



UNIVERSIDAD PERUANA
CAYETANO HEREDIA

ACERCÁNDONOS A UNA DEFINICIÓN
DE OLA DE CALOR PARA LIMA
METROPOLITANA: RELACIÓN ENTRE
MORTALIDAD Y TEMPERATURAS
EXTREMAS

TESIS PARA OPTAR EL GRADO DE
MAESTRA EN CIENCIAS EN
INVESTIGACIÓN EPIDEMIOLÓGICA

LUCIANA PATRICIA BLANCO
VILLAFUERTE

LIMA – PERÚ

2025

ASESORA

PhD. STELLA MARIA HARTINGER PEÑA

CO-ASESOR

PhD. ANDRES GUILLERMO LESCANO GUEVARA

JURADO DE TESIS

DR. ARMANDO VALDES VELASQUEZ

PRESIDENTE

DRA. ELAINE CATHERINE FLORES RAMOS

VOCAL

DR. STEEV ORLANDO LOYOLA SOSA

SECRETARIO

DEDICATORIA.

A mi mamá, por enseñarme que la perseverancia rinde frutos
y que no hay obstáculo que no pueda vencer.

A mi papá, por enseñarme desde pequeña el valor de la curiosidad científica.

A Da, cuya presencia es sinónimo de felicidad en mi vida.

Sin ustedes, esta tesis no estaría terminada.

AGRADECIMIENTOS.

A Stella, gracias por mostrarme la importancia de investigar el cambio climático,
por ser una excelente mentora y por impulsarme a terminar esta tesis.

Sin tu guía mi camino habría sido muy diferente.

FUENTES DE FINANCIAMIENTO.

Tesis Autofinanciada



ACERCÁNDONOS A UNA DEFINICIÓN
DE OLA DE CALOR PARA LIMA
METROPOLITANA: RELACIÓN ENTRE
MORTALIDAD Y TEMPERATURAS
EXTREMAS

TESIS PARA OPTAR EL GRADO DE
MAESTRA EN CIENCIAS EN
INVESTIGACIÓN EPIDEMIOLÓGICA

LUCIANA PATRICIA BLANCO
VILLAFUERTE

LIMA – PERÚ

2025

Informe estándar

Informe en inglés en dispositivos

7% Similitud estándar

Fuentes

Mostrar las fuentes similares

- 1 Internet
hdi.fandf.net +1%
- 2 Trabajo del estudiante
Universidad Peruana Cayetano H... +1%
- 3 Internet
sanetcountdown.org +1%
- 4 Internet
www.researchgate.net +1%
- 5 Internet
wip.info +1%

ÍNDICE

RESUMEN

ABSTRACT

I.	INTRODUCCIÓN	1
II.	MARCO TEÓRICO	4
a.	Características de Lima Metropolitana	4
b.	Días de calor extremo: Olas de calor	5
c.	Fenómeno del Niño y días de calor extremo.....	8
d.	Humedad y calor	9
e.	Isla urbana de calor	10
f.	Contaminación ambiental y días de calor extremo	10
g.	El efecto del calor sobre la salud.	12
h.	Situación del adulto mayor en Lima Metropolitana.....	14
i.	Adaptación frente al calor extremo	17
III.	JUSTIFICACIÓN	19
IV.	OBJETIVOS	23
	GENERAL.....	23
	OBJETIVO SECUNDARIO.....	23
V.	HIPOTESIS	24
VI.	METODOLOGÍA.....	25
a.	Diseño del estudio.....	25
b.	Área de estudio y población.....	25
c.	Muestra	26
j.	Operacionalización de variables	26
1.	Variable dependiente e independiente	26
2.	Covariables	28
k.	Procedimientos y técnicas.....	29
l.	Consideraciones éticas	31
m.	Análisis estadístico.....	31
VII.	RESULTADOS	35
VIII.	DISCUSIÓN	43
IX.	CONCLUSIÓN	52
X.	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	54
XI.	ANEXOS	

RESUMEN

El cambio climático está generando que la temperatura ambiental aumente y que los eventos de altas temperaturas, como las olas de calor y días de calor extremo, sean más frecuentes, intensos y prolongados. Estas condiciones extremas están afectando negativamente la salud de los grupos más vulnerables, especialmente los adultos mayores de 60 años, quienes presentan un incremento en las tasas de mortalidad prematura asociadas al calor. El objetivo de este estudio es determinar el impacto de los días de calor extremo en la mortalidad de adultos mayores de 60 años en Lima Metropolitana. El estudio es un análisis ecológico con un análisis secundario de datos históricos de SENAMHI y MINSA. Dado que no existe una definición estándar de días de calor extremo se utilizaron tres umbrales de días de calor extremo basados en los percentiles 90^o, 95^o y 99^o. Se corrió un total de 18 modelos lineales generalizados de Poisson y se realizó un análisis de rezagos de 5 días para determinar si existía un efecto retardado del calor en la mortalidad. Independientemente de la definición de temperatura extrema de calor, se observó un aumento del riesgo relativo (RR) de mortalidad, especialmente en el caso de los días de calor extremo más intensos (percentil 99), con valores de RR de 1.48. Este estudio demuestra que existe un aumento en el riesgo relativo de mortalidad cuando se presentan días de temperatura extrema. Además, el estudio sugiere que existe un efecto retardado de la mortalidad en días de calor extremo, que es evidente en los modelos que utilizan los percentiles 90 y 95.

Palabras clave: días de calor extremo, mortalidad, cambio climático, adulto mayor

ABSTRACT

Climate change is causing a rise in temperatures, resulting in more frequent, intense, and prolonged heat waves. These extreme conditions are negatively affecting the health of the most vulnerable groups, especially adults over the age of 60, who show an increase in premature mortality rates associated with heat. This study aims to determine the impact of extreme heat days on mortality among adults aged 60 and older in Metropolitan Lima. The study is an ecological analysis based on a secondary analysis of historical data from SENAMHI and MINSA. Since there is no standard definition for extreme heat days, three thresholds were used based on the 90th, 95th, and 99th percentiles of daily temperature. A total of 18 generalized linear Poisson models were run, and a 5-day lag analysis was conducted to determine whether there was a delayed effect of heat on mortality. Regardless of the definition of extreme heat, an increase in the relative risk (RR) of mortality was observed, especially on days with the most intense heat (99th percentile), with RR values of 1.48. This study demonstrates an increased relative risk of mortality during extreme heat days. In addition, the study suggests that heat-related mortality may have a delayed effect, which is evident in the models using the 90th and 95th percentiles.

Keywords: Extreme heat days, mortality, climate change, older adults

I. INTRODUCCIÓN

El cambio climático está generando que la temperatura ambiental aumente y que los eventos de altas temperaturas, como las olas de calor y días de calor extremo, sean más frecuentes, intensos y prolongados (1). Eventos de altas temperaturas ambientales (o calor extremo) se asocian a diferentes impactos en la salud de las personas, los que van desde deshidratación, mareos, hasta enfermedades renales, cardíacas, pulmonares, alteraciones en salud mental, golpes de calor, estrés térmico, shock térmico y la muerte (2). Actualmente, más del 30% de la población mundial está siendo expuesta a calor extremo durante al menos 20 días al año (3). Sin embargo, el calor extremo no afecta a todos por igual, características como enfermedades crónicas preexistentes, la edad y el nivel socioeconómico juegan un papel fundamental (4). Diversos estudios sobre el impacto del calor extremo demuestran que los adultos mayores son más susceptibles a estos eventos y que incrementan su mortalidad (5–7). Muchas veces debido a que presentan enfermedades crónicas que se agravan por el calor, como enfermedades cardiovasculares, enfermedades respiratorias, renales y diabetes (6,8,9). Asimismo, se observa que los mayores picos de mortalidad se dan en poblaciones con un nivel socioeconómico más bajo (9), debido a que estas poblaciones están sometidas generalmente a trabajos al aire libre, como construcción y agricultura, o viven en zonas precarias, con limitado acceso al agua, sombra y electricidad. Según el último informe del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC), el aumento masivo de población en zonas urbanizadas también estaría aumentando la vulnerabilidad a las temperaturas extremas en estas zonas (4). Esto

principalmente por el aumento de personas en zonas urbanas mal planificadas y al efecto de ‘isla de calor’ que aumenta la temperatura dentro de la ciudad y es producido por la alta cantidad de edificaciones de concreto, pavimento y la falta de cobertura vegetal (10).

Debido a estas características, Lima Metropolitana podría ser una de las megaciudades (áreas urbanas con más de 10 millones de habitantes) más vulnerables de Sudamérica a los impactos del calor extremo, ya que está asentada en un desierto húmedo costero (11), con poco acceso a agua dulce y áreas verdes. Su mala planificación y fiscalización ha generado que sea la capital con menos cobertura vegetal (10) y la más contaminada (12) a nivel de Sudamérica. Además, es la ciudad más poblada del país, ya que alberga a casi un tercio de toda la población del Perú, con una densidad poblacional de 3879.1 personas por kilómetro cuadrado y más de 10 millones de habitantes (13), con un 12% siendo adultos mayores de 60 años de edad (14). A pesar de la potencial vulnerabilidad de Lima Metropolitana al calor extremo, no existe información que permita dimensionar la magnitud del problema. Dejando vacíos de información necesarios para la toma de decisiones y la implementación de estrategias efectivas para adaptarse al calor.

Para fortalecer el conocimiento con relación al impacto del calor extremo en la población de Lima Metropolitana es importante estudiar el impacto del calor extremo sobre la morbilidad y mortalidad de la población de Lima y eventualmente del resto del país. De esta manera se pueden generar planes de

adaptación que son específicos para la ciudad. Para ello, un abordaje efectivo es generar estudios ecológicos con datos históricos que permitan determinar la relación entre las temperaturas ambientales altas y la mortalidad entre la población. A pesar de que en otras partes del mundo ya existe información sobre cómo las temperaturas extremas generan un aumento en la mortalidad de adultos mayores, aún no se tiene conocimiento sobre a partir de qué temperatura las personas son más vulnerables en la ciudad de Lima Metropolitana. Es necesario entender que, los impactos del calor extremo en salud varían dependiendo de la localidad geográfica y características de la población, y que los umbrales de temperatura en los que el calor comienza a representar un riesgo para la salud suelen ser diferentes según ciudad. Por ello, es necesario conocer este umbral de temperatura específico en esta ciudad. Identificar este umbral significa saber cuándo la exposición a altas temperaturas se vuelve peligrosa, proporcionando así una base para la implementación de medidas preventivas. Por ello, el objetivo de este estudio es determinar mediante tres diferentes puntos de corte de temperatura, la asociación de los días de calor extremo ocurridos entre los años 2005 y 2016 en la mortalidad no accidental de adultos mayores de 60 años en Lima Metropolitana.

II. MARCO TEÓRICO

a. Características de Lima Metropolitana

Lima Metropolitana está situada en el departamento de Lima, en la región central y occidental del territorio peruano a 150 metros sobre el nivel del mar. Es una megaciudad asentada en un desierto húmedo costero (11), con poco acceso al agua dulce, ya que solo tiene el río Rímac para abastecer de agua potable a los más de 10 millones de habitantes en la ciudad (15). Su verano comprende los meses de diciembre a abril con temperaturas medias que no sobrepasan los 25°C, es altamente húmedo con un promedio de 83% de humedad relativa del aire, las precipitaciones son escasas y se producen generalmente en forma de garúa (16).

Lima Metropolitana es una ciudad que, según su Plan de Desarrollo Metropolitano, presenta un alto grado de expansión desordenada debido a la falta de políticas urbanas adecuadas (17). La expansión metropolitana de Lima está marcada por la informalidad urbana, con un 80% de las viviendas, transporte y empleo desarrollados fuera de regulaciones formales, lo que resulta en asentamientos humanos precarios en zonas de alto riesgo, como laderas y terrenos eriazos (17). Espacios donde actualmente viven las poblaciones menos favorecidas y donde el acceso a servicios básicos como agua potable, desagüe y servicio eléctrico es limitado (17). La cobertura de agua potable en Lima Metropolitana alcanza el 92.5%, pero la continuidad del servicio es en promedio de 22 horas al día (17). Solo el 16,4 % tiene acceso a agua corriente las 24 horas (15). La cobertura de alcantarillado en Lima es del 92.1%, sin embargo, existen problemas de sobrecarga en las plantas de tratamiento de aguas residuales. Por otro lado, el 97.4% de su

población tiene acceso a electricidad, aunque existen zonas donde aún no hay suministro directo y los hogares se ven obligados a subcontratar el servicio.

Asimismo, las autoridades en la ciudad no han dado prioridad al desarrollo de áreas verdes dentro de la ciudad. De todos los 43 distritos, solo San Borja alcanza un nivel aceptable de áreas verdes con 10.7 m² por habitante, mientras que otros distritos, como Breña, presentan cifras bastante bajas con apenas 0.5 m² por habitante (17). Debido a ello, Lima Metropolitana actualmente es la capital con menos cobertura vegetal en todo Sudamérica con una cobertura categorizada por el reporte de Lancet Countdown de “Especialmente baja” (9).

Finalmente, Lima Metropolitana enfrenta importantes problemas de movilidad debido a un transporte público informal y desorganizado, con pocas opciones masivas. Esto genera congestión vehicular y contribuye a altos niveles de contaminación, posicionando a Lima como la ciudad más contaminada de Sudamérica, con concentraciones anuales de 35 µg/m³ de PM_{2.5} (12).

b. Días de calor extremo: Olas de calor

Las olas de calor no tienen una definición estándar mundialmente aceptada (18). Cada país e inclusive cada ciudad manejan una definición distinta según sus características climáticas y geográficas. Desde la climatología, una ola de calor se define técnicamente como un periodo durante el cual la temperatura supera un umbral específico durante un cierto número de días. Sin embargo, cuando se evalúan las olas de calor desde una perspectiva de salud pública, la definición se

centra en el impacto en la salud de la población. Ya que este enfoque busca establecer un umbral de temperatura que alerte sobre los riesgos para la salud.

Los estudios epidemiológicos que tratan las olas de calor o los días de calor extremo como un problema de salud pública, identifican hasta más 16 definiciones de olas de calor asociadas a la mortalidad (Anexo 1) (19). Como se puede observar en el Anexo 1, estas definiciones varían según métrica, umbral y duración del evento. Diversos estudios, tienen diferentes resultados según estas definiciones demostrando la dificultad de encontrar una buena definición cuando se trabaja con salud.

La elección de la definición puede cambiar según el lugar. Un estudio hecho en 31 ciudades de China demostró que la definición para su país más acertada para olas de calor según sus impactos en salud en era “Temperatura media diaria que supera el umbral del 92.5th percentil por 3 días consecutivos a más” (19), sin embargo, otro estudio en el mismo país, pero solo en la ciudad de Beijing determinó que la mejor definición de ola de calor era “Temperatura media diaria mayor al 97.5th percentil por 2 días consecutivos a más” (8) y otro estudio en la ciudad de Wuhan demostró que para esa ciudad la mejor definición elegida fue “Temperatura media diaria mayor al 99th percentil por 3 días consecutivos a más” (20). A pesar de las diferentes definiciones a las que llegaron, los tres estudios concluyeron que la definición climatológica actual que venía manejando el país de China gracias a su sistema de meteorología no era el adecuado para las alertas tempranas de olas de calor. Y que, al no estar bien calibradas, ponían en peligro a las personas más

vulnerables. También demuestra la clara dificultad que existe al seleccionar una definición de ola de calor para una región.

En términos oficiales, Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (SENAMHI) ha establecido cuatro niveles de riesgo en salud asociados a las olas de calor para Perú (21):

- **Nivel 1:** "No se requieren precauciones especiales."
- **Nivel 2:** "Es recomendable que mantenga prudencia al realizar actividades al aire libre que puedan conllevar riesgos en caso de mal tiempo; podría haber fenómenos meteorológicos peligrosos que, a pesar de ser habituales en esta región, requieran atención. Manténgase informado sobre la evolución de la situación meteorológica."
- **Nivel 3:** "Se pronostican fenómenos meteorológicos peligrosos. Le sugerimos mantenerse informado acerca del desarrollo de la situación y seguir las recomendaciones e instrucciones proporcionadas por las autoridades competentes."
- **Nivel 4:** "Extreme las precauciones; se anticipan fenómenos meteorológicos de gran magnitud. Manténgase informado de manera constante acerca del desarrollo de la situación y siga de manera rigurosa las directrices y orientaciones proporcionadas por las autoridades."

Sin embargo, en relación con estos niveles de riesgo, es importante señalar que esta información no parece ser específica para eventos de temperatura extrema, ya que

no presenta valores de temperatura precisos para cada nivel y resulta demasiado genérica. Por otro lado, los parámetros empleados y las bases de estos niveles no se especifican, y tampoco se menciona si estos cuatro niveles se han fundamentado en análisis de morbilidad o mortalidad. Esta falta de claridad genera ambigüedad, ya que no se especifica si se utiliza la temperatura media, máxima, mínima o algún percentil específico para definir estos niveles de riesgo. Asimismo, los niveles de riesgo no ofrecen una definición nítida de qué se entiende por una ola de calor en el contexto nacional. Es esencial resaltar que, posiblemente aún no se tiene un consenso de que es una ola de calor en Perú debido a la marcada diversidad climática y geográfica del país. Cada localidad presenta características particulares que pueden intensificar los efectos de una ola de calor, como la humedad, la velocidad del viento, la calidad del aire, las particularidades demográficas e incluso el efecto de isla de calor urbano.

