

# INTERVENCIONES ECOLÓGICAS PARA MEJORAR EL CONFORT TÉRMICO EN UN PATIO ESCOLAR EN AREQUIPA, PERÚ

## ECOLOGICAL INTERVENTIONS TO IMPROVE THERMAL COMFORT IN A SCHOOLYARD IN AREQUIPA, PERÚ

## INTERVENÇÕES ECOLÓGICAS PARA MELHORAR O CONFORTO TÉRMICO EM UM PÁTIO DE ESCOLA EM AREQUIPA, PERÚ

### **Katherin Geraldine Vilcanqui-Coaquira**

Bachiller en Arquitectura  
Universidad Tecnológica del Perú, Arequipa, Perú  
<https://orcid.org/0009-0006-1577-0018>  
U18303357@utp.edu.pe

### **Patricia Carolina Delgado-Meneses**

Magíster en Business Administration  
Docente de la Facultad de Ingeniería  
Universidad Tecnológica del Perú, Arequipa, Perú  
<https://orcid.org/0009-0000-2002-0517>  
C16692@utp.edu.pe

### **Valkiria Raquel Ibárcena-Ibárcena**

Magíster en Arquitectura Avanzada, Paisaje, Urbanismo y Diseño  
Docente Investigador de la Facultad de Arquitectura  
Universidad Tecnológica del Perú, Arequipa, Perú  
<https://orcid.org/0000-0003-4985-0228>  
C19684@utp.edu.pe



## RESUMEN

Los patios escolares se han convertido en espacios residuales carentes de confort térmico debido al incremento de la edificación para cubrir la sobrepoblación estudiantil. Por ello, se simularon estrategias arquitectónicas ecológicas para demostrar su eficacia en el mejoramiento del confort térmico en Arequipa, Perú; a partir del análisis de la temperatura fisiológica estándar de niños. Se adoptó un enfoque mixto, que combinó el software Sun Path para el análisis de asoleamiento, en base al Protocolo SOPARC y mediciones in situ, con Rayman para la simulación de confort térmico y Revit y ENVI-met para comprobar las estrategias aplicadas. Los resultados evidencian la mejora de la sensación térmica, siendo notable, aquella intervención en la que se efectuó el cambio de pavimento de tierra a césped, adición de vegetación arbórea e implementación de un invernadero ecológico. Por lo que, esta investigación valida la optimización de las condiciones térmicas mediante un análisis previo y una posterior intervención mediante simulación.

### Palabras clave

confort térmico, ENVI-met, patio, microclima

## ABSTRACT

Schoolyards have become residual spaces lacking thermal comfort due to increased construction to accommodate student overpopulation. As a result, ecological architectural strategies were simulated to demonstrate their effectiveness in improving thermal comfort in Arequipa, Perú; based on an analysis of children's standard physiological temperature. A mixed-methods approach was used, employing Sun Path for solar analysis, based on the SOPARC Protocol, and on-site measurements. The results obtained in situ were then used with RayMan to verify the strategies applied in Revit and ENVI-met. Results show an improvement in thermal sensation, with the most notable intervention being the change from dirt to grass paving, the addition of tree vegetation, and the implementation of an ecological greenhouse. As such, this research validates the optimization of thermal conditions through prior analysis and subsequent intervention via simulation.

### Keywords

thermal comfort, ENVI-met, schoolyard, microclimate

## RESUMO

Pátio de recreação das escolas se tornaram espaços residuais com falta de conforto térmico devido ao aumento do estoque de edifícios para atender à superpopulação de alunos. Portanto, estratégias arquitetônicas ecológicas foram simuladas para demonstrar sua eficácia na melhoria do conforto térmico, analisando a temperatura fisiológica padrão das crianças. Foi adotada uma abordagem mista, combinando o software Sun Path para análise da luz solar, com base no Protocolo SOPARC e em medições in situ, com o Rayman para simulação de conforto térmico e o Revit e o ENVI-met para testar as estratégias aplicadas. Os resultados mostram a melhoria da sensação térmica, sendo notável aquela em que foi realizada a mudança do pavimento de terra para grama, a adição de vegetação arbórea e a implementação de uma estufa ecológica. Portanto, esta pesquisa valida a otimização das condições térmicas por meio de uma análise prévia e uma intervenção posterior por meio de simulação.

