

Impacto de las olas de calor en la calidad del semen: Un estudio retrospectivo en Argentina entre 2005 y 2023

Impact of heat waves on semen quality: A retrospective study in Argentina between 2005 and 2023

Gustavo Luis Verón¹, Ania Antonella Manjon¹, Lidia Arévalo², Jorge Santiago², Mónica Hebe Vazquez-Levin¹.

¹ Instituto de Biología y Medicina Experimental, Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas, Ciudad Autónoma de Buenos Aires, Argentina.

² Laboratorio CEUSA-LAEH, Ciudad Autónoma de Buenos Aires, Argentina.

Correspondencia: mhvazl@gmail.com

Resumen

Las olas de calor (OC), definidas como períodos con temperaturas diarias mayores al promedio histórico en una región específica, son cada vez más frecuentes en los últimos años. Sin embargo, pocos estudios han evaluado el impacto de las OC sobre la calidad del semen. El estudio de Verón y col. analizó los datos de 54 926 hombres (18-60 años) sometidos a análisis de rutina de semen entre 2005 y 2023 en la unidad de andrología del Laboratorio CEUSA-LAEH (Ciudad Autónoma de Buenos Aires, Argentina). Los registros de temperatura fueron proporcionados por el Servicio Meteorológico Nacional. Se registraron 124 días de OC (al menos 3 días consecutivos con más de 32,3°C de máxima y 22°C de mínima). Los hombres expuestos a OC durante la espermatogénesis exhibieron menor número de espermatozoides (concentración y recuento; $P < 0,0001$) y morfología normal (% espermatozoides normales y recuento de mótilos normales; $P < 0,05$). Estas diferencias fueron más pronunciadas cuando se compararon eyaculados expuestos a varias OC (2013/2023) o a ninguna (2005/2007/2016). Se encontró una asociación negativa entre la calidad seminal y la duración del OC. Además, la exposición a ≥ 6 días de OC durante la espermatogénesis resultó en una asociación negativa ($P < 0,05$) entre la exposición temprana (espermatocitogénesis: 64-90 días antes de la recolección de semen) y la calidad del semen.

Este estudio destaca la asociación negativa entre la exposición temprana a OC durante el desarrollo espermático, evidenciado por una disminución en la calidad seminal. Estos resultados aportan al manejo de los pacientes en consulta por fertilidad, así como a tener un enfoque colaborativo integral que involucre políticas gubernamentales globales, prácticas sostenibles y esfuerzos coordinados entre políticas, atención médica e investigaciones científicas.

Palabras Clave: Olas de Calor; Temperatura; Calidad del Semen; Espermatogénesis; Edad; Cambio Climático

Abstract

Heat waves (HW; periods with daily temperatures surpassing the historical average for a specific region) have become more frequent worldwide in recent years, but few studies have reported their association with semen quality. The study by Verón et al. evaluated data from 54 926 men (18-60 years) undergoing routine semen analysis between 2005-2023 at CEUSA-LAEH andrology unit, in Buenos Aires, Argentina. Temperature readings were provided by the Servicio Meteorológico Nacional. A total of 124 days had HW (at least 3 consecutive days with over 22°C (minimum) and 32.3°C (maximum) for Buenos Aires). Men exposed to HW during spermatogenesis exhibited lower sperm number (concentration and count; $P < 0.0001$) and normal morphology (% normal sperm and normal motile count; $P < 0.05$). These differences were most pronounced between semen samples from years with several HW (2013/ 2023) and none (2005/2007/2016). A multiple regression analysis revealed a negative association between semen quality and HW length, suggesting a prolonged exposure more detrimental than an acute one. Exposure to ≥ 6 -days HW during spermatogenesis resulted in a negative ($P < 0.05$) association between early exposure (spermatocytogenesis: 64-90 days prior semen collection) and semen quality.

This study highlights the negative association between early exposure to HW during sperm development, as evidenced by a decrease in seminal quality. These results contribute to the management of patients in fertility consultation, as well as to having a comprehensive collaborative approach that involves global government policies, sustainable practices and coordinated efforts between policies, medical care and scientific research.

Key words: Heat Waves; Temperature; Semen Quality; Spermatogenesis; Age; Climate Change

ANÁLISIS CRÍTICO

*Mónica Hebe Vazquez-Levin¹, Gustavo Luis Verón¹, Ania Antonella Manjon¹

¹ Instituto de Biología y Medicina Experimental, Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas, Ciudad Autónoma de Buenos Aires, Argentina.