En esta investigación no se utiliza el enfoque tradicional de “olas de calor” que contiene días consecutivos de calor extremo, sino que se trabajará solo con días de calor extremo definidos a partir de umbrales locales de temperatura, sin tomar en cuenta el número de días consecutivos.

c. Fenómeno del Niño y días de calor extremo

El Fenómeno del Niño, es un fenómeno climático que se produce en el Pacífico tropical y tiene un impacto en los patrones climáticos a nivel mundial. Se trata de un evento natural que ocurre de manera irregular. El Fenómeno del Niño está asociado con un calentamiento anómalo de las aguas superficiales del océano Pacífico, especialmente en la zona ecuatorial. Durante el desarrollo de este

fenómeno natural, el comportamiento de las condiciones meteorológicas se altera provocando anomalías en las lluvias y temperaturas. Algunas características generales del Niño en el océano de Perú son: 1) incremento de la temperatura superficial y sub-superficial del mar, 2) incremento del nivel del mar en la zona de calentamiento, 3) disminución del afloramiento de las aguas frías y nutrientes hacia la superficie, 4) variación de la salinidad de las aguas costeras, 5) incremento del contenido de oxígeno. Mientras que, en la atmosfera, las características generales son: 1) debilitamiento de los vientos alisios a lo largo de la costa, 2) incremento de la temperatura del aire en las zonas costeras adyacentes al mar caliente, y en toda la troposfera, 3) incremento del contenido de humedad en el aire, 4) incremento de la nubosidad en la estación de verano y primavera, 5) disminución de la presión atmosférica (22).

d. Humedad y calor

Los niveles de humedad pueden afectar significativamente la letalidad de los efectos del calor sobre la salud. Altos niveles de humedad más el aumento de la temperatura ambiental, genera estrés térmico en el cuerpo al evitar que este se enfríe a través del sudor, ya que el aire al estar saturado de humedad no permite que el sudor pueda evaporarse eficazmente (23). Esto puede aumentar el riesgo de agotamiento por calor e insolación, sobre todo en las poblaciones más vulnerables como los ancianos, los niños y las personas con enfermedades preexistentes.

En las regiones húmedas, la estimación de la magnitud de los días de calor extremo sin tomar en cuenta la humedad puede subestimar la gravedad del calor, ya que la

elevada humedad durante días calurosos consecutivos llega a ser un factor que contribuye a amplificar el efecto del calor extremo (24).

e. Isla urbana de calor

Este es un proceso de acumulación de temperatura que se genera por una amplia cobertura de material de concreto que retiene el calor haciendo que la temperatura sea más alta dentro de las ciudades (25). Este efecto muchas veces puede ser mitigado por la cobertura vegetal, sin embargo, si las ciudades no tienen árboles o parques, el efecto no se verá reducido (26). Las islas urbanas de calor son especialmente importantes en los meses de verano, puesto que, la alta concentración de concreto también impide que haya noches con temperaturas más bajas, que usualmente son necesarias para que el cuerpo pueda descansar del estrés térmico al que fue sometido en el día. Esto puede generar que las personas que viven en edificios perciban mayor sensación térmica al dormir y que a su vez estén más propensas a sufrir golpes de calor (27). Según un estudio de 93 ciudades europeas, más del 4% de las muertes que se producen en verano dentro de las ciudades se atribuye al efecto de las islas urbanas de calor y que, un tercio de estas muertes podrían evitarse alcanzando una cubierta arbórea del 30% en general (26).

f. Contaminación ambiental y días de calor extremo

El aumento de temperaturas puede aumentar la contaminación del aire mediante algunos mecanismos fisicoquímicos. Uno de los principales contaminantes que empeoran con el calor es el aumento de la formación de ozono troposférico. El ozono troposférico es un gas que se crea mediante una reacción química entre óxidos de nitrógeno y compuestos orgánicos volátiles en presencia de luz solar y altas temperaturas (28). Por lo tanto, durante los días de calor extremo, las altas

temperaturas y la luz solar pueden provocar un aumento de contaminantes debido a la suspensión de partículas contaminantes en el aire. Por otro lado, la temperatura y la luz solar pueden acelerar las reacciones químicas que conducen a la formación de ozono. El ozono troposférico causa problemas respiratorios y agrava enfermedades cardiovasculares, como cardiopatías e infartos (28,29).

Asimismo, durante los eventos de calor extremo, las condiciones atmosféricas como alta radiación solar, temperaturas elevadas y estancamiento del aire también favorecen la acumulación de otros contaminantes como el material particulado. Esta interacción entre temperatura y contaminación se ha vinculado con un mayor riesgo de mortalidad respiratoria y hospitalizaciones por enfermedades respiratorias durante el verano (30). Una revisión sistemática encontró que el efecto de la contaminación por PM10 y O₃ en la mortalidad respiratoria es más pronunciado en presencia de temperaturas elevadas (30). Estas condiciones también pueden exacerbar enfermedades respiratorias crónicas como el EPOC, debido al estrés térmico combinado con la inflamación inducida por el aire contaminado que se respira (31). El efecto conjunto de calor extremo y mala calidad del aire representa una amenaza mayor que puede llegar a ser particularmente perjudicial para poblaciones vulnerables, como adultos mayores o personas con enfermedades preexistentes.

Otra forma en que los días de calor extremo, pueden aumentar la contaminación atmosférica es a través del mayor uso del aire acondicionado (9,28,29). Durante los días de calor extremo,, la gente tiende a utilizar más el aire acondicionado para mantenerse fresca, lo que puede provocar un aumento de la demanda de energía y,

por tanto, de las emisiones de las centrales eléctricas. Sin embargo, este no es el caso de Perú, ya que la cantidad de personas que utiliza aire acondicionado no se compara con países del hemisferio norte. No se tiene datos exactos de cuántos hogares tienen aire acondicionado en Lima, sin embargo, según Lancet Countdown en todo Latinoamérica solo el 22% de hogares tiene aire acondicionado a comparación de otras regiones como Estados Unidos que tiene un 95% (9).

g. El efecto del calor sobre la salud.

Durante los días de calor extremo, la capacidad de autorregular la temperatura interna del cuerpo puede verse comprometida, aumentando el estrés térmico, dando lugar a enfermedades relacionadas con el calor como el agotamiento por calor y el golpe de calor. Los síntomas del agotamiento por calor pueden incluir náuseas, vómitos, dolor de cabeza, debilidad y mareos, mientras que la del golpe de calor, un síndrome clínico grave y en ocasiones letal, puede llegar a causar confusión, fallos en los mecanismos de la termorregulación del cuerpo, convulsiones e incluso la muerte. Si el golpe de calor no es tratado de manera rápida y eficiente, los órganos como el corazón, los riñones y hasta los pulmones comienzan a fallar produciéndose la muerte en muchos casos (32).

Sin embargo, estos no son los únicos problemas que trae el calor extremo. En adultos mayores, los efectos del calor empeoran debido a una serie de factores, como una menor capacidad para regular la temperatura corporal, enfermedades crónicas que pueden agravarse por el calor y el uso de ciertos medicamentos que evitan una óptima regulación de las temperaturas (33).

Algunas enfermedades crónicas que pueden empeorar por el calor son:

1. Enfermedades cardiovasculares: Las altas temperaturas pueden sobrecargar el corazón y agravar enfermedades como la hipertensión, arteriopatía coronaria y la insuficiencia cardíaca crónica (34,35). Los estudios demuestran que en los días de calor extremo existe un aumento en la mortalidad y en las visitas hospitalarias por este tipo de enfermedades.
2. Enfermedades renales: La deshidratación y la falta de electrolitos pueden sobrecargar los riñones. Según un estudio en Australia, las visitas a emergencia por enfermedades e insuficiencia renal aguda aumentan en días de calor extremo (36).
3. Enfermedades neurológicas: Las altas temperaturas pueden exacerbar los síntomas de afecciones neurológicas como Parkinson y la esclerosis múltiple al generar mayor estrés térmico en el cuerpo (37,38).
4. Enfermedades respiratorias: Las altas temperaturas sumadas a la mala calidad del aire pueden agravar afecciones respiratorias como el asma, la enfermedad pulmonar obstructiva crónica, las alergias y generar mayores visitas a emergencias y muertes prematuras (39–41).
5. Diabetes: Las personas con diabetes tienen mayor riesgo de deshidratación durante los días de calor extremo, lo que puede dificultar el control de los niveles de azúcar en sangre y aumentar el riesgo de complicaciones o la muerte (42).
6. Enfermedades mentales: las temperaturas extremas aumentan el estrés, ansiedad y depresión, especialmente en poblaciones vulnerables como

adultos mayores y las personas con enfermedades mentales preexistentes (43).

Asimismo, existen medicamentos para enfermedades crónicas que generan menor tolerancia al calor como 1) los diuréticos utilizados para tratar la hipertensión y los edemas, que aumentan el riesgo de deshidratación y desequilibrios electrolíticos durante el aumento de temperaturas (44), 2) los beta-bloqueadores, utilizados para enfermedades cardiovasculares como la hipertensión, limitan la capacidad de respuesta en momentos de estrés térmico, evitando una óptima regulación de la temperatura corporal (45), 3) los anticolinérgicos, utilizados para tratar asma, alergias y trastornos gastrointestinales, alteran la capacidad del cuerpo para sudar, limitando la autorregulación de la temperatura (46) y 4) los antipsicóticos y antidepresivos, que alteran la capacidad del organismo para regular la temperatura corporal y aumentar el riesgo de deshidratación (44).

h. Situación del adulto mayor en Lima Metropolitana

La población de América Latina se encuentra en un proceso de transición demográfica, en el que se está viendo el envejecimiento de la población. Esto gracias a la disminución de la incidencia de muertes de adultos mayores y al aumento de la esperanza de vida (47). Según estudios recientes, el 81% de la población mundial sobrepasará los 60 años y el 42% de ellos llegarán a vivir más de 80 años de edad (47). El Perú no es la excepción, a pesar de ser un país con población relativamente joven (38% de la población es menor a 15 años) el porcentaje de adultos mayores ha ido incrementando a lo largo de los años. La población de adulto mayor actualmente es de 10,7%, esta población está

concentrada principalmente en las zonas urbanas (14). Cabe recalcar que las proyecciones para el 2050 estiman que, para ese año, 25% de la población tendrá más de 60 años (48).

Dentro del Perú, Lima Metropolitana es la urbe con mayor cantidad de adultos mayores (12% de la población) (49). De esta población el 82,1% de mujeres y 67,2% de varones tienen algún problema de salud crónicas como hipertensión, asma, diabetes, colesterol, entre otras enfermedades crónicas no especificadas (14). Estas enfermedades aumentan su vulnerabilidad frente a las temperaturas extremas, al comprometer los mecanismos de regulación térmica y aumentar el riesgo de desarrollar un golpe de calor de manera más rápida o de agravar los síntomas de las condiciones preexistentes. Según un estudio mundial del Instituto de Métricas y Evaluación de la Salud (Institute for Health Metrics and Evaluation) las enfermedades que generan mayor mortalidad en Perú son las enfermedades cardiovasculares (25,5%), neoplásicas (18,9%) e infecciones respiratorias y tuberculosis (14,8 %) (50).

Asimismo, existen algunas características socioeconómicas que también podrían aumentar la vulnerabilidad de los adultos mayores en Lima Metropolitana. Por un lado, los informes del Instituto Nacional de Estadística e Informática de Perú (INEI) indican que de los adultos mayores de 60 años el 81,6% tiene cobertura de algún tipo de seguro público o privado (14), pero que solo el 53,8% está afiliado a algún tipo de pensión (14). Además, se estima que aproximadamente el 21 % de los adultos mayores en Lima Metropolitana vive en situación de pobreza, lo que refuerza la precariedad en la que se encuentra una parte de esta población (51).

Como consecuencia, muchos adultos mayores podrían seguir activos laboralmente para poder subsistir, exponiéndose a condiciones de calor extremo durante sus jornadas laborales, especialmente en contextos informales. De acuerdo con la Nota de Información Referencial N.º 008 del Departamento de Investigación y Documentación Parlamentaria (52), el 7 % de los vendedores ambulantes en Lima son adultos mayores, lo que evidencia su participación en actividades económicas informales y potencialmente peligrosas en un contexto de temperaturas extremas.

Adicionalmente, en el escenario actual, Lima Metropolitana no está preparado para atender de manera adecuada las necesidades de los adultos mayores frente al cambio climático. En el ámbito ciudad, la metrópolis no cumple con las características que la OMS sugiere para una ciudad amigable para el adulto mayor (53). Por ejemplo, en Lima Metropolitana se cuenta con solo 43 centros integrales de atención al adulto mayor, espacios generados por gobiernos locales para ofrecer servicios, programas y proyectos que protegen los derechos del adulto mayor (54). Si bien es una buena iniciativa, su alcance es limitado, ya que solo se ha implementado un espacio por distrito, a pesar de que existen distritos con alta densidad poblacional, como San Juan de Lurigancho, que alberga a más de un millón de habitantes (51).

Asimismo, los planes frente al cambio climático no incluyen cómo abordar los desafíos que se generarán por las temperaturas extremas sobre la salud de adultos mayores, niños pequeños o de cualquier otro tipo de persona vulnerable en el país (55). Por otro lado, a pesar de la existencia de una ley vigente desde 2018 (Ley No 30490) que busca promover una vida digna y saludable para esta población (56), persiste la falta de claridad en cuanto al papel que desempeña el Ministerio de Salud

y las medidas concretas que tomará para atender a la considerable cantidad de adultos mayores que padecen enfermedades crónicas y podrían verse afectados por los aumentos de temperatura.

i. Adaptación frente al calor extremo

La adaptación al calor en las ciudades se sustenta en tres pilares:

- Sistemas de alerta temprana de calor

Contar con sistemas de alerta temprana a nivel urbano es básico, ya que permiten emitir avisos oportunos para que la población tome las precauciones necesarias. Países como Argentina han demostrado que el éxito y la sostenibilidad de estos sistemas dependen de su desarrollo conjunto entre el sector académico, el Ministerio de Salud y el proveedor nacional de servicios meteorológicos (57). Además, estos sistemas deben incluir planes de comunicación efectivos que mejoren la comprensión tanto de la ciudadanía como de los sectores público y privado sobre las acciones necesarias para proteger la salud frente a los riesgos del calor extremo (58).

- Planificación urbana resiliente al calor

La planificación urbana debe priorizar la reducción de las islas de calor mediante la implementación de techos fríos, la mejora del aislamiento de los edificios y el incremento de espacios verdes en la ciudad. Las políticas de infraestructura verde han demostrado ser eficaces; por ejemplo, en Medellín, la creación de corredores verdes logró disminuir la temperatura urbana en hasta 2 °C en zonas previamente carentes de vegetación (59). Mientras que en Tacoma hubo una reducción de hasta

3.45 °C (60). Además, se debe garantizar el acceso a servicios básicos como agua potable en las zonas más vulnerables, para reducir los riesgos durante los eventos de calor extremo (61).

Ampliar el acceso a servicios básicos como agua y electricidad reduciría la vulnerabilidad, así como aumentar la cantidad de instalaciones públicas con aire acondicionado que puedan funcionar como centros de refugio frente al calor extremo, como bibliotecas, museos, centros comerciales y centros culturales, es una medida clave de adaptación (62). Estos espacios ofrecen alivio térmico especialmente en zonas densamente pobladas y con poca cobertura vegetal.

- Fortalecimiento de la infraestructura sanitaria

Para adaptarse al calor extremo es necesario mejorar la capacidad de los sistemas de salud para gestionar enfermedades relacionadas con el calor (63). Las políticas deben enfocarse en generar sistemas de salud resilientes al clima, con instalaciones sanitarias óptimas y sistemas de respuesta ante emergencias. Asimismo, es prioritario capacitar a los profesionales de la salud en el diagnóstico y manejo de enfermedades asociadas al calor (63).

En Sudamérica este es un tema emergente de investigación que ha comenzado a tomar relevancia en los últimos años. Países como Argentina y Chile ya tienen información sobre lo que está ocurriendo en sus países con respecto a la temperatura y la mortalidad, generando políticas públicas y sistemas de alerta temprana (67). En Argentina, por ejemplo, su sistema de alertas se basó en un estudio del 2019 sobre mortalidad y temperaturas (68) y se espera que la información generada sirva como base para preparar a sus sistemas de salud y trabajadores de salud. Sin embargo, sus datos no se pueden extrapolar a países como Perú, Ecuador, Colombia, que, a pesar de pertenecer al mismo continente, tienen características y contextos diferentes. Esta falta de información los pone en una situación vulnerable, sobre todo si consideramos que son países que serán muy afectados por el cambio climático en un futuro (2).