### Palavras-chave:

conforto térmico, ENVI-met, pátio, microclima

## INTRODUCCIÓN

Los patios escolares en la actualidad presentan reducciones de áreas verdes, que repercuten en el rendimiento académico de los niños (Bernardes y Vergara, 2017) que pasan mayor tiempo en las escuelas. Por otro lado, Binabid et al. (2024) indican que el aumento de temperaturas y el malestar térmico afectan las actividades y el uso de espacios abiertos en el sector educativo, especialmente en climas áridos y desérticos. Por ello, es crucial aplicar estrategias adaptativas locales para mitigar el impacto del cambio climático.

Debido a ello, Lanza et al., (2021) promueve la implementación de áreas verdes en patios escolares, ya que contribuyen a reducir la temperatura ambiental, a través de la sombra y evapotranspiración de la vegetación, lo que mejora el confort térmico humano. Mientras que, Duarte-Tagles et al. (2015) y Pasek et al. (2020) muestran la importancia de la interacción humana con la naturaleza al enfatizar sus beneficios en la calidad de vida y su influencia positiva en las funciones cognitivas, mentales, crecimiento emocional y estado de ánimo de los estudiantes.

Se ha visto que los patios son una solución de diseño pasivo para lograr arquitectura sostenible en zonas cálidas, como Los Emiratos Árabes (Salameh, 2024). Sin embargo, algunos colegios tradicionales, presentan losas de pavimento y asfalto (Akoumianaki-Ioannidou et al., 2016), lo que incrementa los niveles de desconfort térmico debido al cambio climático. En ese sentido, Namazi et al. (2024), analizaron las condiciones micro meteorológicas para identificar el impacto que tenían la vegetación y materiales, a partir de HOBO el que recoge datos de temperatura y humedad para realizar comparaciones entre suelo duro y blando, procesadas con FLIR Thermal Studio (Lindemann-Matthies y Köhler, 2019; Lanza et al., 2021; Namazi et al., 2024) para comparar modelos de confort térmico a partir de parámetros climáticos (Marchante González y González Santos, 2020).

Por otra parte, Mahmoud y Abdallah (2022) y Salameh (2024) emplean ENVI-met para diseñar (Jansson et al. 2018) y validar escenarios (Oregi et al. 2024) el que se complementa con el software Rayman para calcular el índice de temperatura fisiológica equivalente (PET) que mide la sensación térmica real al usar variables meteorológicas y de balance humano energético (Royé et al. 2012). Igualmente, Abdallah (2022) mediante la aplicación de cuestionarios para evaluar la percepción de los estudiantes. A diferencia de Lanza et al. (2021) y Lavilla Cerdán, (2013) quienes emplearon el método de observación para no afectar la conducta de los niños, mediante el Protocolo SOPARC, método que permite medir los niveles de actividad física y sus interacciones con elementos verdes. Mientras que Bates et al. (2018) mapeó los comportamientos al utilizar sistemas de información geográfica.

Por lo tanto, pocos estudios han validado la optimización del confort térmico con intervenciones virtuales. Debido a ello, esta investigación se enfoca en analizar las condiciones térmicas en un patio escolar de Arequipa, Perú; para aplicar diferentes estrategias con la finalidad de demostrar la mejora del PET en climas secos y cálidos mediante simulación.