*Correspondencia: mhvazl@gmail.com

INTRODUCCIÓN

La infertilidad es una enfermedad del sistema reproductor masculino y/o femenino, definida como la incapacidad de lograr un embarazo después de un año de relaciones sexuales regulares sin protección¹. A nivel mundial, alrededor del 17,5 % de las personas adultas (aproximadamente 1 de cada 6 personas) sufrirán infertilidad en algún momento de su vida², de las cuales el 50 % de los casos se atribuyen a factores masculinos³. Esta creciente prevalencia se alinea hacia una tendencia mundial de disminución global del recuento de espermatozoides, que se asocia con el aumento observado de la infertilidad masculina en las últimas décadas^{4,5}. Diversos factores contribuyen a la infertilidad masculina, como los trastornos genéticos y endocrinos, las infecciones, la exposición a toxinas, la edad, estilos de vida y los cambios ambientales, entre otros⁶⁻⁸. Específicamente, en lo que concierne a la temperatura, para que se dé una espermatogénesis eficiente, la temperatura testicular de los mamíferos es regulada entre 3 y 7 °C por debajo de la temperatura corporal. En este sentido, las condiciones que inducen estrés térmico, como el varicocele, la obesidad y la exposición prolongada al calor se asocian con una menor calidad de semen⁹. En línea con estas observaciones, se ha encontrado una asociación entre la calidad seminal y la exposición a altas temperaturas en trabajadores expuestos al calor (soldadores, panaderos y herreros), quienes exhiben una calidad seminal menor en comparación con los trabajadores administrativos¹⁰. Además, varios estudios han demostrado una asociación negativa entre la temperatura ambiente y la calidad del semen¹¹, y se ha informado de una menor calidad seminal en muestras obtenidas de bancos de semen o laboratorios de andrología durante el verano en comparación con otras estaciones^{12,13}.

El cambio climático se caracteriza por la alteración de los patrones climáticos regionales y globales. Un efecto preocupante del cambio climático es

el incremento a nivel mundial en las temperaturas máximas, la frecuencia y la duración de las olas de calor (OC), definidas como períodos con temperaturas diarias que superan el promedio histórico de una región específica. Esto representa una problemática debido al efecto negativo de las OC en la salud humana, que conducen a afecciones como agotamiento por calor, síncope por calor, golpe de calor, que en última instancia resultan en la muerte. Cabe destacar que Argentina fue testigo de un aumento del 14% en el riesgo de muerte por causas naturales durante las OC entre 2005 y 2015, siendo la población <15 y >84 años la más vulnerable¹⁴. En un estudio reciente, Deng y col. exploraron el impacto de las OC sobre la calidad seminal en países de Oriente, identificando una asociación significativa negativa¹⁵, sin embargo, no existen estudios que aborden este tema en Occidente y, particularmente en Latinoamérica.

El estudio tuvo como objetivo determinar la asociación entre las OC y la calidad seminal en Argentina, particularmente en la Ciudad de Buenos Aires, mediante la realización de un análisis detallado utilizando una extensa cohorte de pacientes de la unidad de Andrología del Centro CEUSA-LAEH ubicado en la misma ciudad y que cuenta con un laboratorio clínico referente en la materia.

El diseño y el muestreo de la investigación

La asociación entre las OC y la calidad del semen se evaluó en una cohorte de 54 907 pacientes de entre 18 y 60 años que asistieron a la unidad de andrología del laboratorio clínico CEUSA-LAEH para realizar un examen de rutina del semen entre septiembre de 2005 y julio de 2023. Los datos meteorológicos de la Ciudad Autónoma de Buenos Aires para el período 2005-2023 fueron proporcionados por el Servicio Meteorológico Nacional de Argentina. Durante el período estudiado, y según la definición de OC, hubo 287 días con temperaturas que superaron los 32,3°C de máxima y 22°C de mínima. De estos, 124 tuvieron OC pues, según la definición de OC, se deben dar estas temperaturas al menos 3 días seguidos. Cabe destacar que la ocurrencia máxima de días de OC se observó entre noviembre y marzo (finales de la primavera y verano en el hemisferio Sur), meses que coinciden con los períodos de las temperaturas más altas de bulbo seco.

Mediante el uso de herramientas de programación y estadísticas, Verón y col. encontraron una asociación negativa entre las OC y un conjunto de parámetros seminales que sirven para evaluar el potencial fértil masculino.