Asimismo, se sugiere poner más énfasis en estudios de días de calor extremo dentro de zonas que están en constante crecimiento urbano (4); esto se debe a que las simulaciones mundiales de los modelos climáticos que explican días de calor extremo no toman en cuenta los factores geográficos, demográficos, socioeconómicos y de planificación urbana que también estarían influyendo en la letalidad de los días de calor extremo (69). En ese sentido, Lima Metropolitana presenta diferencias significativas a nivel distrital, que puede influir en la magnitud de los efectos de los días de calor extremo sobre la salud de su población. La distribución desigual de recursos y servicios básicos, combinada con la mala planificación urbana, genera que algunos distritos sean más vulnerables que otros frente a temperaturas extremas. Distritos con menor nivel socioeconómico, con alta densidad poblacional, baja cobertura de áreas verdes, viviendas precarias y acceso

limitado a servicios esenciales como agua potable, podrían enfrentar un mayor riesgo de mortalidad durante eventos de calor extremo. En contraste con distritos con mejores condiciones de infraestructura urbana y mayores ingresos presentan que tienen más oportunidades de adaptación, como acceso a sistemas de ventilación, viviendas de mejor calidad y mayor cantidad de áreas verdes públicas.

Asimismo, las características ambientales de Lima podrían agravar esta situación. La ciudad enfrenta niveles de humedad relativamente altos en verano, lo que podría disminuir la eficiencia de los mecanismos fisiológicos de termorregulación y aumentar el riesgo de estrés térmico. Además, la contaminación del aire, presente de manera persistente en Lima Metropolitana, podría amplificar los efectos de las temperaturas extremas en personas con enfermedades crónicas. Por otro lado, la vulnerabilidad de Lima Metropolitana podría intensificarse aún más en contextos de eventos climáticos extremos como el fenómeno de El Niño, donde ya se ha observado un aumento significativo de las temperaturas en días consecutivos (22).

Adicionalmente, Lima Metropolitana aún carece de una definición precisa para el término "ola de calor", que impide tener planes de adaptación o sistemas de alerta temprano. No obstante, hallar una definición única se presenta como un desafío complejo. El gran número de definiciones de olas de calor evita que puedan ser comparadas eficazmente al evaluar los riesgos asociados con la mortalidad y determinar cuál es la definición más adecuada (70–72). Existen más de 16 definiciones distintas, las cuales pueden variar en función de la temperatura reportada y la duración del fenómeno (8). Es comprensible que esta diversidad de

definiciones provoque una notable confusión al tratar de establecer una descripción adecuada para los sistemas de alerta a nivel nacional (73), especialmente cuando se considera la limitada cantidad de investigaciones previas realizadas en regiones con climas tropicales (2).

IV. OBJETIVOS

GENERAL

Determinar la asociación de los días de calor extremo ocurridos entre los años 2005 y 2016 en la mortalidad no accidental de adultos mayores de 60 años en Lima Metropolitana.

OBJETIVO SECUNDARIO

- Determinar el mejor modelo que explique la asociación entre días de calor extremo y la mortalidad de adultos mayores en Lima Metropolitana entre los años 2005 y 2016.
- Evaluar si otras variables climáticas influyen en el modelo de días de calor extremo y mortalidad.

V. HIPOTESIS

A medida que se incrementan los percentiles de los días de calor extremo, aumenta el riesgo relativo de mortalidad en adultos mayores de 60 años.

VI. METODOLOGÍA

a. Diseño del estudio

Es un estudio tipo ecológico con análisis secundario de datos históricos provenientes del SENAMHI y del Ministerio de Salud del Perú (MINSA) para determinar el impacto de los días de calor extremo ocurridos desde el 2005 hasta el 2016 en la mortalidad de adultos mayores de 60 años en Lima Metropolitana. La base de datos de los registros individuales de mortalidad fue obtenida a través del Sistema de Atención de Solicitudes de Acceso a la Información del MINSA. La base de datos climáticos históricos fue obtenida por medio de la dirección de Agrometeorología del SENAMHI y de su página web oficial. Se analizaron los meses de verano (diciembre, enero, febrero, marzo) de 12 años de información disponibles (2005 -2016). Se seleccionaron esos meses debido a que, históricamente, estos meses presentan una mayor incidencia de temperaturas elevadas que pueden alcanzar niveles extremos por ser los meses de verano. Asimismo, se seleccionaron esos 12 años debido a la disponibilidad de bases de datos liberadas de mortalidad del Ministerio de Salud del Perú.

b. Área de estudio y población

Este estudio se realizó en la megaciudad de Lima Metropolitana, la capital de Perú. Ubicada en un desierto húmedo en el cinturón tropical (11). En ranking de ciudades más grandes del planeta se ubica en el puesto 40, con más de 10 millones de habitantes (15), lo que representa a un tercio de la población de todo Perú. La ciudad muestra una tendencia sostenida al envejecimiento de su población en todos sus distritos (17). Actualmente, el 12% de los habitantes de Lima tiene más de 60 años,

y en algunos distritos se registran tasas de crecimiento de la población mayor de esta edad superiores al 15% (49).

c. Muestra

La muestra está conformada por 20056 muertes no accidentales de adultos mayores en un total de 1424 días que provienen exclusivamente de los meses más cálidos en Lima, que son diciembre, enero, febrero y marzo de los años 2005 al 2016. El tipo de muestreo de las muertes fue sistemático de cobertura 100%, ya que se seleccionaron todas las defunciones de los adultos mayores (60 años a más) por ser una de las poblaciones más vulnerables a las temperaturas extremas. Posteriormente de este valor de fallecimiento se quitaron las defunciones producidas por accidentes o asesinatos, ya que se consideró como muertes no relacionadas a temperaturas extremas.

j. Operacionalización de variables

1. Variable dependiente e independiente

- **Variable dependiente:** Tasa de mortalidad no accidental en adultos mayores de 60 años por día.

Para la creación de la variable de tasa de mortalidad diaria no accidental, se seleccionaron previamente las defunciones de residentes de Lima Metropolitana con edad igual o mayor a 60 años, registradas entre los años 2005 y 2016. Se excluyeron las defunciones atribuibles a causas externas, definidas como aquellas clasificadas en el rango de códigos V01–Y89 del CIE-10, que incluyen muertes por

c Posteriormente, se sumaron las defunciones diarias, y se calculó la tasa de mortalidad utilizando como denominador el número total de adultos mayores de 60 años reportados anualmente por el Instituto Nacional de Estadística e Informática.

- **Variables independientes:**

Al no existir un percentil exacto según bibliografía para una definición de días de calor extremo, para este estudio se seleccionaron tres diferentes percentiles según la temperatura media para generar la variable de *Días de calor extremo* (8).

- Percentil 90°

Se creó una variable dicotomizada (0= día sin temperatura extrema, 1= día con temperatura extrema) a partir del percentil 90 de la temperatura media (24.4 °C) de los meses de verano (diciembre a marzo) de 2005 a 2016. Los días que tuvieron una temperatura igual o mayor al percentil 90 fueron considerados como día con temperaturas extremas de calor.

- Percentil 95°

Se creó una variable dicotomizada (0= día sin temperatura extrema, 1= día con temperatura extrema) a partir del percentil 95 de la temperatura promedio diaria (24.8°C) de los meses de verano (diciembre a marzo) de 2005 a 2016. Los días que tuvieron una temperatura igual o mayor al percentil 95 fueron considerados como día con temperaturas extremas de calor.

- Percentil 99^o

Se creó una variable dicotomizada (0= día sin temperatura extrema, 1= día con temperatura extrema) a partir del percentil 99 de la temperatura promedio diaria (25.7 °C) de los meses de verano (diciembre a marzo) de 2005 a 2016. Los días que tuvieron una temperatura igual o mayor al percentil 99 fueron considerados como día con temperaturas extremas de calor

2. Covariables

Las covariables fueron creadas a partir de variables numéricas. Se separaron en terciles para un mejor entendimiento de los resultados al momento del análisis estadístico.

Tabla 1. Covariables a analizar

Definición					
Variable	Conceptual	Operacional	Valores posibles	Criterios de medición	Fuente
Porcentaje de humedad relativa	Porcentaje de humedad	Variable categorizada del porcentaje de promedio de humedad diaria	0 = 69.5 – 79 1 = 79.5 – 82 2= 82.5 – 91.5	Catagórica	SENAMHI
Temperatura máxima	Temperatura máxima registrada	Variable categorizada de la temperatura máxima registrada en el día	0= 19.4 - 24.8 1 = 24.9 - 26.6 2 = 26.7 - 31.2	Catagórica	SENAMHI
Temperatura mínima	Temperatura mínima registrada	Variable categorizada de la temperatura mínima registrada en el día	0= 14.5 - 19.7 1 = 19.8 - 20.8 2 = 20.9 - 24.2	Catagórica	SENAMHI
Temperatura media	Temperatura promedio de los registros de temperatura	Variable categorizada de la temperatura media	0 = 17.5 - 21.8 1=21.9-23.2 2 = 23.3 - 26.8	Catagórica	SENAMHI

	por día tomados desde las 7am hasta las 7pm.				
Velocidad del viento	Promedio de velocidad del viento	Variable categorizada del promedio de velocidad del viento diario en m/s	0 = 0 – 1.17 1 = 1.18 – 1.83 2 = 1.84 – 3	Categoría	SENAMHI

k. Procedimientos y técnicas

Son datos secundarios, provenientes de SENAMHI y MINSA. Los datos de mortalidad individuales fueron tomados por médicos que constataron la muerte. Los profesionales de salud generaron un Certificado de Defunción que contenía información de la causa básica de muerte según la codificación CIE-10, la fecha, hora y datos personales del fallecido. Este registro pasó a manos de los familiares para generar el Acta de Defunción en el Registro Nacional de Identificación y Estado Civil (RENIEC) y así quedó constatada la muerte. En caso la muerte haya sido extrahospitalaria por accidente, los parientes tuvieron que hacer notificación al Ministerio Público para que se genere el certificado correspondiente, en caso fuera una muerte extrahospitalaria por enfermedad, el médico tratante se encargó del certificado. Estos registros constatados por la RENIEC fueron entregados al Centro Nacional de Epidemiología, Prevención y Control de Enfermedades para que se encargara de la organización y limpieza, una vez culminado este proceso, la base de datos pasó a ser pública gracias a la Ley de Transparencia y Acceso a la información Pública N° 27806. Por lo tanto, para obtenerlos se tuvo que hacer un pedido al MINSA por medio de una solicitud de acceso a la información pública en su página. Solo se pidió la base de datos que contenía información sobre: fecha,

sexo, edad, distrito y causa de muerte. Solo se tuvo acceso hasta el año 2016, ya que para el momento que se empezó a realizar la tesis, los datos de los años posteriores aún no son públicos. No se pidió información personal como DNI o nombre de los fallecidos.

En el caso de los datos meteorológicos, la toma de datos fue hecha por la estación meteorológica automática Campo de Marte ubicada en la central de SENAMHI en el distrito de Jesús María. La marca del equipo es Sutron (74) y tiene una precisión de un decimal. Esta máquina automática es capaz de reportar a tiempo real información sobre la temperatura, porcentaje de humedad, presión atmosférica, precipitación, radiación solar y velocidad del viento gracias a que cuenta con un termómetro (para medir temperatura), un anemógrafo (para medir viento) y un hidrógrafo (humedad). Los datos son descargados por el personal de SENAMHI al finalizar la última toma de datos (7 pm) y son exportados a una base de datos de Excel. La base de datos pasó por un control de calidad rápido por parte del área de meteorología para encontrar datos faltantes y no plausibles y fueron entregados por la dirección de agrometeorología del SENAMHI previa solicitud. La base de datos entregada contuvo las siguientes variables que fueron utilizadas para crear las covariables anteriormente explicadas:

- **Temperatura media:** Temperatura promedio del día en grados centígrados que se genera a partir de la toma del termómetro hecha a las 7 am, 1 pm y 7 pm.

- **Temperatura máxima registrada en el día:** Al finalizar el día, la estación meteorológica automática genera esta variable.
- **Temperatura mínima registrada en el día:** Al finalizar el día, la estación meteorológica automática genera esta variable.
- **Porcentaje de humedad:** El hidrógrafo toma porcentaje de humedad en tan solo dos ocasiones al día (7am y 7 pm). En este caso, el personal del SENAMHI generó un promedio con estas dos variables.
- **Velocidad del viento:** El anemógrafo se encarga de medir la velocidad del viento en m/s cada hora. Al finalizar el día la estación meteorológica automática genera un promedio del día.

l. Consideraciones éticas

El presente estudio se realizó con datos secundarios de mortalidad y no se tuvo contacto con humanos en ningún momento. Los datos fueron entregados sin variables identificadoras como nombre o DNI, en ese sentido, no existe riesgo alguno para los sujetos del análisis o para los familiares. Asimismo, este protocolo está registrado en el Sistema Descentralizado de Información y Seguimiento a la Investigación (SIDISI) - Dirección Universitaria de Investigación, Ciencia y Tecnología (DUICT) con el código 104868 y fue aprobado por el Comité de Ética de la UPCH (CIE-UPCH) previo a su ejecución.

m. Análisis estadístico

El procesamiento y análisis de datos se ejecutó con el programa Stata 15.0 (StataCorp, TX, US), Tableau y R. Antes de realizar el análisis estadístico, se llevó

a cabo una comprobación de control de calidad para evaluar el nivel de datos faltantes y no plausibles de la base de datos. Se continuó con la creación de las tres variables dicotomizadas de días de calor extremo a partir de la temperatura media. Se usaron tres límites de temperatura media basados en los percentiles 90°, 95 ° y 99 ° de los meses de diciembre, enero, febrero y marzo. Las variables dicotomizadas tenían valor 1 si tenían valores superiores o iguales al respectivo percentil y valor 0 si no superan esa temperatura. Se hizo una mapa de calor (*heatmap*) para observar los meses que presentaban estos eventos. Se graficaron las series de mortalidad y temperatura (mínima, media y máxima) en un mismo eje temporal, incorporando líneas verticales que marcaron los días de calor extremo definidos según los percentiles 90, 95 y 99 de la temperatura. Cada temporada de verano (diciembre – abril) se presentó en un panel independiente mediante facetas anuales.

Para posteriores análisis, variables como temperatura máxima, temperatura mínima, temperatura media, humedad y velocidad del viento se separaron en terciles. Se dividieron en terciles para facilitar la interpretación de los resultados, ya que esta separación permite observar de manera más sencilla las diferencias entre rangos de valores. Todas se presentaron en la tabla con valores de N y porcentajes. La variable de tasa de mortalidad se mantuvo numérica y se presentó la media y la desviación estándar.

Se analizaron las medias y desviación estándar de la variable mortalidad con las variables categóricas de días de calor extremo según percentiles (90°, 95 ° y 99 °), temperatura media, temperatura máxima, temperatura mínima, humedad y viento. Posteriormente se hizo análisis de T-test y ANOVA para determinar si existían diferencias significativas ($p < 0.05$) entre grupos.

El análisis de la relación entre los días de calor extremo y la mortalidad se hizo mediante el análisis de series de tiempo. Se realizaron tres grandes modelos aditivos generalizados (GLM) con una función de enlace de Poisson para determinar la asociación entre los días de calor extremo según percentiles (90^o, 95^o, 99^o) y la mortalidad de adultos mayores, considerando la tasa poblacional según año. Para examinar los efectos retardados de los días de calor extremo en la mortalidad, se incluyeron 5 días de rezago (lags) en los modelos para determinar la mortalidad en días consecutivos en el que los días de calor extremo se prolongan. Esto permite evaluar cómo los días de calor extremo, al prolongarse durante varios días consecutivos, pueden impactar la mortalidad de manera acumulativa (75).

Inicialmente se ejecutaron tres modelos GLM de regresión de Poisson para cada variable independiente, que en este caso fueron las variables de con temperaturas extremas de calor (Percentil 90^o, 95^o y 99^o). En estos modelos la variable dependiente fue la tasa de mortalidad diaria de adultos mayores de 60 años. Se decidió ajustar el modelo con las variables climáticas que se tenían disponibles y que habían sido seleccionadas previamente a través del Gráfico Acíclico Dirigido (DAG) (Anexo 2): velocidad del viento, temperatura máxima, humedad, temperatura media. Debido a que las variables fueron incorporadas al modelo como variables categóricas no se aplicaron análisis de colinealidad. De estas variables, las variables que pasaron al modelo múltiple fueron las que tuvieron un valor de $p < 0.05$. Finalmente, no se incluyó la variable humedad en el modelo ya que mostró un 38% (548 días) de datos faltantes y al hacer el análisis de ANOVA entre grupos, no se observaron diferencias significativas. Se consideró imputar estos valores mediante promedios de meses similares, pero se descartó para evitar sesgos que

afectaran la validez del modelo. Esto se decidió principalmente porque, en años atípicos como 2016 (año del fenómeno de El Niño), faltaban los datos de humedad en su totalidad, y compararlos con meses de otros años sin este tipo de fenómeno podría introducir sesgos.