## CASO DE ESTUDIO

El caso de estudio está situado a una latitud sur 16°23'41.8", longitud oeste de 71°29'09.9" y altitud de 2649 m s. n. m. El clima de sierra es cálido y seco, con temperaturas máximas que oscilan entre 14°C y 29°C, y mínimas entre 5°C y 9°C (Instituto Nacional de Estadística e Informática, 2022). El entorno de la institución está rodeado de edificaciones de hasta 10 metros de altura. El estudio se realizó en septiembre del 2024, al final del invierno y el inicio de la primavera, lo que ofrece condiciones solares significativas pero tolerables, que permitieron un análisis representativo del comportamiento térmico y de sombra en espacios exteriores.

## METODOLOGÍA

El estudio presenta un enfoque mixto, en el que se analizan las condiciones climatológicas in situ, para luego aplicar las estrategias arquitectónicas ecológicas mediante simulación virtual (Figura 1). Se realizó un análisis de asoleamiento con el software Sun Path y tres fuentes de pronóstico climático: *The Weather Channel* (2024), *Tiempo3* (2024) y *Meteo Consult* (2024), se optó por pronósticos en lugar de archivos TMY, dado que estos últimos representan datos promedio y no corresponden a días reales específicos, se identificó el día más soleado y horarios para la medición in situ. Los puntos de medición fueron seleccionados según las características espaciales, materialidad y desniveles en los patios. Luego, se utilizó el protocolo SOPARC para registrar las actividades y desplazamientos de los 203 estudiantes durante su recreo de 30 minutos. Para las mediciones de temperatura (bulbo seco) se usó un termohigrómetro digital TA318 con sonda externa que mide rangos de -50°C a 70°C con precisión de ±1°C y de humedad relativa del 25% al 98% con una precisión de ±5% HR. La velocidad del viento se obtuvo del anemómetro digital Hobotest HT605, con rango de medición: 0~30m/s y precisión de +/-2 %. A partir de esta data, más el PET analizado por SOPARC (protocolo) y Rayman (software), se calculó la sensación térmica para niños de 6 y 11 años, y se simuló intervenciones arquitectónicas ecológicas modeladas en SketchUp. Posteriormente, se evaluaron los efectos en el confort térmico mediante simulaciones con el software ENVI-met.

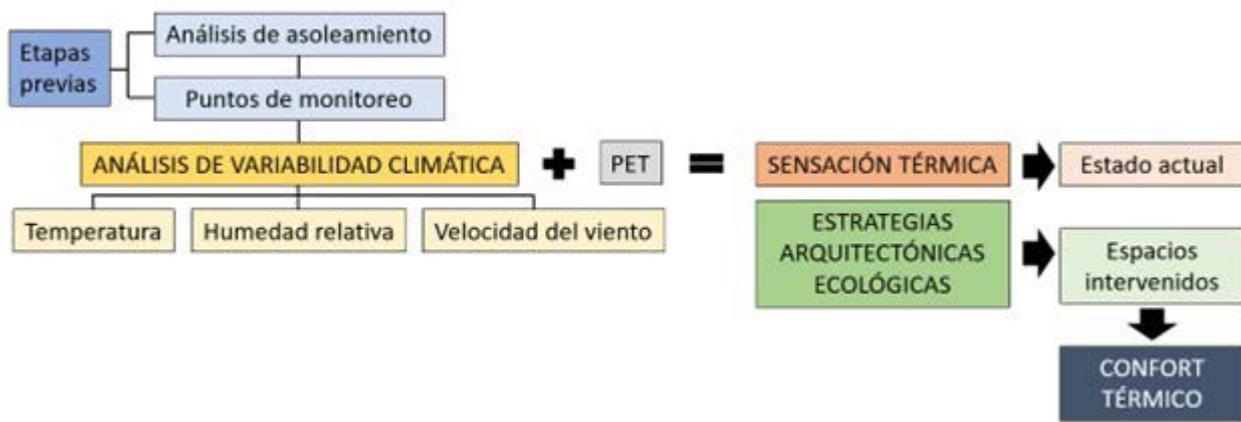


Figura 1. Diseño metodológico. Fuente: Elaboración de los Autores.