Objetivos y hallazgos

Inicialmente, en el estudio se compararon los valores de los parámetros seminales de las muestras de hombres expuestos (grupo expuesto) y no expuestos (grupo no expuesto) para al menos una OC durante la espermatogénesis entre 2005 y 2023. En este segmento del estudio solo se incluyeron hombres menores de 40 años, basándose en hallazgos previos del mismo grupo de investigación que reportaron una asociación negativa entre la edad masculina y la calidad del semen¹⁶. Como resultado, se determinó que la concentración, recuento, y morfología de espermatozoides móviles fueron menores en el grupo expuesto a OC comparados con los de los hombres del grupo no expuesto. Contrastando con estos hallazgos la vitalidad la vitalidad y la motilidad de los espermatozoides (total y progresiva) fueron mayores en el grupo expuesto en comparación con el grupo no expuesto, lo cual sugiere un efecto deletéreo de las OC sobre algunos parámetros seminales.

Seguidamente, se evaluó el impacto de la ocurrencia de OC sobre la calidad seminal durante alguno de los cuatro períodos previos a la eyaculación: la espermatocitogénesis (64-90 días antes de la recolección de semen), la meiosis (40-63 días antes de la recolección de semen), la espermiogénesis (17-39 días antes de la recolección de semen) y la maduración/almacenamiento del epidídimo (0-16 días antes de la recolección de semen). Se analizaron las diferencias estandarizadas entre los grupos expuesto y no expuesto y se determinó que la concentración, recuento, morfología y recuento de espermatozoides móviles normales eran menores ($P<0,05$) en el grupo expuesto que en el grupo no expuesto en casi todos los períodos. Esto sugiere que el efecto deletéreo de las OC impacta sobre los parámetros seminales en todos los procesos previos a la eyaculación, tanto en las diferentes etapas de la espermatogénesis como en la maduración y almacenamiento en el epidídimo. Se calcularon además las tasas de anomalías de los parámetros seminales para los cuatro períodos previos a la eyaculación considerando el límite de referencia inferior establecido por la OMS (percentilo 5)¹⁷. Como resultado, el grupo expuesto exhibió tasas más altas de anomalías de concentración y morfología espermáticas ($P<0,05$) en comparación con las muestras del grupo no expuesto durante varias etapas del desarrollo espermático.

Se analizó el impacto de condiciones extremas de OC sobre la calidad seminal. En 2013 y 2023 se registró el mayor número de días de OC, 18 y 23,

respectivamente, mientras que en 2005, 2007 y 2016 no se registró ninguna OC. Se realizó el análisis anterior en muestras de hombres menores de 40 años del grupo expuesto a al menos una OC en 2013 o 2023, o no expuesto (2005, 2007 o 2016) durante el desarrollo espermático. En el grupo expuesto se encontró menor volumen de semen, concentración de espermatozoides, recuento total y total de móviles, morfología y recuento de móviles normales ($P<0,05$) que en los del grupo no expuesto. La exposición durante estos períodos extremos reveló un cambio 3,86 veces mayor en el recuento total de espermatozoides móviles en comparación con todo el período de estudio. Estos hallazgos confirman un efecto deletéreo de las OC sobre los parámetros seminales y estiman el impacto en condiciones extremas.

La asociación entre las OC y la calidad del semen también fue evaluada en los años 2013 y 2023 frente a 2005, 2007 y 2016, considerando la edad como un posible factor adicional. Los hombres menores de 40 años presentaron una menor concentración ($P<0,05$), recuento de espermatozoides móviles totales y móviles normales en las muestras del grupo expuesto a OC, mientras que los de 40 años o mayores además presentaron menor ($P<0,05$) vitalidad y motilidad (total y progresiva) de los espermatozoides. Esto sugiere que un efecto deletéreo de las OC a todas las edades.

La duración de las OC mostró una asociación negativa con el volumen del semen, la concentración, el recuento, la motilidad, el recuento total de espermatozoides móviles y el recuento normal de espermatozoides móviles. Se consideró además el número de OC y su temperatura media máxima para comprender el impacto combinado, y se determinó una correlación negativa de la calidad espermática con la duración de la OC, particularmente después de 2 a 3 OC durante el desarrollo. Además, se observó una asociación negativa significativa entre la mayoría de los parámetros de calidad seminal y la duración de la OC, especialmente cuando las temperaturas superaron los 30,12°C (percentil 50). Esto sugiere que el impacto adverso en la calidad seminal se vuelve más pronunciado con un mayor número de OC y temperaturas más altas.