Posteriormente, se hizo el modelamiento de series de tiempo y se agregaron 5 días de rezago (lags) a cada uno de los modelos finales para tener en cuenta el efecto retardado de la exposición al calor en la mortalidad. La elección de este número de lags se fundamenta en la literatura previa, en particular en el estudio de Peng Yin et al. (2018), realizado en 272 ciudades de China (76). En este estudio se observó que el efecto del calor en la mortalidad dejaba de ser significativo a partir del 6 día de lags. Se corrieron un total de 18 modelos. Para determinar qué modelo tenía el mejor ajuste, se utilizó el criterio de información de Akaike (AIC) y se seleccionó el modelo con el menor valor. Una vez se tuvo el modelo con el mejor ajuste se calcularon las muertes atribuibles, mediante las fórmulas:

$$FA = \frac{RR - 1}{RR}$$

$$MA = MO \times FA$$

FA corresponde a la fracción atribuible, calculada a partir del RR, el riesgo relativo estimado mediante el modelo GLM con mejor ajuste. MA representa las muertes atribuibles, calculadas únicamente sobre las MO, es decir, las muertes registradas durante los días identificados como el primer día de calor extremo según el percentil 99, correspondiente al modelo con mejor desempeño. Para el detalle del cálculo, véase el Anexo 5.

Debido a que la variable humedad es una variable relevante en los estudios de días de calor extremo, se hizo un subanálisis exploratorio con el modelo que ajustó mejor, agregando la variable humedad (únicamente en los años que se tenía la variable), con el fin de determinar si al ingresar al modelo multivariado generaba algún efecto sobre los días de calor extremo. Los resultados se encuentran en el Anexo 6.

Se realizó un análisis adicional excluyendo los años en los que ocurrió el fenómeno de El Niño, para evaluar si el efecto de las temperaturas en la mortalidad se mantenía o disminuía en periodos con temperaturas menos elevadas. Los resultados se encuentran en el Anexo 7.

Finalmente, se llevó a cabo un análisis adicional, de naturaleza exploratoria, con el objetivo de estimar el RR de mortalidad asociado a temperaturas extremas, estratificado por sexo. Este análisis no formó parte de los objetivos principales del estudio, pero se incluyó para explorar posibles diferencias en la magnitud de la asociación entre hombres y mujeres en el Anexo 8.

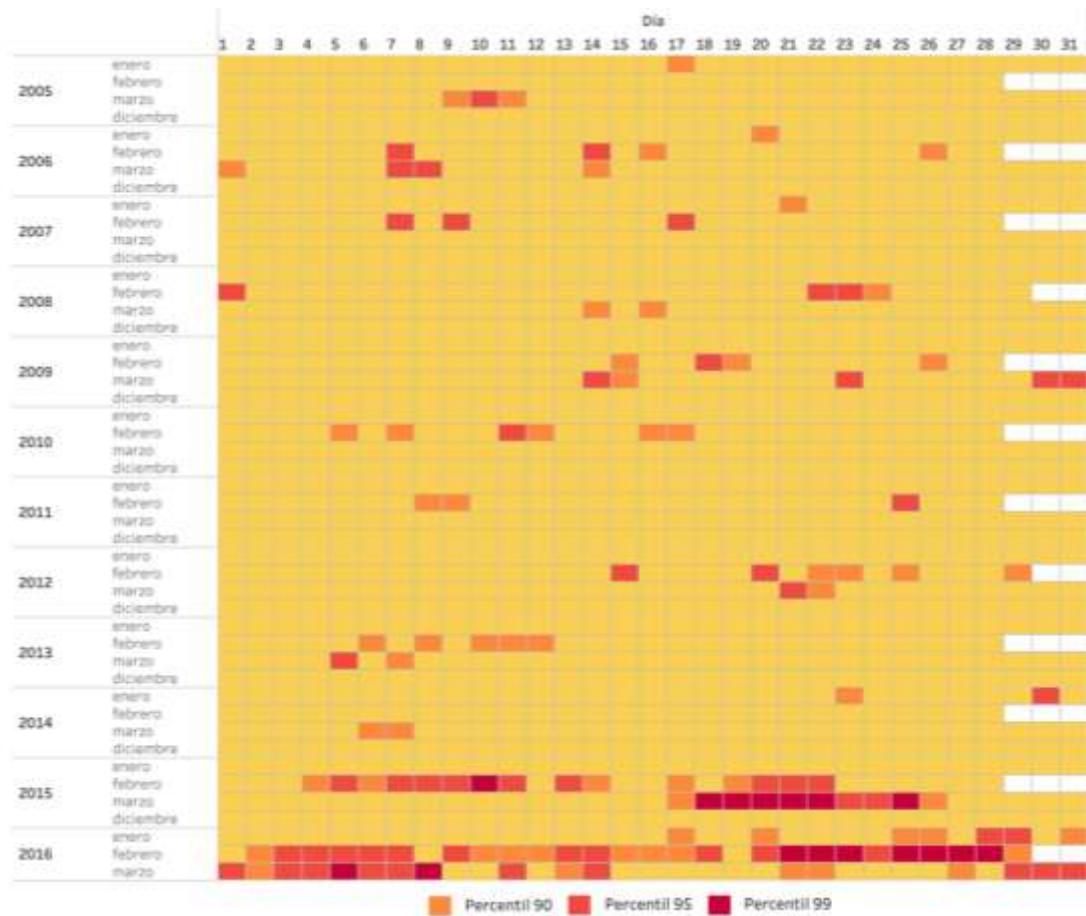
VII. RESULTADOS

Se evaluaron un total de 1424 días en los meses de verano – diciembre, enero,

febrero y marzo – entre los años 2005 y 2016. Se observaron 135 días (9.3 %) con temperaturas por encima del percentil 90° de la temperatura media (≥ 24.4 °C), 73 días (5%) por encima del percentil 95° (≥ 24.8 °C), y 16 días (1.1 %) por encima del percentil 99° (≥ 25.7 °C) (Tabla 2). Entre los años 2005 a 2014 se observaron 60 días (5%) que superaron el percentil 90° y 23 días (1.9%) que superaron el percentil 95° (Figura 2), con un máximo de temperaturas altas de 3 días consecutivos. Entre los años 2015 y 2016 se observa un aumento de días consecutivos con temperaturas altas, con un máximo de 10 días consecutivos. En estos dos años, 75 días (35.4%) superaron el percentil 90°, 50 días (23.6%) superaron el percentil 95° y 16 días (7.5%) superaron el percentil 99°. Cabe recalcar que estos años son atípicos, ya que en este periodo se estaba presentando un evento del Niño.

Con respecto a la temperatura media, durante este periodo se situó entre 17.5 °C y 26.8 °C con un promedio de 22.4 °C (± 1.7). La temperatura máxima se situó entre 19.4 °C y 31.2 °C, mientras que la temperatura mínima estuvo entre 14.5 °C y 24.2 °C durante el mismo periodo de días. La velocidad del viento osciló entre 0 m/s y 3 m/s y los niveles de humedad oscilaron entre el 69.5% y el 91.5% en los 876 días que se recopiló la información de esta variable. Con respecto a los fallecimientos no accidentales de adultos mayores, el total de muertes en todo el estudio fue de 20056 individuos con un promedio diario de 14 (± 5.3) (Tabla 2).

Figura 2. Días que superan los percentiles 90 o, 95 o y 99 o según año y mes.



Los resultados presentados en la Tabla 3 indican si hay diferencias significativas de la mortalidad según las subcategorías de las variables en Lima Metropolitana durante los meses de verano. La temperatura máxima, mínima y media mostraron diferencias significativas con respecto a la mortalidad, donde se observa una tendencia de mayor mortalidad cuando las temperaturas son más altas. Lo mismo ocurre con la variable velocidad del viento. La variable humedad no mostró una asociación significativa ($p=0.41$) con las tasas de mortalidad. Esto podría deberse a que la categorización en terciles no capta adecuadamente una posible relación.

El análisis mostró que la mortalidad de los adultos mayores aumentó

significativamente en los días de calor extremo, en comparación con los días sin calor extremo. Este efecto se observó para los tres percentiles de días de calor extremo (90°, 95° y 99°), lo que indica que la intensidad del calor es un factor importante. En los días con temperaturas superiores al percentil 99, se observa una tasa media de mortalidad de 23.8 ± 4.0 en comparación con una tasa media de mortalidad de 14 ± 5.3 en los días sin temperaturas extremas.

En el análisis bivalente, la temperatura máxima, la temperatura media y la velocidad del viento se identificaron como variables significativas con un valor $p < 0.05$ (Tabla 3, 4 y 5). Estas variables se incluyeron como variables de ajuste en todos los modelos que tuvieron a las variables de temperaturas extremas superiores a los percentiles 90°, 95° y 99° como variables respuesta.

Tabla 2. Características de variables climáticas y mortalidad de Lima metropolitana desde el año 2005 hasta el 2016, de los meses de verano (diciembre-marzo) (N=1424 días analizados).

Variable	N (%)
Condiciones meteorológicas	
Días de calor extremo	
Percentil 90° (≥ 24.4 °C)	135 (9.3)
Percentil 95° (≥ 24.8 °C)	73 (5)
Percentil 99° (≥ 25.7 °C)	16 (1.1)
Temperatura media (°C)	22.4 ± 1.7 *
17.5 - 21.8	466(32.7)
21.9 - 23.2	479(33.6)
23.3 - 26.8	479(33.6)
Temperatura máxima (°C)	
19.4 - 24.8	471 (33.1)
24.9 - 26.6	476 (33.4)
26.7 - 31.2	477 (33.5)
Temperatura mínima (°C)	
14.5 - 19.7	479 (33.6)
19.8 - 20.8	470(33.0)
20.9 - 24.2	475(33.4)
Humedad (%)[†]	
69.5 - 79	319 (36.4)

79.5 - 82	296 (33.8)
82.5 - 91.5	261 (29.8)
Velocidad del viento (m/s) *	
0 - 1.17	463(32.5)
1.18 -1.83	476(33.4)
1.84 - 3	485(34.1)
<u>Resultados de salud</u>	
Total de adultos mayores fallecidos no accidentales	20056
Promedio de adultos mayores fallecidos por día**	14 ± 5.3 *

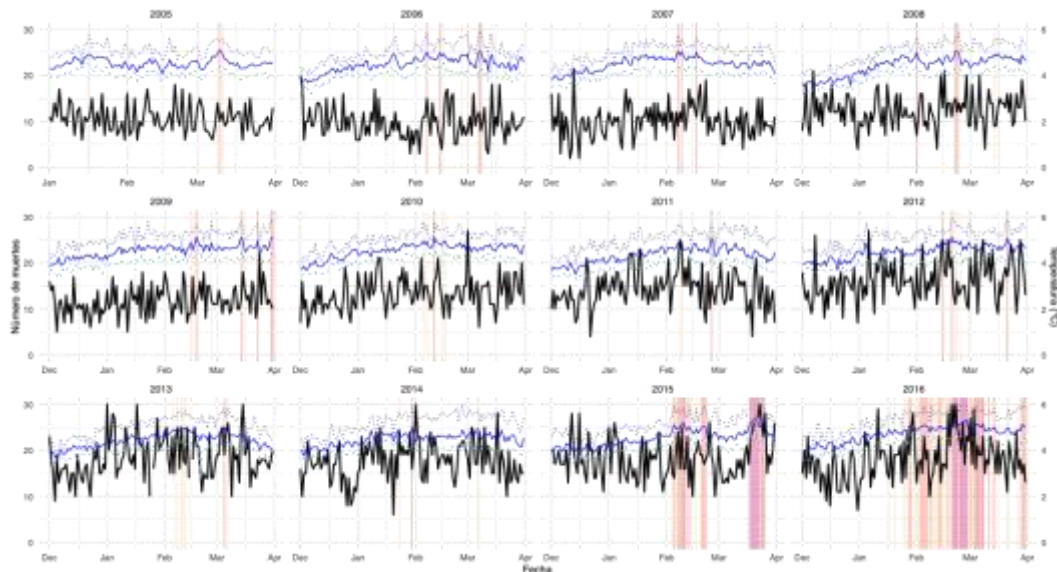
* Media ± desviación estándar

** Promedio no incluye asesinatos y accidentes

† Los datos de esta variable no están completos (N= 876)

La Figura 3 muestra las curvas de temperatura y mortalidad diaria durante las temporadas de verano, definidas entre diciembre y abril, desde el verano 2005 (diciembre 2004–abril 2005) hasta el verano 2016 (diciembre 2015–abril 2016). La línea azul representa la temperatura media, mientras que los puntos celestes corresponden a la temperatura mínima y los puntos azules a la temperatura máxima. La línea negra indica el número diario de muertes no accidentales. En cada gráfico se destacan los días con calor extremo, definidos según los percentiles 90, 95 y 99 de temperatura, representados con líneas verticales cuya intensidad de color aumenta con el percentil. Se observa una clara tendencia estacional de aumento de la temperatura a lo largo de cada verano, alcanzando sus valores máximos entre febrero y marzo. En varios veranos, particularmente en 2009, 2010, 2015 y 2016, se identifican picos de mortalidad que coinciden temporalmente con días de calor extremo, en especial aquellos correspondientes al percentil 99 en 2015 y 2015.

Figura 3. Curvas de mortalidad y temperatura (diciembre-abril). Agrupadas por temporada de verano con días de calor extremo (Percentiles 90, 95 y 99)



Los modelos analizados mostraron un aumento significativo del riesgo relativo (RR) de mortalidad, independientemente de la definición utilizada. Los resultados se ilustran en las Figura 4, y los datos detallados de cada modelo se presentan en las Tablas 3, 5 y 5 de los apéndices. El RR más alto observado fue el del primer día de calor extremo de percentil 99 °, con un RR de 1.48 ($p < 0,001$), lo que indica un aumento del 48% del riesgo de mortalidad en comparación con los días sin temperaturas extremas de calor. Por otro lado, los valores más bajos de RR fueron de 1.13 ($p < 0,001$) y se encontraron en el percentil 90, el día de inicio del episodio de calor. Además, nuestro análisis reveló un efecto retardado de las temperaturas extremas en la mortalidad. En los modelos con los percentiles 90 y 95, se observó un aumento del riesgo de mortalidad en el segundo (RR=1.17) y tercer día (RR=1.24), respectivamente. En cambio, en las regresiones con el modelo del percentil 99, el pico de RR mortalidad se observó el primer día (RR=1.48).

Las figuras también muestran que el efecto del calor sobre los valores de RR persiste a lo largo de los cinco días de lags (retraso) en todos los modelos, lo que indica que el impacto de los días de calor extremo sobre el riesgo de mortalidad se extiende más allá del periodo inmediato del día con temperatura extrema.

Por último, se utilizaron los valores del criterio de información de Akaike (AIC) para determinar el modelo que mejor se ajustaba, en este caso los valores más bajos del AIC fueron los del primer día de calor extremo de Percentil 99 °.

