

Un aspecto relevante fue la influencia del estado del pelaje sobre las mediciones. El análisis demostró diferencias significativas cuando los animales se encontraban mojados, lo que concuerda con lo observado por Meisfjord Jørgensen et al. (2020), quienes destacaron que la humedad superficial interfiere con la radiación infrarroja y genera lecturas menos confiables. Asimismo, la presencia de capa se asoció a temperaturas más elevadas en hombro y a mayor diferencia térmica con respecto al cuello. Estos resultados resaltan la sensibilidad de la TDI a condiciones ambientales y al manejo del animal, lo que limita su uso confiable en ambientes clínicos y deportivos donde la precisión diagnóstica es fundamental (Na Lampang et al., 2023).

La variabilidad anatómica también contribuyó a las diferencias observadas entre regiones, lo cual coincide con lo señalado por Giannetto et al. (2020) y es respaldado por estudios posteriores que destacan la necesidad de estandarizar puntos de medición para mejorar la reproducibilidad (Alberghina et al., 2025; Easterwood & Cohen, 2023; Zobrist et al., 2024).

En cuanto a factores individuales, la edad mostró correlaciones débiles y no significativas con la temperatura superficial y rectal, lo que concuerda con Hall et al. (2019) y Easterwood y Cohen (2023), quienes reportaron que la edad tiene un efecto mínimo sobre la termorregulación basal en caballos adultos sanos, por lo que no constituye un factor relevante para la interpretación de mediciones de temperatura con termometría infrarroja.

En relación con el sexo, no mostró un efecto significativo sobre la temperatura superficial medida con TDI y se observó solo una leve tendencia a valores más altos en machos, en concordancia con la ausencia de diferencias reportadas en estudios previos (Alberghina et al., 2025; Zobrist et al., 2024).

Si bien la TDI representa una alternativa atractiva por su carácter no invasivo, rápido y mejor aceptado por el animal (valioso en el marco del bienestar animal), la evidencia indica que su aplicación clínica debe ser interpretada con cautela. El sesgo de subestimación observado puede derivar en fallos diagnósticos, en especial en situaciones donde la detección temprana de hipertermia es crítica. Tal como señalan Giannetto et al. (2020) y Stamberov et al. (2023), la fiabilidad de la TDI depende de un conjunto complejo de variables ambientales, fisiológicas y técnicas que aún no han sido completamente estandarizadas. Sin embargo, su potencial como instrumento complementario justifica seguir investigando nuevas zonas anatómicas, dispositivos más sensibles y protocolos estandarizados que permitan integrar esta tecnología en la medicina veterinaria equina de manera segura y confiable, como lo sugiere un estudio reciente (Alberghina et al., 2025). Asimismo, se reconocen las limitaciones del presente estudio, como la medición de la TDI por un único operador que, si bien reduce la variabilidad interoperador, impide estimar el error intraoperador (Meisfjord Jørgensen et al., 2020).

En conjunto, este trabajo representa la primera evaluación sistemática de la TDI en caballos SPC en Uruguay y aporta información local relevante en un contexto de competencia deportiva. Los datos generados contribuyen a esclarecer el rol actual de la TDI en la evaluación térmica equina y constituyen una referencia útil para futuras investigaciones en la región.

## Conclusión

La TDI en las regiones de cuello y hombro no puede sustituir al TR como método de referencia en caballos SPC debido a la baja concordancia y la subestimación sistemática de la temperatura corporal. Factores como el estado del pelaje y las condiciones ambientales influyen de manera significativa en la precisión de las mediciones con TDI, lo que limita su aplicación clínica confiable. Es necesario profundizar la investigación sobre nuevas zonas anatómicas utilizando dispositivos más sensibles y protocolos estandarizados.

## Referencias

Alberghina, D., Tombolani, C., & Quintavalla, F. (2025). Performance of a non-contact veterinary infrared thermometer and reference intervals of equine temperature at different body sites. *Frontiers in Veterinary Science*, 12, 1583839. <https://doi.org/10.3389/fvets.2025.1583839>