Estos hallazgos coinciden con los informes sobre usuarios de saunas y baños calientes, conductores profesionales, panaderos y soldadores que muestran una calidad de semen significativamente inferior después de una exposición prolongada¹⁸. Por el contrario, los aumentos agudos de la temperatura corporal, como los que se producen en los deportistas, parecen tener un efecto positivo o nulo

sobre la salud general y la calidad del semen¹⁹.

Para evaluar el período en el que la asociación perjudicial entre la duración de la ola de calor y la calidad del semen fue más pronunciada, se analizaron los datos de muestras de hombres de menos de 40 años expuestos a una sola OC de al menos 6 días consecutivos (por encima del percentil 90) durante todo el período de desarrollo espermático (90 días). Como resultado, se determinó una correlación positiva significativa entre el día de exposición durante el desarrollo espermático (1-90) y el volumen del semen, la vitalidad y la motilidad total espermática, y el recuento total de espermatozoides móviles. Esto sugiere un efecto más pronunciado de las OC que ocurren durante las primeras semanas de la espermatogénesis. Dada la naturaleza sensible a la temperatura de la espermatogénesis, es posible que las alteraciones en la termorregulación testicular pueden inducir la apoptosis de las células germinales a través del daño del ADN, lo que resulta en un arresto espermatogénico y posteriores reducciones en el recuento de espermatozoides⁹ (ver Cuadro 1).

DISCUSIÓN

- El estudio analizado es el primero de Argentina y de la Región de las Américas sobre la asociación entre OC y alteraciones en los parámetros seminales en hombres en consulta en laboratorio de andrología.

- El estudio ofrece información clave sobre la compleja conexión entre OC y calidad seminal.
- Mediante el uso de herramientas estadísticas y de programación, se encontró una asociación negativa entre las OC y los parámetros seminales que se evalúan como indicadores de potencial fértil masculino en el examen de rutina.
- Los resultados destacan la importancia de considerar los factores climáticos en el contexto de la salud reproductiva masculina.
- Los hallazgos se suman a otros factores que han contribuido a la disminución de la calidad del semen a nivel mundial en las últimas décadas.
- La evaluación de la calidad del semen, que sirve como un indicador indirecto de la infertilidad masculina, podría ser un activo valioso para el desarrollo de políticas públicas.
- El aumento en la frecuencia de OC en Argentina representa una amenaza no solo para la salud humana, sino también para el desarrollo demográfico, ya que puede conducir a un aumento en la inversión pública en salud reproductiva y reproducción médicamente asistida.
- Solo mediante el trabajo articulado entre los ámbitos asistencial, de concientización y de políticas sanitarias se podrán enfrentar los desafíos que plantea el cambio climático y anticipar un mejor escenario para la salud reproductiva y general de las personas.

Cuadro 1. Hallazgos destacados

- La exposición a olas de calor (OC) se asoció a una peor calidad seminal, encontrándose menor cantidad de espermatozoides, así como menor proporción de espermatozoides con formas normales.
- A mayor cantidad de días de OC peor calidad seminal.
- Las muestras de semen obtenidas en los períodos de mayor cantidad de OC presentaron poblacionalmente una cantidad total de espermatozoides móviles 10% menor a la registrada en las que nunca estuvieron expuestas.
- Se encontró asociación negativa entre las OC y la calidad seminal tanto en hombres de menos y más de 40 años.
- Los hombres expuestos a OC durante el desarrollo de sus espermatozoides (3 meses previos a la obtención de la muestra de semen) presentaron una menor cantidad de espermatozoides totales, móviles y con formas normales en comparación con aquellos que no estuvieron expuestos durante ese período.
- El efecto negativo es mayor cuando las OC ocurren al principio del período de tres meses de desarrollo de los espermatozoides.
- La exposición prolongada (OC de 6 días o más) es peor que la exposición aguda, como ocurre con trabajadores expuestos al calor de forma crónica (panaderos, trabajadores metalúrgicos, choferes) respecto de los que presentan exposición de forma aguda (deportistas).