Tabla 3. Características climáticas asociadas a la mortalidad de adultos mayores de Lima metropolitana, desde el año 2005 hasta el 2016, de los meses de verano

	(N=1424 días) media ± DS de muertes de adultos mayores de 60 años	p
Días de calor extremo (Percentil 90 °)		< 0.001
Día sin calor extremo	13.7 ± 5.1	
Día con calor extremo	17.5 ± 5.9	
Días de calor extremo (Percentil 95 °)		< 0.001
Día sin calor extremo	13.8 ± 5.2	
Día con calor extremo	18.5 ± 6.4	
Días de calor extremo (Percentil 99 °)		< 0.001
Día sin calor extremo	14 ± 5.3	
Día con calor extremo	23.8 ± 4.0	
Temperatura media (°C)		< 0.001
17.5 - 21.8	13.2 ± 4.9	
21.9 - 23.2	13.7 ± 5.4	
23.3 - 26.8	15.4 ± 5.3	
Temperatura máxima (°C)		< 0.001
19.4 - 24.8	12.8 ± 4.7	
24.9 - 26.6	13.4 ± 5.2	
26.7 - 31.2	16 ± 5.5	
Temperatura mínima (°C)		< 0.001
14.5 - 19.7	13.2 ± 4.8	
19.8 - 20.8	13.5 ± 5.3	
20.9 - 24.2	15.5 ± 5.6	
Humedad (%) †		0.41
69.5 - 79	12.8 ± 5.1	
79.5 - 82	13.1 ± 5.0	
82.5 - 91.5	16.2 ± 5.0	
Velocidad del viento (m/s) *		< 0.001
0 - 1.17	12.9 ± 5.2	

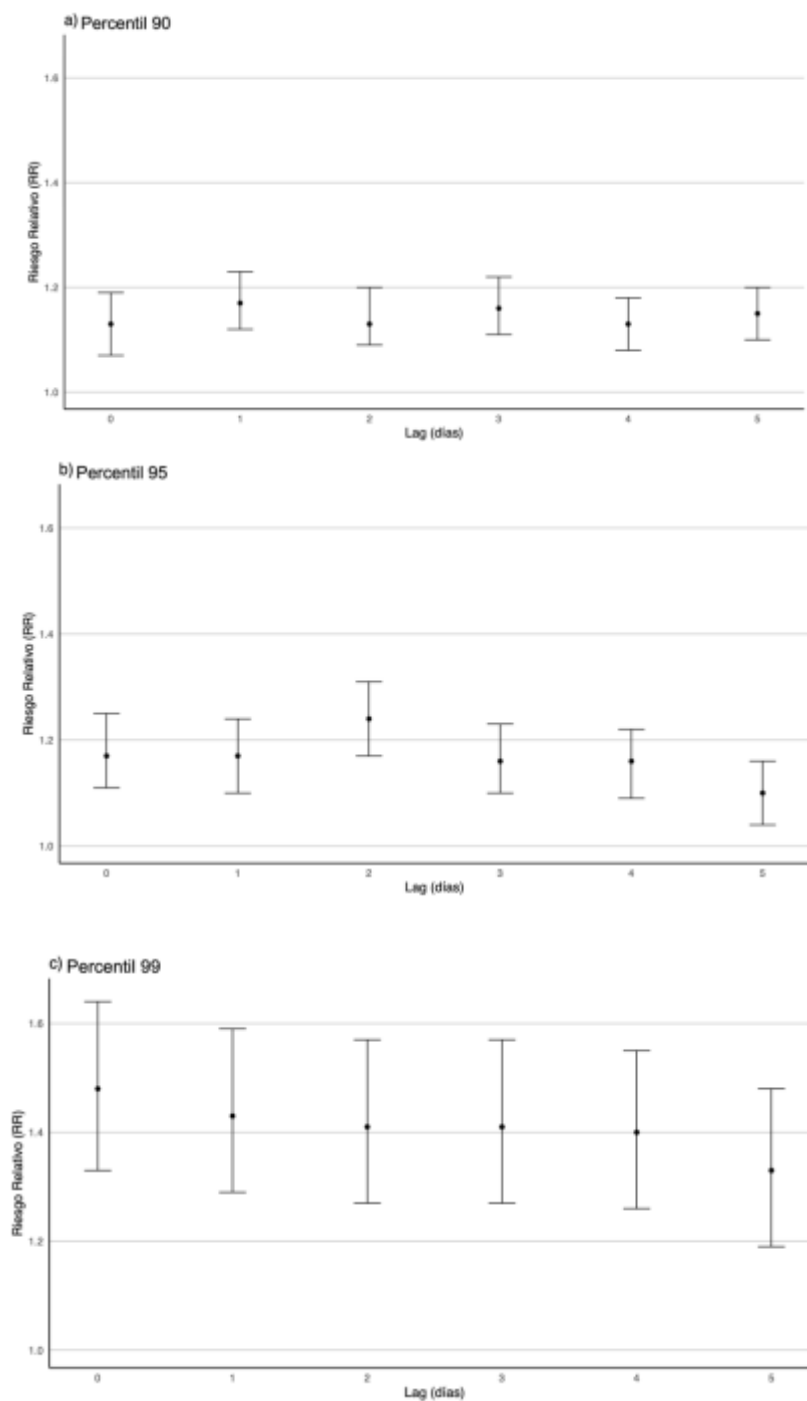
1.18 -1.83
1.84 - 3

14.5 ± 5.4
15.5 ± 5.1

Nota: Para las variables dicotómicas se hizo la prueba del t-test y para las variables con tres categorías se hicieron anovas.

† Los datos de esta variable no están completos (N= 876, años)

Figura 4. Efectos retardados de los días de calor extremo en la mortalidad de adultos mayores a lo largo del intervalo 0-5 días para tres definiciones de calor extremo.



VIII. DISCUSIÓN

El presente estudio tuvo como objetivo investigar la asociación entre las diferentes definiciones de temperaturas extremas de calor y la mortalidad no accidental de adultos mayores en Lima Metropolitana. Los resultados indican que los días de calor extremo, independientemente de la definición utilizada, representan un riesgo significativo para la salud de los adultos mayores en Lima Metropolitana, llegando a tener valores de riesgo relativo de mortalidad de 48% en eventos con temperaturas de 25.75 °C a más. Estos hallazgos son consistentes con estudios previos realizados en otras partes del mundo, resaltando la naturaleza global del problema de la mortalidad relacionada con los días de calor extremo (76,77).

Además, los resultados del estudio sugieren que el efecto retardado de la mortalidad por calor es particularmente evidente en los modelos que utilizan los percentiles 90 y 95 en los que se observa un aumento del riesgo de mortalidad en el segundo (RR=1.17) y tercer día (RR=1.24) respectivamente (Figura 4A y 4B). Esto indica que el impacto mayor de la exposición a altas temperaturas en la mortalidad no es inmediato, sino que se produce tras un periodo de tiempo (73). Desde una perspectiva fisiopatológica, este efecto de retardo puede explicarse por la respuesta progresiva del organismo ante el estrés térmico, especialmente en adultos mayores, quienes presentan alteraciones propias de la edad que limitan su capacidad de adaptación al calor. Entre los mecanismos involucrados se encuentran: la disminución de la capacidad de termorregulación (por menor sudoración y respuesta vasodilatadora), la deshidratación y el desequilibrio electrolítico, que pueden provocar hipotensión, desequilibrio electrolítico y llegar a disfunción

renal(78); el aumento sostenido de la carga cardiovascular, que agrava condiciones como insuficiencia cardíaca o arritmias (79); y la activación de una respuesta inflamatoria sistémica, con liberación de citocinas que deterioran progresivamente la función de órganos vitales (78). Además, el uso de medicamentos comunes en adultos mayores, como diuréticos, betabloqueadores o antipsicóticos, puede interferir con la regulación térmica y aumentar la susceptibilidad a los efectos del calor (44). Cabe recalcar que este efecto retardado no se observó en días con calor extremo del percentil 99, sin embargo, la Figura 4C muestra que los días con calor extremo con percentil 99 vienen precedidos de días con calor extremo pero de menor temperatura como los días con temperaturas superiores al percentil 90 y 95. Por ello, que el pico más alto de riesgo relativo se vea el primer día en esta definición puede deberse al efecto acumulativo del estrés térmico de los días anteriores que desencadenó en la muerte prematura. Estas muertes usualmente están relacionadas a adultos mayores con enfermedades crónicas, en especial enfermedades cardíacas y pulmonares, como se observó en el estudio de Qiao Z et. all (80). Del mismo modo, Gasparrini et al. (2015) señala que los efectos del calor en la mortalidad pueden desplazarse en el tiempo (81). Por ello, es importante tener en cuenta el efecto retardado que existe con relación a los días de calor extremo y la mortalidad, sobre todo para la planificación y las intervenciones de salud pública, ya que los resultados de este estudio sugieren que el impacto total de los días de calor extremo en la mortalidad puede no ser inmediatos y requieren una respuesta sostenida durante un periodo de tiempo más largo.

Los valores más bajos de AIC se obtuvieron en el modelo correspondiente al primer día en que la temperatura máxima diaria superó los 25.75 °C (percentil 99),

indicando que este modelo presentó el mejor ajuste a los datos. Con base en este modelo, se estimó un riesgo relativo (RR) de 1.48. Los valores hallados de riesgo relativo en este percentil son altos, esto se debe principalmente a la metodología utilizada en la que se usan variables categóricas. Este tipo de categorización, si bien facilita la interpretación, puede generar una sobreestimación del riesgo. Es así como, al comparar los resultados con el estudio de Kephart et. al se observan diferencias, ya que el RR de mortalidad en Lima por el calor extremo es de alrededor de 1.23 cuando la temperatura llega 24 °C (82). Esto se debe a que Kephart et. al utiliza modelos con variables numéricas, captura relaciones no lineales más complejas que ayudan a ajustar el RR. Por otro lado, el aumento del RR también puede deberse a la elección de la temperatura media en vez de la temperatura máxima al momento de generar las variables de calor extremo. Tal y como se observa en estudios de Estados Unidos la temperatura media es mejor predictora de la mortalidad que la temperatura máxima (83). Una de las razones por la cual se estaría observando esto, es porque la temperatura máxima solo captura los momentos de calor más extremo, lo cual podría no reflejar con precisión la carga térmica total experimentada por una persona en un día completo, mientras que los valores de temperatura media si lo hacen. Asimismo, los días de calor extremo de percentil 99^o están presentes en momentos puntuales donde existieron aumentos de temperatura anómalos durante largos periodos de tiempo (más de 5 días) en los años 2015 y 2016 que coincidieron con el Fenómeno del Niño (84) que son años que no se toman en cuenta en el estudio de Kephart et al. (2022). Al excluir los años en los que se presentó el Fenómeno del Niño del análisis (Anexo 6), los días clasificados como de calor extremo no mostraron asociaciones estadísticamente significativas

con el riesgo relativo. Lo que podría estar indicando que la ocurrencia de días de calor extremo significativos en Lima Metropolitana está vinculada a condiciones climáticas excepcionales, como las inducidas por El Niño. En este tipo de fenómenos con temperaturas prolongadas, la temperatura nocturna se mantiene elevada (68) evitando que el cuerpo se recupere del estrés generado en el día, empeorando síntomas de enfermedades crónicas como cardiopatías y enfermedades pulmonares. A esto, se le tendría que sumar las características de la ciudad como el efecto de isla de calor (25). Un estudio en Lima demostró que existen 15 islas de calor en la ciudad, con temperaturas más elevadas en distritos poco favorecidos como Ate y Lurigancho, Villa María del Triunfo y San Juan de Lurigancho (85). Adicionalmente, Lima tiene muy poca cobertura vegetal que impide que la sensación térmica sea menor dentro de las ciudades (10). Estas dos características podrían estar incrementando el riesgo relativo de mortalidad en este tipo de eventos, sobre todo en personas más vulnerables. Según un estudio de 2016 en Inglaterra, las islas urbanas de calor contribuyeron al 50% de las muertes atribuibles a días con calor extremo en ese país (10), por otro lado, según Hondula et. al, el aumento de la densidad de áreas verdes podría reducir el número de muertes atribuibles al calor en las ciudades (86).

Otras variables que también podrían agravar el riesgo relativo de mortalidad en los días de calor extremo en Lima son la calidad del aire y la humedad relativa. En este estudio no se tuvo acceso a data de la calidad de aire, pero se sabe que Lima es una de las ciudades más contaminadas de Sudamérica y que contaminantes como el ozono troposférico reaccionan con la temperatura y están relacionados a aumento de la gravedad de problemas respiratorios (29,87). Asimismo, se observa que los niveles

altos de PM_{2.5} combinados con los días de calor extremo pueden afectar la salud y agravar enfermedades crónicas (88). En el caso de la humedad relativa, los estudios indican que esta variable puede intensificar los efectos negativos de los días de calor extremo (24). En este estudio, el análisis de ANOVA no mostró una asociación significativa entre la humedad y la mortalidad. Es importante señalar que el ANOVA evalúa únicamente diferencias de medias entre grupos, sin captar posibles relaciones continuas o no lineales que podrían existir entre ambas variables. Asimismo, la variable humedad no fue significativa en el modelo bivariado. Una posible explicación es que la humedad no actúe como un factor de riesgo independiente, sino como un modificador del efecto de la temperatura. En vista de ello, se hizo un subanálisis exploratorio con los meses que tenían la variable para explorar si la inclusión de la humedad mejoraba el modelo (Anexo 6). Los resultados indicaron que, a pesar de no ser significativo en el análisis bivariado, sí aportó en el modelo múltiple, y que posiblemente sería una variable modificadora de efecto, ya que aumentó el RR de mortalidad por temperaturas extremas de calor en un 21% en comparación del estudio sin la variable. (RR=1.79). Sin embargo, se requieren análisis adicionales con un mayor número de años para confirmar esta posible interacción. Como el estudio de Russo et. al lo indica, los altos niveles de humedad pueden exacerbar los efectos de las temperaturas altas en poblaciones vulnerables como los ancianos (24). Esto puede deberse a que las personas adultas experimentan una serie de cambios fisiológicos que impactan en su capacidad para regular la temperatura y humedad corporal de manera eficiente. Estos cambios incluyen una disminución en el control nervioso encargado de la respuesta a los cambios térmicos, lo que puede dificultar la adaptación a condiciones climáticas

extremas. Además, la producción y evaporación del sudor pueden verse afectadas, lo que llevaría a problemas de sobrecalentamiento (23). En personas con enfermedades crónicas cardíacas, la alteración en la circulación sanguínea y la capacidad de adaptación del cuerpo a cambios abruptos en la temperatura también pueden contribuir a la disminución en la regulación térmica (34). Por otro lado, a esto también se le puede sumar condiciones médicas preexistentes y la influencia de ciertos medicamentos que pueden agravar la vulnerabilidad de las personas mayores (42–44). Sin embargo, es necesario tomar estos resultados con cautela, ya que el análisis solo se hizo con años que tenían la base de datos completa, excluyendo entre ellos el año del Niño con temperaturas más elevadas y días de calor extremo más severas (eventos de año 2016).

Aunque los hallazgos aportan evidencia valiosa sobre esta asociación, el estudio presenta algunas limitaciones. En primer lugar, este estudio se desarrolló bajo un enfoque ecológico, lo que implica que no es posible establecer relaciones causales entre la exposición térmica y los desenlaces en salud. Asimismo, el objetivo principal fue evaluar si existía asociación entre los días de calor extremo y la mortalidad no accidental en adultos mayores, sin ahondar en los mecanismos fisiopatológicos involucrados ni en diferencias por sexo u otros rangos etarios.

En segundo lugar, si bien se contó con información adicional como sexo y distrito de residencia, el presente estudio optó por analizar la totalidad de muertes registradas en adultos mayores de Lima Metropolitana como una serie de conteo agregada, sin realizar estratificaciones. Esta decisión metodológica respondió al objetivo principal del estudio: identificar una asociación general entre las

temperaturas extremas y la mortalidad en este grupo etario. No obstante, se reconoce que esta aproximación limita la posibilidad de evaluar diferencias por sexo, distrito u otros subgrupos vulnerables. Asimismo, aunque se centró el análisis en adultos mayores, este grupo ha sido utilizado en numerosos estudios internacionales por su reconocida susceptibilidad al calor, lo que facilita comparaciones y contextualización de los resultados (89). De la misma manera, se considera que los datos pueden ser extrapolados a otros grupos vulnerables tales como personas con enfermedades crónicas, ya que tiene limitada tolerancia al calor y sus enfermedades se ven agravadas por las temperaturas extremas o infantes. Futuros estudios deberían incluir en sus objetivos un análisis estratificado por edad, sexo y distrito, incorporando una población más diversa. Esto permitiría evaluar con mayor precisión el impacto diferencial de las temperaturas extremas en distintos grupos y detectar desigualdades en la vulnerabilidad. Por ejemplo la bibliografía indica que las mujeres son más vulnerables a los días de calor extremo (90). Además, sería beneficioso analizar otras variables sanitarias relacionadas con el calor extremo, como ingresos hospitalarios, visitas a urgencias y otros resultados de morbilidad. Y revisar datos demográficos, como distrito, índice de vegetación y niveles de contaminación atmosférica. Variables que no fueron incluidas en este estudio pero que podrían llegar a tener mucha repercusión. Estos resultados podrían proporcionar una comprensión más completa del impacto del calor en la salud de Lima Metropolitana y acercarnos más a un sistema de alerta temprana basada en evidencia.

En tercer lugar, la falta de datos históricos por parte de SENAMHI. Debido a esto, sólo ha sido posible utilizar datos meteorológicos de una estación meteorológica

(Campo de Marte), ya que es la única que cuenta con datos prácticamente completos y con más de 10 años de antigüedad. A pesar de ello, se observó una falta de datos de humedad del 38.5%. Esta limitación de datos a solo una estación impide que los datos meteorológicos del estudio sean representativos para toda la ciudad, ya que los patrones de temperatura, humedad y velocidad del viento pueden variar en función de la ubicación dentro de la ciudad y la presencia de islas urbanas de calor (85). Esto puede dar lugar a datos inexactos que pueden afectar a la validez y fiabilidad del análisis estadístico, así como no representar la variabilidad espacial de la exposición al calor en los diferentes distritos de Lima Metropolitana. Adicionalmente, la falta de datos históricos de largo plazo impidió calcular los percentiles de temperatura utilizando series climáticas amplias, como las recomendadas por la literatura (por ejemplo, periodos entre 1985 y 2005) (9). Esto podría haber influido en la definición de los puntos de corte utilizados para identificar temperaturas extremas, posiblemente estableciendo umbrales más altos de lo que correspondería si se hubiera considerado una base climatológica más representativa del clima local a largo plazo. Esta situación puede llevar a una subestimación de los días considerados como “extremos”. Por lo tanto, es importante utilizar datos de múltiples estaciones meteorológicas o modelos espaciales y tener en cuenta la variabilidad espacial de los patrones meteorológicos a la hora de realizar estudios ecológicos sobre calor extremo.