## ANÁLISIS DE ASOLEAMIENTO

Con la utilización del software Sun Path, se definieron los horarios de medición. A las 8:00 a. m., el sol asciende, generándose una sensación térmica cálida; a las 10:30 a. m., la radiación solar incrementa, exponiéndose a gran parte del patio al sol; y a la 1:30 p. m., con el descenso solar, se reduce la radiación y la percepción térmica. Además, se observa que las edificaciones circundantes no proporcionan sombra al patio (Figura 2).

### Ubicación de puntos de monitoreo

Se seleccionaron 6 puntos (Figura 3) basados en sus características espaciales, materialidad y desniveles. P1 y P2 están en el nivel más alto, con césped natural; P1 tiene protección natural por árboles, y P2 por cubierta artificial. P3 y P4 se encuentran al mismo nivel, con tierra natural. Sin embargo, P3 posee 30% de cobertura solar e incluye una senda de piedras que permite recorrer el huerto compuesto de área verde y P4 carece de cobertura solar. Finalmente, P5 y P6 son losas deportivas con características similares, diferenciadas por su tamaño.

Los sensores se colocaron a 1.5 metros sobre el nivel del suelo, se siguieron las recomendaciones de la CIBSE *Guide A: Environmental Design* (CIBSE, s.f.), dado que es una altura representativa del nivel del usuario. Además, los sensores expuestos al sol fueron P1, P3 y P4 y a la sombra fueron P2, P5 y P6, donde existen elementos de protección solar (Figura 4). La selección de estos puntos responde a la necesidad de representar condiciones contrastantes del espacio, que permiten una evaluación precisa del comportamiento térmico en el patio.

Se utilizó el protocolo SOPARC al que se le adicionó un registro fotográfico en simultáneo que permitiera reconocer el desplazamiento de 203 niños durante 30 minutos, que es el tiempo que dura el juego no estructurado bajo la supervisión del docente, lo que

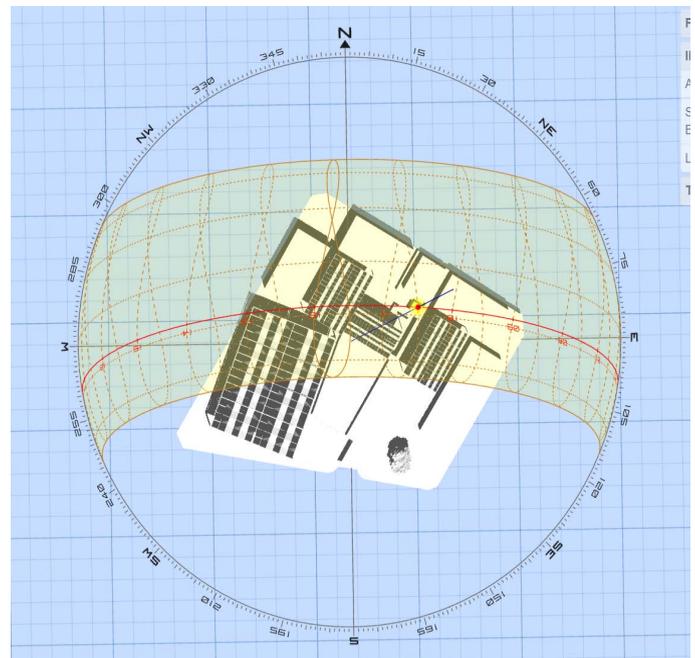


Figura 2. Asoleamiento a las 10:30 a. m. Fuente: Elaboración de los Autores en base a Sun Path.

permitió identificar las zonas más concurridas y preferidas por ellos, basándose en indicadores de ubicación, género, actividad primaria, nivel de actividad e interacción con elementos verdes.