- Easterwood, L., & Cohen, N. D. (2023). Agreement of temperatures measured using a non-contact infrared thermometer with a rectal digital thermometer in horses. *Journal of Equine Veterinary Science*, 123, 104243. <https://doi.org/10.1016/j.jevs.2023.104243>
- Giannetto, C., Arfuso, F., Giudice, E., Giancesella, M., Fazio, F., Panzera, M., & Piccione, G. (2020). Infrared methodologies for the assessment of skin temperature daily rhythm in two domestic mammalian species. *Journal of Thermal Biology*, 92, 102677. <https://doi.org/10.1016/j.jtherbio.2020.102677>
- Gomes da Silva, R., & Campos Maia, A. S. (2013). *Principles of Animal Biometeorology*. Springer. <https://doi.org/10.1007/978-94-007-5733-2>
- Hall, E. J., Carter, A. J., Stevenson, A. G., & Hall, C. (2019). Establishing a yard-specific normal rectal temperature reference range for horses. *Journal of Equine Veterinary Science*, 74, 51-55. <https://doi.org/10.1016/j.jevs.2018.12.023>
- Jones, S. (2009). Horsback Riding in the dog days. *Animal Science E-News*, 2(3), 3-4.
- Kang, H., Zsoldos, R. R., Sole-Guitart, A., Narayan, E., Cawdell-Smith, A. J., & Gaughan, J. B. (2023). Heat stress in horses: a literature review. *International Journal of Biometeorology*, 67(6), 957-973. <https://doi.org/10.1007/s00484-023-02467-7>
- Meisfjord Jørgensen, G. H., Mejdell, C. M., & Bøe, K. E. (2020). Effects of hair coat characteristics on radiant surface temperature in horses. *Journal of Thermal Biology*, 87, 102474. <https://doi.org/10.1016/j.jtherbio.2019.102474>
- Na Lampang, K., Isawirodom, A., & Rungsri, P. (2023). Correlation and agreement between infrared thermography and a thermometer for equine body temperature measurements. *Veterinary World*, 16(12), 2464-2470. <https://doi.org/10.14202/vetworld.2023.2464-2470>
- Ramey, D., Bachmann, K., & Lee, M. L. (2011). A comparative study of non-contact infrared and digital rectal thermometer measurements of body temperature in the horse. *Journal of Equine Veterinary Science*, 31(4), 191-193. <https://doi.org/10.1016/j.jevs.2011.02.009>
- Silva, T. C. S. da, Mariz, T. M. de A., & Escodro, P. B. (2022). Use of thermography in clinical and sports evaluations of equine animals: A review. *Research, Society and Development*, 11(8), e13911530532. <https://doi.org/10.33448/rsd-v11i8.30532>
- Soroko, M., Howell, K., Dudek, K., Wilk, I., Zastrzeżyńska, M., & Janczarek, I. (2018). A pilot study into the utility of dynamic infrared thermography for measuring body surface temperature changes during treadmill exercise in horses. *Journal of Equine Veterinary Science*, 62, 44-46. <https://doi.org/10.1016/j.jevs.2017.12.010>
- Stamberov, P., Stoimenov, A., & Hristov, K. (2023). Comparative measurements of surface body temperature of horses using infrared thermography. *Bulgarian Journal of Animal Husbandry*, 60(4), 3-7. <https://doi.org/10.61308/WNKG8507>

- Uruguay XXI. (2021). Sector Ecuestre en Uruguay. <https://www.uruguayxxi.gub.uy/uploads/informacion/dc3293cff5402e4d3906995df2886083b1834866.pdf>
- Verdegaal, E. L. J. M. M., Howarth, G. S., McWhorter, T. J., & Delesalle, C. J. G. (2024). Thermoregulation during field exercise in horses using skin temperature monitoring. *Animals*, 14(1), 136. <https://doi.org/10.3390/ani14010136>
- Zakari, F. O., & Ayo, J. O. (2021). Comparison of body temperature in donkeys using rectal digital, infrared, and mercury-in-glass thermometers during the hot-dry season in a tropical savannah. *International Journal of Biometeorology*, 65(7), 1053-1067. <https://doi.org/10.1007/s00484-021-02087-z>
- Zobrist, C. N., Bishop, R. C., & McCoy, A. M. (2024). Noncontact infrared thermometer measurements offer a reasonable alternative to rectal temperature measurement in afebrile horses. *Journal of the American Veterinary Medical Association*, 262(6), 791-797. <https://doi.org/10.2460/javma.23.12.0714>

### Declaración de conflicto de intereses

Ninguno de los autores tiene relaciones financieras o personales que puedan influir o sesgar de manera inapropiada el contenido del artículo.

### Nota de contribución

1. Conceptualización, 2. Curación de datos, 3. Análisis formal, 4. Adquisición de fondos, 5. Investigación, 6. Metodología, 7. Administración de proyecto, 8. Escritura - borrador original.

Oscar Guedes es responsable de todos los puntos. Carolina Viñoles ha contribuido en 1, 5 y 8. Irene Kalpokas en 1, 3, 4, 5, 6, 7 y 8. Todos los autores aprobaron la versión final del manuscrito.

### Nota de disponibilidad de datos

El conjunto de datos que apoya los resultados de este estudio no se encuentra disponible.

### Nota del editor

El editor José Manuel Verdes aprobó este artículo.