En cuarto lugar, la falta de inclusión de variables potencialmente confusoras, como los niveles de contaminación atmosférica por compuestos como NO₂, Ozono, PM_{2.5} y PM₁₀. La falta de estas variables puede afectar la interpretación de los resultados, ya que la mortalidad observada durante los días de calor extremo podría no estar

exclusivamente asociada a la temperatura elevada, sino también a una exposición simultánea a altos niveles de contaminación (91). No considerar estas interacciones podría llevar a una sobreestimación del efecto atribuible al calor.

En general, aunque el estudio presenta limitaciones, desde la perspectiva de la salud pública aporta evidencia valiosa al demostrar que no es necesario experimentar veranos con temperaturas superiores a los 30 °C para observar un impacto en la mortalidad relacionada con el calor. En una ciudad como Lima Metropolitana, donde las temperaturas extremas no alcanzan valores muy altos, los efectos del calor sobre la salud pueden estar intensificados por factores urbanos como la escasa cobertura de áreas verdes, la mala calidad del aire, el acceso desigual a servicios básicos y las islas de calor urbano. Estas condiciones refuerzan la necesidad de abordar el problema del calor extremo con un enfoque multidisciplinario e intersectorial, articulando a los sectores de gestión del riesgo, salud, planificación urbana, ambiente, e incluso educación.

En este contexto, la identificación de umbrales adecuados para activar respuestas oportunas se vuelve fundamental. Si bien desde el punto de vista estadístico el modelo basado en el percentil 99 de temperatura extrema presentó el mejor ajuste (menor AIC), este umbral no representa necesariamente la opción más adecuada desde la perspectiva de salud pública para implementar sistemas de alerta temprana. Al tratarse de un valor extremo, su utilidad operativa es limitada, ya que solo captaría los eventos más severos, omitiendo días con temperaturas elevadas que, aunque menos extremas, también representan un riesgo para la salud. En ese sentido, el uso de umbrales más bajos, como el percentil 90, podría ser más útil para

generar alertas tempranas que activen intervenciones preventivas y protejan a la población.

No obstante, una alerta por sí sola no es suficiente. La ciudad debe comenzar a adaptarse estructuralmente al aumento de las temperaturas, y ello solo será posible si los gobiernos regionales y locales (municipios) reconocen que la adaptación urbana es una herramienta clave de salud pública.

Medidas como incrementar la cobertura de áreas verdes, habilitar espacios de refugio climático y fortalecer las redes de apoyo comunitario son fundamentales para reducir la exposición y proteger a las personas más vulnerables en Lima Metropolitana. Así como, tener un sistema de salud más preparado, con protocolos claramente definidos y personal capacitado, junto a campañas efectivas para tener una población informada sobre los riesgos del calor. La combinación de estas acciones no solo contribuye a mitigar los efectos inmediatos del calor, sino que también ayuda a reducir desigualdades en salud y a fortalecer la resiliencia urbana frente a este clima cambiante.

IX. CONCLUSIÓN

Este estudio proporciona información valiosa sobre la relación entre los días de calor extremo y la mortalidad no accidental de los adultos mayores de Lima Metropolitana entre los años 2005 a 2016, ya que demuestra que existe un aumento en el riesgo relativo de mortalidad cuando las temperaturas aumentan, independientemente de la definición de día de calor extremo utilizada.

Además, el estudio sugiere que existe un efecto retardado de la mortalidad por los días de calor extremo, que es particularmente evidente en los modelos que utilizan los percentiles 90 y 95. De los 18 modelos analizados, el modelo que mejor se ajustó a los datos fue el primer día de calor extremo del percentil 99, con un 48% de riesgo relativo de mortalidad.

Debido a la cantidad de datos faltantes solo se pudo hacer un subanálisis para explorar si la humedad influía en el modelo. Los resultados indicaron que es una posible variable modificadora de efecto.

A pesar de las limitaciones del estudio, los resultados destacan la importancia de aplicar intervenciones para reducir el impacto de los días de calor extremo en las poblaciones vulnerables. Es necesario seguir investigando para comprender mejor los mecanismos específicos por los que los días de calor extremo contribuyen a la mortalidad e identificar intervenciones eficaces para mitigar el impacto del calor extremo en las poblaciones vulnerables. En general, este estudio se suma a la creciente cantidad de estudios que sugieren que los días de calor extremo son un importante problema de salud pública y requieren la atención urgente de los responsables políticos y los profesionales de la salud pública.

X. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Perkins-Kirkpatrick SE, Gibson PB. Changes in regional heatwave characteristics as a function of increasing global temperature. *Sci Rep*. 2017 Sep 25;7(1):12256.
2. Campbell S, Remenyi TA, White CJ, Johnston FH. Heatwave and health impact research: A global review. *Health & Place*. 2018 Sep 1;53:210–8.
3. Mora C, Dousset B, Caldwell IR, Powell FE, Geronimo RC, Bielecki CR, et al. Global risk of deadly heat. *Nature Clim Change*. 2017 Jul;7(7):501–6.
4. Pörtner HO, Roberts DC, Adams H, Adler C, Aldunce P, Ali E et al. *Climate change 2022: impacts, adaptation and vulnerability*. Netherlands: IPCC, 2022. 3675 p. [Internet]. Available from: https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg2/downloads/report/IPCC_AR6_WGII_FullReport.pdf
5. Herrmann A, Sauerborn R. General Practitioners' Perceptions of Heat Health Impacts on the Elderly in the Face of Climate Change—A Qualitative Study in Baden-Württemberg, Germany. *Int J Environ Res Public Health*. 2018 May;15(5):843.
6. Dong J, Peng J, He X, Corcoran J, Qiu S, Wang X. Heatwave-induced human health risk assessment in megacities based on heat stress-social vulnerability-human exposure framework. *Landscape and Urban Planning*. 2020 Nov 1;203:103907.
7. Cheng J, Xu Z, Bambrick H, Su H, Tong S, Hu W. Heatwave and elderly mortality: An evaluation of death burden and health costs considering short-term mortality displacement. *Environ Int*. 2018 Jun;115:334–42.

8. Dong W, Zeng Q, Ma Y, Li G, Pan X. Impact of Heat Wave Definitions on the Added Effect of Heat Waves on Cardiovascular Mortality in Beijing, China. *Int J Environ Res Public Health*. 2016 Sep;13(9):933.
9. Romanello M, McGushin A, Napoli CD, Drummond P, Hughes N, Jamart L, et al. The 2021 report of the Lancet Countdown on health and climate change: code red for a healthy future. *The Lancet*. 2021 Oct 30;398(10311):1619–62.
10. Heaviside C, Vardoulakis S, Cai XM. Attribution of mortality to the urban heat island during heatwaves in the West Midlands, UK. *Environmental Health*. 2016 Mar 8;15(1):S27.
11. Hordijk M. A dream of green and water: community based formulation of a Local Agenda 21 in peri-urban Lima. *Environment and Urbanization*. 1999 Oct 1;11(2):11–30.
12. Silva J, Rojas J, Norabuena M, Molina C, Toro RA, Leiva-Guzmán MA. Particulate matter levels in a South American megacity: the metropolitan area of Lima-Callao, Peru. *Environ Monit Assess*. 2017 Nov 13;189(12):635.
13. Instituto Nacional de Estadística e Informática. Lima supera los 10 millones de habitantes al año [Internet]. [cited 2023 Aug 10]. Available from: <https://m.inei.gob.pe/prensa/noticias/lima-supera-los-10-millones-de-habitantes-al-ano-2022-13297/>
14. Instituto Nacional de Estadística e Informática. Instituto Nacional de Estadística e Informática: Situación de la Población Adulta Mayor (2019) [Internet]. [cited 2023 Aug 10]. Available from: <https://m.inei.gob.pe/biblioteca-virtual/boletines/ninez-y-adulto-mayor/1/#lista>
15. Sedapal. Producción y distribución de agua potable [Internet]. 2023 [cited

2023 Aug 10]. Available from: <https://www.gob.pe/12753-servicio-de-agua-potable-y-alcantarillado-de-lima-produccion-y-distribucion-de-agua-potable>

16. Instituto Nacional de Estadística e Informática, Dirección Nacional de Estadística e Informática Departamental. Conciendo Lima: Guia Estadística [Internet]. 2001. Available from: chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://www.inei.gob.pe/media/MenuRecursivo/publicaciones_digitales/Est/Lib0410/Libro.pdf

17. Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, Municipalidad de Lima, Instituto Metropolitano de Planificación. Plan de Desarrollo Metropolitano de Lima al 2040 [Internet]. 2022. Available from: <https://portal.imp.gob.pe/Recursos/PlanMet2040%20Actualizacion/Actualizacion2024/10.%20Documento%20actualizado%20del%20PLANMET%202040.pdf>

18. Tong S, Kan H. Heatwaves: what is in a definition? *Maturitas*. 2011 May;69(1):5–6.

19. Yang J, Yin P, Sun J, Wang B, Zhou M, Li M, et al. Heatwave and mortality in 31 major Chinese cities: Definition, vulnerability and implications. *Sci Total Environ*. 2019 Feb 1;649:695–702.

20. Zhang Y, Feng R, Wu R, Zhong P, Tan X, Wu K, et al. Global climate change: impact of heat waves under different definitions on daily mortality in Wuhan, China. *Global Health Research and Policy*. 2017 Apr 5;2(1):10.

21. SENAMHI. Aviso Meteorológico: Olas de calor en la costa. [:https://www.senamhi.gob.pe/?p=aviso-meteorologico-detalle&a=2004 & b=020 & c=022 & d=SENA](https://www.senamhi.gob.pe/?p=aviso-meteorologico-detalle&a=2004 & b=020 & c=022 & d=SENA).

22. Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú SENAMH. El

- fenómeno EL NIÑO en el Perú [Internet]. 2014. Available from: https://www.minam.gob.pe/wp-content/uploads/2014/07/Dossier-El-Niño-Final_web.pdf
23. Pal JS, Eltahir EAB. Future temperature in southwest Asia projected to exceed a threshold for human adaptability. *Nature Clim Change*. 2016 Feb;6(2):197–200.
24. Russo S, Sillmann J, Sterl A. Humid heat waves at different warming levels. *Sci Rep*. 2017 Aug 7;7(1):7477.
25. Urban Heat Island Effect - an overview | ScienceDirect Topics [Internet]. [cited 2023 Aug 10]. Available from: <https://www.sciencedirect.com/topics/engineering/urban-heat-island-effect>
26. Iungman T, Cirach M, Marando F, Pereira Barboza E, Khomenko S, Masselot P, et al. Cooling cities through urban green infrastructure: a health impact assessment of European cities. *Lancet*. 2023 Feb 18;401(10376):577–89.
27. Medina-Ramón M, Schwartz J. Temperature, temperature extremes, and mortality: a study of acclimatisation and effect modification in 50 US cities. *Occup Environ Med*. 2007 Dec;64(12):827–33.
28. Khomsi K, Chelhaoui Y, Alilou S, Soury R, Najmi H, Souhaili Z. Concurrent Heat Waves and Extreme Ozone (O₃) Episodes: Combined Atmospheric Patterns and Impact on Human Health. *Int J Environ Res Public Health*. 2022 Feb 27;19(5):2770.
29. Kim SY, Kim E, Kim WJ. Health Effects of Ozone on Respiratory Diseases. *Tuberc Respir Dis (Seoul)*. 2020 Dec;83(Supple 1):S6–11.
30. Areal AT, Zhao Q, Wigmann C, Schneider A, Schikowski T. The effect of

air pollution when modified by temperature on respiratory health outcomes: A systematic review and meta-analysis. *Science of The Total Environment*. 2022 Mar 10;811:152336.

31. Qiu H, Tan K, Long F, Wang L, Yu H, Deng R, et al. The Burden of COPD Morbidity Attributable to the Interaction between Ambient Air Pollution and Temperature in Chengdu, China. *International Journal of Environmental Research and Public Health*. 2018 Mar;15(3):492.

32. Varghese G, John G, Thomas K, Abraham O, Mathai D. Predictors of multi-organ dysfunction in heatstroke. *Emerg Med J*. 2005 Mar;22(3):185–7.

33. Kenny GP, Yardley J, Brown C, Sigal RJ, Jay O. Heat stress in older individuals and patients with common chronic diseases. *CMAJ*. 2010 Jul 13;182(10):1053–60.

34. Cui J, Sinoway LI. Cardiovascular responses to heat stress in chronic heart failure. *Curr Heart Fail Rep*. 2014 Jun;11(2):139–45.

35. Tian Z, Li S, Zhang J, Guo Y. The Characteristic of Heat Wave Effects on Coronary Heart Disease Mortality in Beijing, China: A Time Series Study. *PLOS ONE*. 2013 Sep 30;8(9):e77321.

36. Hansen AL, Bi P, Ryan P, Nitschke M, Pisaniello D, Tucker G. The effect of heat waves on hospital admissions for renal disease in a temperate city of Australia. *Int J Epidemiol*. 2008 Dec;37(6):1359–65.

37. Linares C, Martinez-Martin P, Rodríguez-Blázquez C, Forjaz MJ, Carmona R, Díaz J. Effect of heat waves on morbidity and mortality due to Parkinson's disease in Madrid: A time-series analysis. *Environ Int*. 2016;89–90:1–6.

38. Chacko G, Patel S, Galor A, Kumar N. Heat Exposure and Multiple

Sclerosis—A Regional and Temporal Analysis. *Int J Environ Res Public Health*. 2021 Jun 2;18(11):5962.

39. Zhang A, Hu W, Li J, Wei R, Lin J, Ma W. Impact of heatwaves on daily outpatient visits of respiratory disease: A time-stratified case-crossover study. *Environ Res*. 2019 Feb;169:196–205.

40. Son JY, Bell ML, Lee JT. The impact of heat, cold, and heat waves on hospital admissions in eight cities in Korea. *Int J Biometeorol*. 2014 Nov;58(9):1893–903.

41. Wang YC, Lin YK. Temperature effects on outpatient visits of respiratory diseases, asthma, and chronic airway obstruction in Taiwan. *Int J Biometeorol*. 2015 Jul;59(7):815–25.

42. Miyamura K, Nawa N, Nishimura H, Fushimi K, Fujiwara T. Association between heat exposure and hospitalization for diabetic ketoacidosis, hyperosmolar hyperglycemic state, and hypoglycemia in Japan. *Environ Int*. 2022 Sep;167:107410.

43. Thompson R, Hornigold R, Page L, Waite T. Associations between high ambient temperatures and heat waves with mental health outcomes: a systematic review. *Public Health*. 2018 Aug;161:171–91.

44. Layton JB, Li W, Yuan J, Gilman JP, Horton DB, Setoguchi S. Heatwaves, medications, and heat-related hospitalization in older Medicare beneficiaries with chronic conditions. *PLOS ONE*. 2020 Dec 10;15(12):e0243665.

45. Cui J, Arbab-Zadeh A, Prasad A, Durand S, Levine BD, Crandall CG. Effects of heat stress on thermoregulatory responses in congestive heart failure patients. *Circulation*. 2005 Oct 11;112(15):2286–92.

46. Increased risk of hospital admission for dehydration or heat-related illness after initiation of medicines: a sequence symmetry analysis - Kalisch Ellett - 2016 - Journal of Clinical Pharmacy and Therapeutics - Wiley Online Library [Internet]. [cited 2023 Aug 10]. Available from: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/jcpt.12418>
47. PAHO. Envejecimiento saludable - OPS/OMS | Organización Panamericana de la Salud [Internet]. [cited 2023 Aug 10]. Available from: <https://www.paho.org/es/envejecimiento-saludable>
48. Instituto Nacional de Estadística e Informática (INEI). Perú: Estimaciones y Proyecciones de Población Total, por Años Calendario y Edades Simples, 1950-2050. 2001. Report No.: Boletín de Análisis Demográfico No 35. [Internet]. [cited 2021 Oct 6]. Available from: https://www.inei.gob.pe/media/principales_indicadores/libro_1.pdf
49. World Health Organization. World report on ageing and health [Internet]. World Health Organization; 2015 [cited 2023 Aug 10]. 246 p. Available from: <https://apps.who.int/iris/handle/10665/186463>
50. Institute for Health Metrics and Evaluation [Internet]. [cited 2023 Aug 10]. GBD Compare. Available from: <http://vizhub.healthdata.org/gbd-compare>
51. Encuesta Nacional de Hogares - ENAHO 2025 [Internet]. 2025 [cited 2025 Apr 29]. Available from: <https://www.gob.pe/institucion/inei/campa%C3%B1as/8600-encuesta-nacional-de-hogares-enaho-2025>
52. Grupo Funcional de Elaboracion de Carpetas Tematicas. Nota de Información Referencial N 008-2015/2016: Distritos de Lima Metropolitana

[Internet]. Congreso de la República del Perú; 2015. Available from: [https://www2.congreso.gob.pe/sicr/cendocbib/con4_uibd.nsf/F0207BA1CE49732805257EBB005687DF/\\$FILE/NIR_N°_008-15_16_Lima_Metropolitana.pdf](https://www2.congreso.gob.pe/sicr/cendocbib/con4_uibd.nsf/F0207BA1CE49732805257EBB005687DF/$FILE/NIR_N°_008-15_16_Lima_Metropolitana.pdf)

53. Ciudades Globales Amigables con los Mayores: Una Guía - OPS/OMS | Organización Panamericana de la Salud [Internet]. [cited 2023 Aug 10]. Available from: <https://www.paho.org/es/documentos/ciudades-globales-amigables-con-mayores-guia>

54. Centro Integral de Atención al Adulto Mayor (CIAM) [Internet]. 2025 [cited 2025 Apr 29]. Available from: <https://www.gob.pe/21665-centro-integral-de-atencion-al-adulto-mayor-ciam>

55. Plan Nacional de Adaptación al Cambio Climático del Perú: un insumo para la actualización de la Estrategia Nacional ante el Cambio Climático | PreventionWeb [Internet]. 2021 [cited 2023 Aug 10]. Available from: <https://www.preventionweb.net/es/publication/plan-nacional-de-adaptacion-al-cambio-climatico-del-peru-un-insumo-para-la>

56. Decreto Supremo que aprueba el Reglamento de la Ley N° 30490, Ley de la Persona Adulta Mayor-DECRETO SUPREMO-N° 007-2018-MIMP [Internet]. [cited 2023 Aug 10]. Available from: <http://busquedas.elperuano.pe/normaslegales/decreto-supremo-que-aprueba-el-reglamento-de-la-ley-n-30490-decreto-supremo-n-007-2018-mimp-1685050-4/>

57. Herrera N, Chesini F, Saucedo MA, Menalled ME, Fernández C, Chasco J, et al. Sistema de Alerta Temprana por Temperaturas Extremas Calor (SAT-TE Calor): la evolución del SAT-OCS.