Como se observa en la Figura 5, P1 y P2 no se encuentran registrados al ser áreas exclusivas para el nivel inicial, por lo que el lugar más utilizado para los niños de 6 a 11 años es el P5 seguido del P6 al contener losas deportivas que son la actividad primordial para estos mismos (a). Cabe indicar que la muestra de estudio tiene una proporción similar entre el género masculino y femenino (b), al ser la actividad predominante el jugar, seguido de socializar cuyo espacio tiene graderías lo que fomenta la reunión en grupo y correr (c).

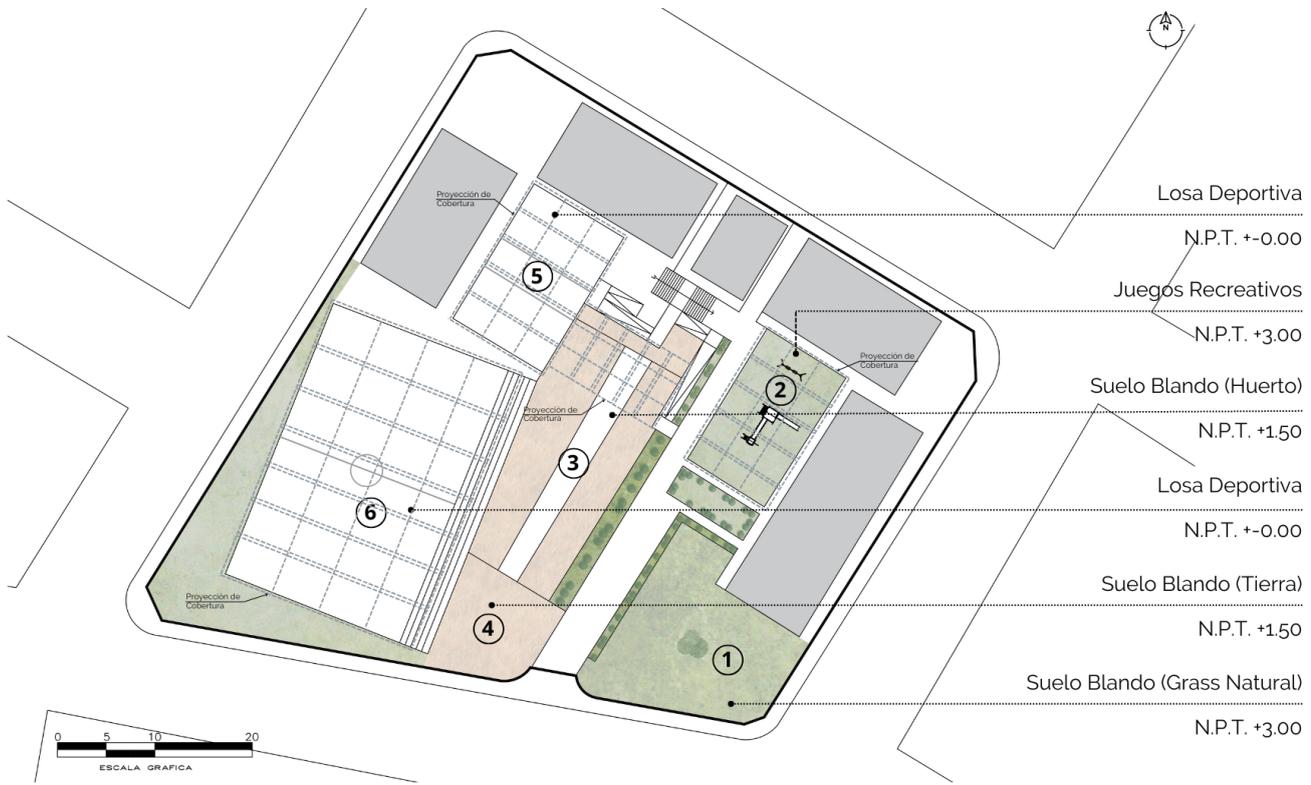


Figura 3. Ubicación de los puntos de monitoreo. Fuente: Elaboración de los Autores