Referencias Bibliográficas

- 1 World Health Organization <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/infertility>
- 2 World Health Organization. Infertility prevalence estimates, 1990–2021. Geneva: *World Health Organization*; 2023.
- 3 Agarwal A, Mulgund A, Hamada A, Chyatte MR. A unique view on male infertility around the globe. *Reprod Biol Endocrinol.* 2015; 26:37.
- 4 GBD 2021 Fertility and Forecasting Collaborators. 2024. Global fertility in 204 countries and territories, 1950–2021, with forecasts to 2100: a comprehensive demographic analysis for the Global Burden of Disease Study 2021.
- 5 Levine H, Jørgensen N, Martino-Andrade A, Mendiola J, Weksler-Derri D, Jolles M, et al. Temporal trends in sperm count: a systematic review and meta-regression analysis of samples collected globally in the 20th and 21st centuries. *Hum Reprod Update.* 2023; 29:157-176.
- 6 Krausz C, Riera-Escamilla A. Genetics of male infertility. *Nat Rev Urol.* 2018; 15:369-384.
- 7 Kimmins S, Anderson RA, Barratt CLR, Behre HM, Catford SR, De Jonge CJ, et al. Frequency, morbidity and equity - the case for increased research on male fertility. *Nat Rev Urol.* 2024; 21:102-124.
- 8 De Jonge CJ, Barratt CLR, Aitken RJ, Anderson RA, Baker P, Chan DYL, et al. Current global status of male reproductive health. *Hum Reprod Open.* 2024; Apr 12;2024(2):hoae017. doi: 10.1093/hropen/hoae017. PMID: 38699533; PMCID: PMC11065475.
- 9 Durairajanayagam D, Agarwal A, Ong C. Causes, effects and molecular mechanisms of testicular heat stress. *Reprod Biomed Online.* 2015; Jan;30(1):14-27. doi: 10.1016/j.rbmo.2014.09.018. Epub 2014 Oct 12. PMID: 25456164.
- 10 Hamerezaee M, Dehghan SF, Golbabaee F, Fathi A, Barzegar L, Heidarnajad N. Assessment of Semen Quality among Workers Exposed to Heat Stress: A Cross-Sectional Study in a Steel Industry. *Saf Health Work.* 2018; 9:232-235.
- 11 Zhang Y, Zhong L, Xu B, Yang Y, Ban R, Zhu J, et al. SpermatogenesisOnline 1.0: a resource for spermatogenesis based on manual literature curation and genome-wide data mining. *Nucleic Acids Res.* 2013; 41(Database issue):D1055-62.
- 12 Rosa-Villagrán L, Barrera N, Montes J, Riso C, Sapiro R. Decline of semen quality over the last 30 years in Uruguay. *Basic Clin Androl.* 2021; 31:8.
- 13 Verón GL, Tissera AD, Bello R, Estofan GM, Hernández M, Beltramone F, et al. Association between meteorological variables and semen quality: a retrospective study. *Int J Biometeorol.* 2021; 65:1399-1414. doi: 10.1007/s00484-021-02112-1. Epub 2021 Apr 8. PMID: 33834291.
- 14 Chesini F, Abrutzky R, Titto E. Mortalidad por olas de calor en la ciudad de Buenos Aires, Argentina (2005-2015). *Cad. Saude Publica* 2019; 35(9):e00165218 doi: 10.1590/0102-311x00165218
- 15 Deng X, Wang Q, Shi C, Wei J, Lv Z, Huang S, et al. Heat wave exposure and semen quality in sperm donation volunteers: A retrospective longitudinal study in south China. *Environ Res.* 2023; Nov 1;236(Pt 2):116665. doi: 10.1016/j.envres.2023.116665. Epub 2023 Jul 13. PMID: 37451571.
- 16 Verón GL, Tissera AD, Bello R, Beltramone F, Estofan G, Molina RI, et al. Impact of age, clinical conditions, and lifestyle on routine semen parameters and sperm kinematics. *Fertil Steril.* 2018; 110:68-75.e4.
- 17 World Health Organization. 2021. WHO laboratory manual for the examination and processing of human semen. World Health Organization, Geneva, Switzerland. 6th ed.
- 18 De Toni L, Finocchi F, Jawich K, Ferlin A. Global warming and testis function: A challenging crosstalk in an equally challenging environmental scenario. *Front Cell Dev Biol.* 2023; Jan 16;10:1104326. doi: 10.3389/fcell.2022.1104326. PMID: 36726592; PMCID: PMC9885165.
- 19 Racinais S, Moussay S, Nichols D, Travers G, Belfekih T, Schumacher YO, et al. Core temperature up to 41.5°C during the UCI Road Cycling World Championships in the heat. *Br J Sports Med.* 2019; 53:426-429



Esta obra está bajo una licencia de *Creative Commons* Atribución-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional. Reconocimiento – Permite copiar, distribuir y comunicar públicamente la obra. A cambio se debe reconocer y citar al autor original. No comercial – esta obra no puede ser utilizada con finalidades comerciales, a menos que se obtenga el permiso.