58. Yglesias-González M, Díaz A, Dunbar W. Turning up the heat on public

health: Adapting to extreme temperatures in Latin America and the Caribbean. *PLOS Climate*. 2024 Jul 11;3(7):e0000446.

59. Sustainable Transitions of Urban Projects towards Mitigation and Adaptation Projects for Climate Change: The case of Me... [Internet]. [cited 2025 Apr 28]. Available from: <http://ouci.dntb.gov.ua/en/works/9ZjxLNa9/>

60. Ettinger AK, Bratman GN, Carey M, Hebert R, Hill O, Kett H, et al. Street trees provide an opportunity to mitigate urban heat and reduce risk of high heat exposure. *Sci Rep*. 2024 Feb 13;14(1):3266.

61. Hartinger SM, Palmeiro-Silva YK, Llerena-Cayo C, Blanco-Villafuerte L, Escobar LE, Diaz A, et al. The 2023 Latin America report of the Lancet Countdown on health and climate change: the imperative for health-centred climate-resilient development. *The Lancet Regional Health – Americas* [Internet]. 2024 May 1 [cited 2024 Jun 9];33. Available from: [https://www.thelancet.com/journals/lanam/article/PIIS2667-193X\(24\)00073-5/fulltext](https://www.thelancet.com/journals/lanam/article/PIIS2667-193X(24)00073-5/fulltext)

62. Bedi NS, Adams QH, Hess JJ, Wellenius GA. The Role of Cooling Centers in Protecting Vulnerable Individuals from Extreme Heat. *Epidemiology*. 2022 Sep 1;33(5):611–5.

63. Heatwaves: A Guide for Health-based Actions [Internet]. Pan American Health Organization; 2021 [cited 2025 Apr 28]. Available from: <https://iris.paho.org/handle/10665.2/54979>

64. Campbell S, Remenyi TA, White CJ, Johnston FH. Heatwave and health impact research: A global review. *Health & Place*. 2018 Sep 1;53:210–8.

65. Wei Lin, Chunzai Wang. Longer summers in the Northern Hemisphere

- under global warming. *Climate dynamics*. 2022;58(9–10):2293–307.
66. Arbuthnott KG, Hajat S. The health effects of hotter summers and heat waves in the population of the United Kingdom: a review of the evidence. *Environmental Health*. 2017 Dec 5;16(1):119.
67. Servicio Meteorológico Nacional Argentina. Sistema de alerta temprana - Temperaturas extremas [Internet]. 2020 [cited 2022 Jun 13]. Available from: https://www.smn.gob.ar/sistema_temp_extremas_calor.
68. Chesini F, Abrutzky R, Titto E de. Mortalidad por olas de calor en la ciudad de Buenos Aires, Argentina (2005-2015). *Cad Saúde Pública*. 2019 Sep 9;35:e00165218.
69. Mora C, Dousset B, Caldwell IR, Powell FE, Geronimo RC, Bielecki CR, Counsell CW, Dietrich BS, Johnston ET, Louis LV, Lucas MP, McKenzie MM, Shea AG, Tseng H, Giambelluca T, Leon LR, Hawkins E, Trauernicht C. Global risk of deadly heat - Climate Change and Human Health Literature Portal [Internet]. 2017 [cited 2023 Aug 10]. Available from: https://tools.niehs.nih.gov/cchhl/index.cfm/main/detail?reference_id=15041
70. Chen K, Bi J, Chen J, Chen X, Huang L, Zhou L. Influence of heat wave definitions to the added effect of heat waves on daily mortality in Nanjing, China. *Sci Total Environ*. 2015 Feb 15;506–507:18–25.
71. Dong W, Zeng Q, Ma Y, Li G, Pan X. Impact of Heat Wave Definitions on the Added Effect of Heat Waves on Cardiovascular Mortality in Beijing, China. *Int J Environ Res Public Health*. 2016 Sep;13(9):933.
72. Wu J, Zhou Y, Gao Y, Fu JS, Johnson BA, Huang C, et al. Estimation and Uncertainty Analysis of Impacts of Future Heat Waves on Mortality in the Eastern

United States. *Environ Health Perspect*. 2014 Jan 1;122(1):10–6.

73. Guo Y, Gasparrini A, Armstrong BG, Tawatsupa B, Tobias A, Lavigne E, et al. Heat Wave and Mortality: A Multicountry, Multicommunity Study. *Environ Health Perspect*. 2017 Aug 10;125(8):087006.

74. SUTRON - Environmental & Hydrological Monitoring Solutions | OTT HydroMet [Internet]. [cited 2023 Aug 10]. Available from: <https://www.otthydromet.com/en/about/our-brands/sutron>

75. Gasparrini A, Armstrong B. The impact of heat waves on mortality. *Epidemiology*. 2011 Jan;22(1):68–73.

76. Yin P, Chen R, Wang L, Liu C, Niu Y, Wang W, et al. The added effects of heatwaves on cause-specific mortality: A nationwide analysis in 272 Chinese cities. *Environment International*. 2018 Dec 1;121:898–905.

77. Green H, Bailey J, Schwarz L, Vanos J, Ebi K, Benmarhnia T. Impact of heat on mortality and morbidity in low and middle income countries: A review of the epidemiological evidence and considerations for future research. *Environ Res*. 2019 Apr;171:80–91.

78. Meade RD, Akerman AP, Notley SR, McGinn R, Poirier P, Gosselin P, et al. Physiological factors characterizing heat-vulnerable older adults: A narrative review. *Environment International*. 2020 Nov 1;144:105909.

79. Ndlovu N, Chungag BN. Impact of heat stress on cardiovascular health outcomes of older adults: A mini review. *Aging and Health Research*. 2024 Jun 1;4(2):100189.

80. Qiao Z, Guo Y, Yu W, Tong S. Assessment of Short- and Long-Term Mortality Displacement in Heat-Related Deaths in Brisbane, Australia, 1996-2004.

Environ Health Perspect. 2015 Aug;123(8):766–72.

81. Gasparri A, Guo Y, Hashizume M, Lavigne E, Zanobetti A, Schwartz J, et al. Mortality risk attributable to high and low ambient temperature: a multicountry observational study. *Lancet*. 2015 Jul 25;386(9991):369–75.

82. Kephart JL, Sánchez BN, Moore J, Schinasi LH, Bakhtsiyarava M, Ju Y, et al. City-level impact of extreme temperatures and mortality in Latin America. *Nat Med*. 2022 Aug;28(8):1700–5.

83. Barnett AG, Tong S, Clements ACA. What measure of temperature is the best predictor of mortality? *Environ Res*. 2010 Aug;110(6):604–11.

84. Conociendo el Fenómeno El Niño 2015 y 2016 y El Niño Costero 2017 [Internet]. [cited 2023 Mar 9]. Available from: <https://www.gob.pe/institucion/cenepred/informes-publicaciones/1867057-conociendo-el-fenomeno-el-nino-2015-y-2016-y-el-nino-costero-2017>

85. Identificación de islas de calor en la ciudad de Lima Metropolitana utilizando imágenes del Satélite Landsat 5TM | Anales científicos [Internet]. [cited 2023 Mar 9]. Available from: <https://revistas.lamolina.edu.pe/index.php/acu/article/view/475>

86. Hondula DM, Davis RE, Georgescu M. Clarifying the Connections Between Green Space, Urban Climate, and Heat-Related Mortality. *Am J Public Health*. 2018 Apr;108(Suppl 2):S62–3.

87. Zhang J, Chen Q, Wang Q, Ding Z, Sun H, Xu Y. The acute health effects of ozone and PM_{2.5} on daily cardiovascular disease mortality: A multi-center time series study in China. *Ecotoxicol Environ Saf*. 2019 Jun 15;174:218–23.

88. Han L, Sun Z, He J, Zhang B, Lv M, Zhang X, et al. Estimating the mortality

burden attributable to temperature and PM2.5 from the perspective of atmospheric flow. *Environ Res Lett.* 2020 Dec;15(12):124059.

89. Cheng J, Xu Z, Bambrick H, Su H, Tong S, Hu W. Heatwave and elderly mortality: An evaluation of death burden and health costs considering short-term mortality displacement. *Environ Int.* 2018 Jun;115:334–42.

90. van Steen Y, Ntarladima AM, Grobbee R, Karssenber D, Vaartjes I. Sex differences in mortality after heat waves: are elderly women at higher risk? *Int Arch Occup Environ Health.* 2019 Jan;92(1):37–48.

91. Kalisa E, Fadlallah S, Amani M, Nahayo L, Habiyaremye G. Temperature and air pollution relationship during heatwaves in Birmingham, UK. *Sustainable Cities and Society.* 2018 Nov 1;43:111–20.

92. Habeeb D, Vargo J, Stone B. Rising heat wave trends in large US cities. *Nat Hazards.* 2015 Apr 1;76(3):1651–65.

93. Instituto Nacional de Estadística e Informática (INEI). Situación de la Población Adulta Mayor. 2018. Report No.: 2.

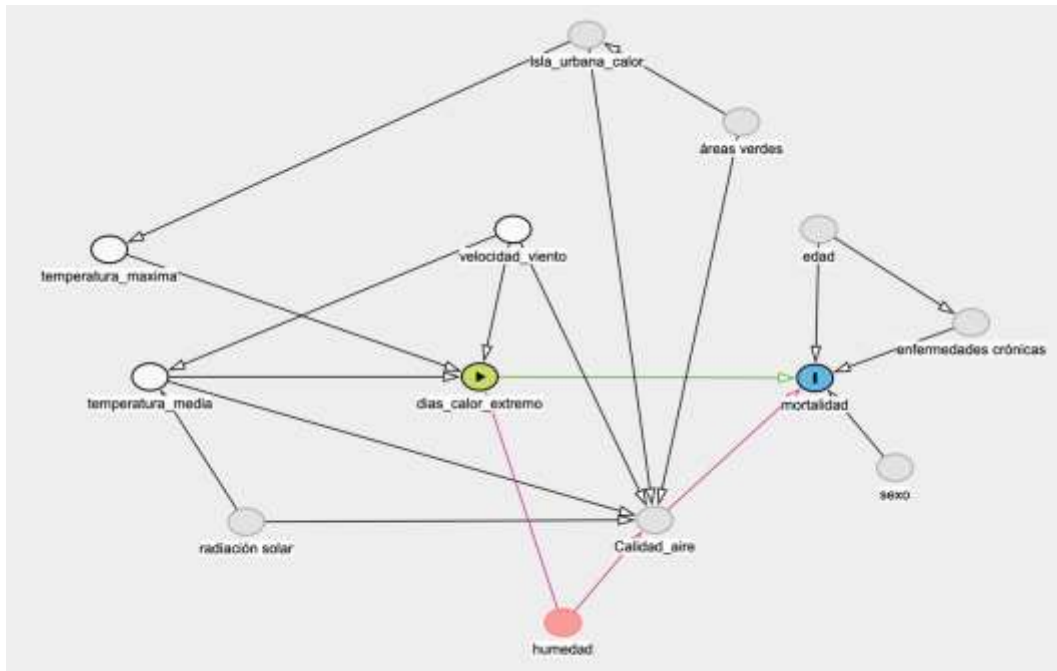
94. Dimitrova A, Ingole V, Basagaña X, Ranzani O, Milà C, Ballester J, et al. Association between ambient temperature and heat waves with mortality in South Asia: Systematic review and *meta-analysis*. *Environment International.* 2021 Jan 1;146:106170.

XI. ANEXOS

Anexo 1. Diferentes definiciones de Olas de calor.

Ola de calor	Definición	Referencia
OC01	Temperatura media diaria > 90th percentil por ≥ 2 días consecutivos	Anderson and Bell (2011)
OC02	Temperatura media diaria > 92.5th percentil por ≥ 2 días consecutivos	Yang et al. (2018)
OC03	Temperatura media diaria > 95th percentil por ≥ 2 días consecutivos	Anderson and Bell (2011)
OC04	Temperatura media diaria > 97.5th percentil por ≥ 2 días consecutivos	Anderson and Bell (2011)
OC05	Temperatura media diaria > 99th percentil por ≥ 2 días consecutivos	Anderson and Bell (2011)
OC06	Temperatura media diaria > 90th percentil por ≥ 3 días consecutivos	Son et al. (2012)
OC07	Temperatura media diaria > 92.5th percentil por ≥ 3 días consecutivos	Yang et al. (2018)
OC08	Temperatura media diaria > 95th percentil por ≥ 3 días consecutivos	Son et al. (2012)
OC09	Temperatura media diaria > 98th percentil por ≥ 3 días consecutivos	Son et al. (2012)
OC010	Temperatura media diaria > 99th percentil por ≥ 3 días consecutivos	Son et al. (2012)
OC011	Temperatura media diaria > 90th percentil por ≥ 4 días consecutivos	Tian et al. (2013)
OC012	Temperatura media diaria > 92.5th percentil por ≥ 4 días consecutivos	Yang et al. (2018)
OC13	Temperatura media diaria > 95th percentil por ≥ 4 días consecutivos	Tian et al. (2013)
OC14	Temperatura media diaria > 98th percentil por ≥ 4 días consecutivos	Tian et al. (2013)
OC15	Temperatura media diaria > 99th percentil por ≥ 4 días consecutivos	Tian et al. (2013)
OC16	Índice de calor máximo diario utilizando la temperatura y humedad	NOAA
OC17	Días consecutivos con temperaturas por encima de los 30 °C	Senamhi (2017)

Anexo 2. Gráfico acíclico dirigido (DAG)



Anexo 3. Cálculo de la potencia estadística

Al ser un estudio con datos secundarios, se consideró importante hacer el cálculo de la potencia estadística por medio de una prueba para determinar el poder. Debido que el estudio compara mortalidad en días de calor extremo y días sin temperaturas extremas se decidió hacer una prueba de diferencia entre dos tasas de poisson con el programa estadístico PASS 2019. Para hacer este análisis se utilizó un tamaño de muestra de 1424 días provenientes a los meses de diciembre, enero, febrero y marzo de los 12 años de estudio. Según estudios hechos en Estados Unidos (92), se espera que anualmente hayan 47 días de calor extremo, eso es equivalente a 39% de los días de verano. Ese valor es bastante alto para una zona donde no existen temperaturas extremas, en el caso de Lima metropolitana solo se tuvieron 10% de días con calor extremo. Del total de días, 135 días tenían temperaturas extremas (N2) y 1 1289 días que no tenían temperaturas extremas

(N1). Asimismo, se estimó una tasa de mortalidad general de Lima para el N1 (días sin calor extremo) con un valor de 1.7. Este valor fue obtenido a partir del número total de muertes en días sin calor extremo sobre el número total de adultos mayores en Lima Metropolitana de este mismo año (93). También se estimó la tasa de mortalidad en los días con calor extremo con un valor de 2.1, siendo el valor de la tasa de mortalidad en momentos de calor extremo.

Los resultados indican que, con un tamaño de muestra total de 1443 días se alcanzó a tener el 86% de potencia estadística, esta prueba tiene un nivel de significancia de 0.05.

Tests for the Difference Between Two Poisson Rates

Numeric Results for Testing the Difference Between Two Poisson Rates

Alternative Hypothesis:		Two-Sided		Group 1: Control		Group 2: Treatment	
Test Statistic:		Large-Sample		Grp 1	Grp 2		
				Event	Event		
				Rate	Rate		
Diff	Ratio	N2	N	λ_1	λ_2	λ_2-	
Power	N1	Alpha					
λ_1	λ_2/λ_1						
0.86	1289	135	1424	1.7	2.1	0.4	1.