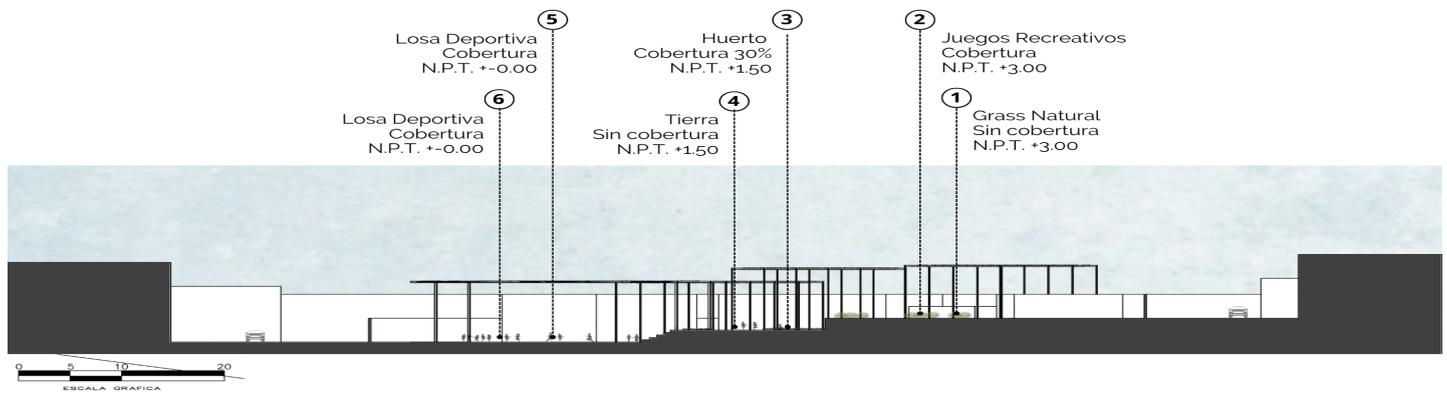


Figura 4. Características básicas de los espacios. Fuente: Elaboración de los Autores.