Anexo 4. Modelos de series de tiempo según definición de Días con temperatura extrema de calor

Tabla 4. Modelos de regresión Poisson según asociación de Días de calor extremo (Percentil 90), características climáticas con la tasa de mortalidad del adulto mayor. Análisis de regresión bivariada y regresión múltiple, incluyendo 5 lags.

	Modelo bivariado			Modelo regresión múltiple			Modelo Lag 1			Modelo Lag 2			Modelo Lag 3			Modelo Lag 4			Modelo Lag 5		
	RR	95% CI	p	RR	95% CI	p	RR	95% CI	p	RR	95% CI	p	RR	95% CI	p	RR	95% CI	p	RR	95% CI	p
Temperatura máxima (°C)	Ref.			Ref.			Ref.			Ref.			Ref.			Ref.			Ref.		
19.4 - 24.8	Ref.			Ref.			Ref.			Ref.			Ref.			Ref.			Ref.		
24.9 - 26.6	1.04	1.01 - 1.08	0.02	1.11	1.05 - 1.17	0.001	1.10	1.05 - 1.16	0.001	1.11	1.05 - 1.16	0.001	1.10	1.05 - 1.16	0.001	1.10	1.04 - 1.16	0.001	1.10	1.05 - 1.16	0.001
26.7 - 31.2	1.24	1.20 - 1.29	0.001	1.32	1.24 - 1.41	0.001	1.32	1.24 - 1.41	0.001	1.32	1.25 - 1.41	0.001	1.32	1.25 - 1.41	0.001	1.33	1.25 - 1.41	0.001	1.33	1.25 - 1.41	0.001
Temperatura media (°C)	Ref.			Ref.			Ref.			Ref.			Ref.			Ref.			Ref.		
17.5 - 21.8	Ref.			Ref.			Ref.			Ref.			Ref.			Ref.			Ref.		
21.9 - 23.2	1.04	1.01 - 1.08	0.03	0.94	0.89 - 0.99	0.013	0.93	0.89 - 0.98	0.009	0.94	0.89 - 0.98	0.01	0.93	0.88 - 0.98	0.006	0.93	0.89 - 0.98	0.009	0.93	0.88 - 0.98	0.006
23.3 - 26.8	1.17	1.13 - 1.21	0.001	0.89	0.84 - 0.95	0.001	0.88	0.83 - 0.94	0.001	0.89	0.84 - 0.95	0.001	0.89	0.84 - 0.95	0.001	0.90	0.85 - 0.96	0.001	0.90	0.84 - 0.95	0.001
Velocidad del viento (m/s)	Ref.			Ref.			Ref.			Ref.			Ref.			Ref.			Ref.		
18.3 - 23.2	Ref.			Ref.			Ref.			Ref.			Ref.			Ref.			Ref.		
23.3 - 24.2	1.13	1.09 - 1.16	0.001	1.13	1.01 - 1.17	0.001	1.13	1.09 - 1.17	0.001	1.05	1.09 - 1.16	0.001	1.13	1.09 - 1.16	0.001	1.13	1.09 - 1.16	0.001	1.13	1.10 - 1.17	0.001
24.3 - 27.9	1.21	1.16 - 1.25	0.001	1.21	1.17 - 1.26	0.001	1.20	1.03 - 1.17	0.001	1.08	1.16 - 1.25	0.001	1.21	1.16 - 1.25	0.001	1.21	1.16 - 1.26	0.001	1.21	1.16 - 1.25	0.001
Días de calor extremo (Percentil 90)	Ref.			Ref.			Ref.			Ref.			Ref.			Ref.			Ref.		
Días de calor extremo	Ref.			Ref.			Ref.			Ref.			Ref.			Ref.			Ref.		
Días sin calor extremo	1.27	1.22 - 1.33	0.001	1.13	1.07 - 1.19	0.001	1.17	1.12 - 1.23	0.001	1.13	1.09 - 1.20	0.001	1.16	1.11 - 1.22	0.001	1.13	1.08 - 1.18	0.001	1.15	1.10 - 1.20	0.001

Nota: Los valores AIC de los modelos son:

AIC= 6.263486

AIC= 6.249326

AIC= 6.257098

AIC= 6.25369

AIC= 6.263876

AIC= 6.259274

Tabla 5. Modelos de regresión Poisson según asociación de Días de calor extremo (Percentil 95), características climáticas con la tasa de mortalidad del adulto mayor. Análisis de regresión bivariada y regresión múltiple, incluyendo 5 lags.

	Modelo bivariado			Modelo regresión múltiple			Modelo Lag 1			Modelo Lag 2			Modelo Lag 3			Modelo Lag 4			Modelo Lag 5		
	RR	95% CI	p	RR	95% CI	p	RR	95% CI	p	RR	95% CI	p	RR	95% CI	p	RR	95% CI	p	RR	95% CI	p
Temperatura máxima (°C)	Ref.			Ref.			Ref.			Ref.			Ref.			Ref.			Ref.		
19.4 - 24.8	Ref.			Ref.			Ref.			Ref.			Ref.			Ref.			Ref.		
24.9 - 26.6	1.11	1.05 - 1.16	0.001	1.11	1.05 - 1.16	0.001	1.10	1.05 - 1.16	0.001	1.10	1.05 - 1.16	0.001	1.10	1.05 - 1.16	0.001	1.10	1.04 - 1.16	0.001	1.10	1.05 - 1.16	0.001
26.7 - 31.2	1.33	1.25 - 1.41	0.001	1.33	1.25 - 1.41	0.001	1.33	1.25 - 1.42	0.001	1.33	1.25 - 1.42	0.001	1.33	1.25 - 1.42	0.001	1.33	1.25 - 1.41	0.001	1.34	1.26 - 1.43	0.001
Temperatura media (°C)	Ref.			Ref.			Ref.			Ref.			Ref.			Ref.			Ref.		
17.5 - 21.8	Ref.			Ref.			Ref.			Ref.			Ref.			Ref.			Ref.		
21.9 - 23.2	0.94	0.89 - 0.99	0.012	0.94	0.89 - 0.99	0.012	0.94	0.89 - 0.98	0.011	0.93	0.89 - 0.98	0.009	0.93	0.89 - 0.98	0.009	0.93	0.89 - 0.98	0.009	0.93	0.89 - 0.98	0.009
23.3 - 26.8	0.90	0.84 - 0.96	0.001	0.90	0.84 - 0.96	0.001	0.90	0.85 - 0.96	0.001	0.90	0.84 - 0.95	0.001	0.90	0.85 - 0.96	0.001	0.90	0.85 - 0.96	0.001	0.91	0.85 - 0.96	0.002
Velocidad del viento (m/s)	Ref.			Ref.			Ref.			Ref.			Ref.			Ref.			Ref.		
18.3 - 23.2	Ref.			Ref.			Ref.			Ref.			Ref.			Ref.			Ref.		
23.3 - 24.2	1.13	1.09 - 1.16	0.001	1.13	1.09 - 1.16	0.001	1.13	1.09 - 1.17	0.001	1.13	1.09 - 1.16	0.001	1.13	1.09 - 1.17	0.001	1.13	1.09 - 1.16	0.001	1.13	1.10 - 1.17	0.001
24.3 - 27.9	1.21	1.17 - 1.26	0.001	1.21	1.17 - 1.26	0.001	1.20	1.16 - 1.25	0.001	1.20	1.16 - 1.25	0.001	1.21	1.16 - 1.26	0.001	1.21	1.16 - 1.26	0.001	1.22	1.17 - 1.26	0.001
Días de calor extremo (Percentil 95)	Ref.			Ref.			Ref.			Ref.			Ref.			Ref.			Ref.		
Días de calor extremo	Ref.			Ref.			Ref.			Ref.			Ref.			Ref.			Ref.		
Días sin calor extremo	1.33	1.11 - 1.25	0.001	1.17	1.11 - 1.25	0.001	1.17	1.10 - 1.24	0.001	1.24	1.17 - 1.31	0.001	1.16	1.10 - 1.23	0.001	1.16	1.09 - 1.22	0.001	1.10	1.04 - 1.16	0.001

Nota: Los valores AIC de los modelos son:

AIC = 6.259718

AIC = 6.260828

AIC= 6.245227

AIC= 6.264171

AIC= 6.266272

AIC= 6.275905

Tabla 6. Modelos de regresión Poisson según asociación de Días de calor extremo (Percentil 99), características climáticas con la tasa de mortalidad del adulto mayor. Análisis de regresión bivariada y regresión múltiple, incluyendo 5 lags.

Modelo bivariado	Modelo regresión múltiple	Modelo Lag 1	Modelo Lag 2	Modelo Lag 3	Modelo Lag 4	Modelo Lag 5
------------------	---------------------------	--------------	--------------	--------------	--------------	--------------

	RR	95% CI	p	RR	95% CI	p	RR	95% CI	p	RR	95% CI	p	RR	95% CI	p	RR	95% CI	p			
Temperatura máxima (°C)																					
19.4 - 24.8	Ref.			Ref.			Ref.			Ref.			Ref.			Ref.					
24.9 - 26.6	1.11	1.05 - 1.16	0.001	1.10	1.05 - 1.16	0.001	1.10	1.05 - 1.16	0.001	1.10	1.05 - 1.16	0.001	1.10	1.05 - 1.16	0.001	1.10	1.05 - 1.16	0.001			
26.7 - 31.2	1.33	1.25 - 1.41	0.001	1.34	1.26 - 1.42	0.001	1.33	1.26 - 1.42	0.001	1.34	1.25 - 1.42	0.001	1.33	1.26 - 1.42	0.001	1.34	1.26 - 1.42	0.001			
Temperatura media (°C)																					
17.5 - 21.8	Ref.			Ref.			Ref.			Ref.			Ref.			Ref.					
21.9 - 23.2	0.94	0.89 - 0.99	0.012	0.94	0.89 - 0.98	0.011	0.94	0.89 - 0.98	0.011	0.94	0.89 - 0.98	0.01	0.93	0.89 - 0.98	0.009	0.94	0.89 - 0.99	0.011	0.93	0.89 - 0.98	0.009
23.3 - 26.8	0.90	0.84 - 0.96	0.001	0.90	0.85 - 0.96	0.001	0.90	0.85 - 0.96	0.002	0.91	0.84 - 0.95	0.001	0.90	0.85 - 0.96	0.001	0.91	0.85 - 0.96	0.002	0.91	0.85 - 0.96	0.002
Velocidad del viento (m/s)																					
18.3 - 23.2	Ref.			Ref.			Ref.			Ref.			Ref.			Ref.					
23.3 - 24.2	1.13	1.09 - 1.16	0.001	1.13	1.09 - 1.17	0.001	1.13	1.10 - 1.17	0.001	1.13	1.09 - 1.16	0.001	1.13	1.09 - 1.16	0.001	1.13	1.09 - 1.16	0.001	1.13	1.10 - 1.17	0.001
24.3 - 27.9	1.21	1.17 - 1.26	0.001	1.21	1.17 - 1.26	0.001	1.20	1.15 - 1.25	0.001	1.21	1.16 - 1.25	0.001	1.21	1.16 - 1.26	0.001	1.21	1.17 - 1.26	0.001	1.21	1.16 - 1.26	0.001
Días de calor extremo (Percentil 99)																					
Días de calor extremo	Ref.			Ref.			Ref.			Ref.			Ref.			Ref.					
Días sin calor extremo	1.70	1.53 - 1.88	0.001	1.48	1.33 - 1.64	0.001	1.43	1.29 - 1.59	0.001	1.41	1.27 - 1.57	0.001	1.41	1.27 - 1.57	0.001	1.40	1.26 - 1.55	0.001	1.33	1.19 - 1.48	0.001

Nota: Los valores AIC de los modelos son:

AIC = 6.243938

AIC= 6.250255

AIC= 6.253126

AIC= 6.255077

AIC= 6.257437

AIC= 6.265562

Anexo 5. Cálculo de muertes atribuibles

- Se tiene 151 muertes totales ocurridas en los primeros días de los eventos de Días de calor extremo de percentil 99.
- El riesgo relativo es de 1.48 en el primer día de estos eventos.

$$FA = \frac{1.48 - 1}{1.48} = 0.324$$

$$MA = 151 \times 0.324 = 48.924 \approx 49$$

Se estima que aproximadamente 49 muertes fueron atribuibles al primer día de exposición a calor extremo de percentil 99 en los años 2015 y 2016.

Anexo 6. Modelo adicional con variable humedad

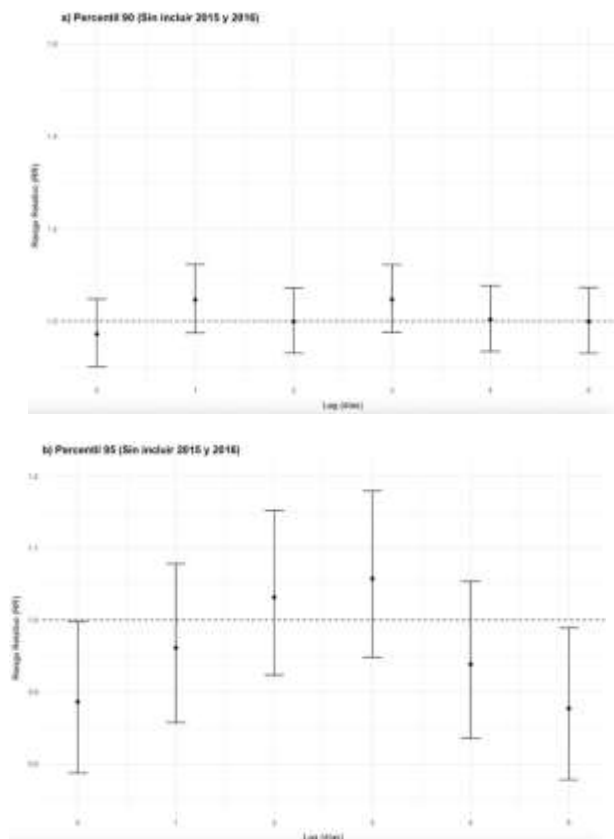
Tabla 7. Modelos de regresión Poisson según asociación de Días de calor extremo (Percentil 99), agregando la variable humedad

	Modelo bivariado			Modelo regresión múltiple		
	RR	95% CI	p	RR	95% CI	p
Temperatura máxima (°C)						
19.4 - 24.8	Ref.			Ref.		
24.9 - 26.6	1.11	1.05 - 1.16	0.001	1.10	1.05 - 1.16	0.001
26.7 - 31.2	1.33	1.25 - 1.41	0.001	1.34	1.26 - 1.42	0.001
Temperatura media (°C)						
17.5 - 21.8	Ref.			Ref.		
21.9 - 23.2	0.94	0.89 - 0.99	0.012	0.94	0.89 - 0.98	0.011
23.3 - 26.8	0.90	0.84 - 0.96	0.001	0.90	0.85 - 0.96	0.001
Velocidad del viento (m/s)						
18.3 - 23.2	Ref.			Ref.		
23.3 - 24.2	1.13	1.09 - 1.16	0.001	1.13	1.09 - 1.17	0.001
24.3 - 27.9	1.21	1.17 - 1.26	0.001	1.21	1.17 - 1.26	0.001
Humedad (%)						
69.5 - 79	Ref.			Ref.		
79.5 - 82	1.02	0.96 - 1.07	0.38	1.10	1.05 - 1.15	0.001
82.5 - 91.5	1.04	0.99 - 1.09	0.06	1.20	1.15 - 1.28	0.001
Días de calor extremo (Percentil 99)						
Días de calor extremo	Ref.			Ref.		
Días sin calor extremo	1.70	1.53 - 1.88	0.001	1.79	1.33 - 1.64	0.001

Nota: Valor AIC= 6.35931.

Anexo 7. Efectos retardados de los días de calor extremo en la mortalidad de adultos mayores a lo largo del intervalo 0-5 días para los años sin Fenómeno del Niño.

Al excluir los años en los que se presentó el Fenómeno del Niño (2015–2016) (ver Anexo 6), los días clasificados como de calor extremo no mostraron asociaciones estadísticamente significativas con el riesgo relativo de mortalidad para los percentiles 90 y 95. Asimismo, no se identificaron eventos de calor extremo según el percentil 99. Estos resultados sugieren que la ocurrencia de días de calor extremo significativos en Lima Metropolitana está fuertemente vinculada a condiciones climáticas excepcionales, como las inducidas por El Niño, más que a la variabilidad térmica propia de los patrones climáticos habituales de la ciudad.



Anexo 8. Efectos retardados de los días de calor extremo en la mortalidad de adultos mayores a lo largo del intervalo 0-5 días por sexo.

Se observó un RR más elevado en mujeres (RR = 1.44) en comparación con hombres (RR = 1.25) en el primer día de exposición a temperaturas extremas de percentil 99. Esta diferencia es similar a lo reportado en la literatura (94), que señala que el riesgo de mortalidad asociado al calor puede variar según el sexo, siendo generalmente mayor en mujeres adultas mayores en entornos urbanos.