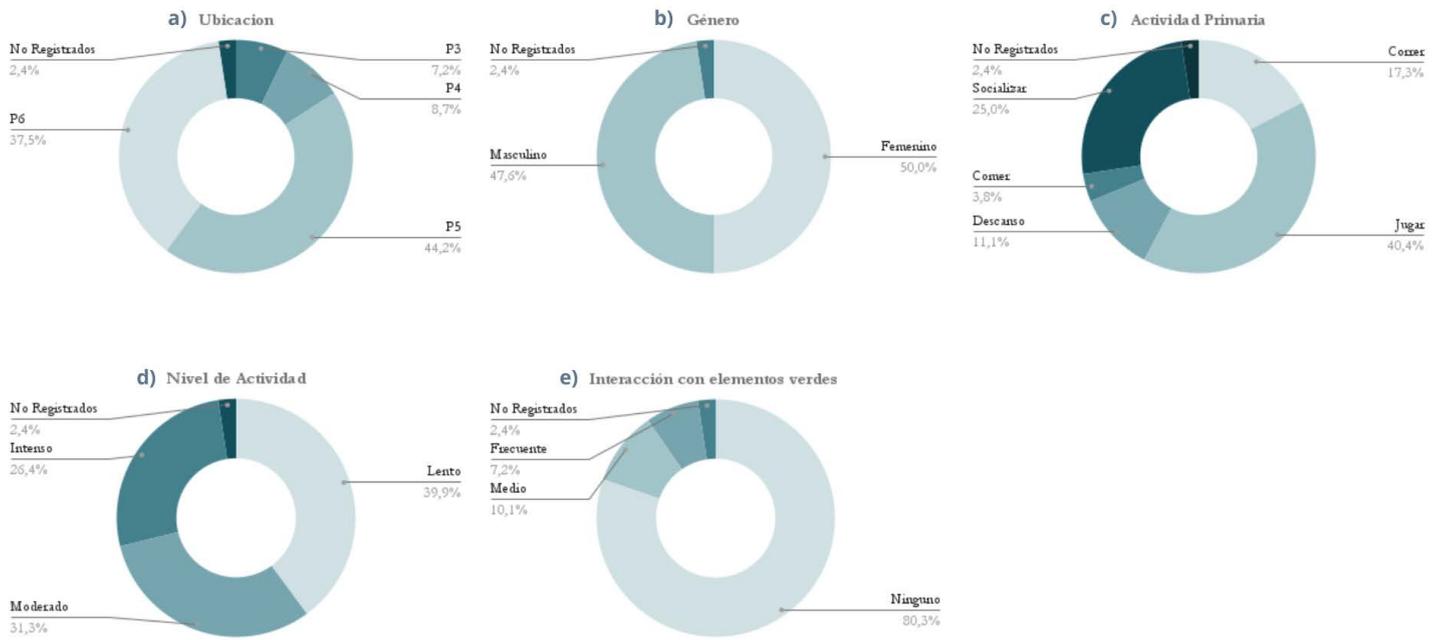


Figura 5. Indicadores basados en el protocolo SOPARC. Elaboración de los Autores.



Figura 6. Flujos de movimiento y nivel de actividad. Fuente: Elaboración de los Autores.

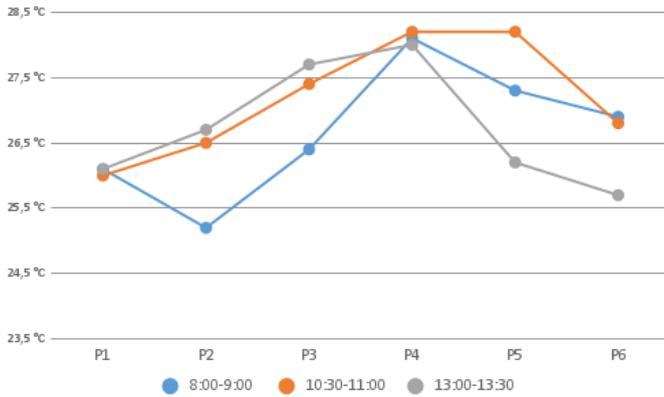


Figura 7. Temperatura del aire. Fuente: Elaboración de los Autores.

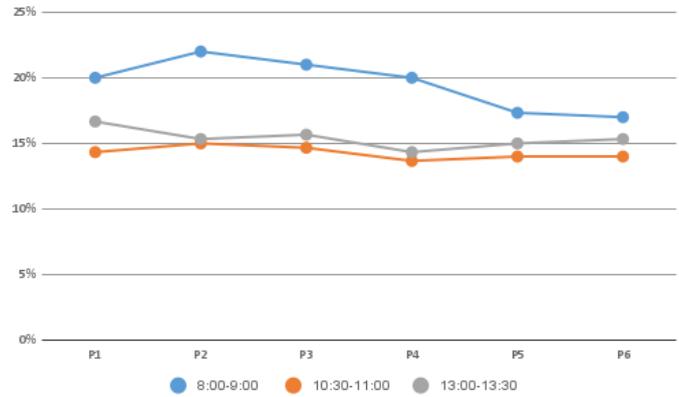


Figura 8. Humedad Relativa. Fuente: Elaboración de los Autores.

El mayor flujo de movimiento se centra en P5 y P6 con mayor participación del género femenino y masculino respectivamente (b) (Figura 6). Sin embargo, se denota que el nivel de actividad predominante es de tipo lento (d) que registra que un 39.9% de estudiantes debido a que prefieren el tipo de recreación pasiva en P4, seguido de un 31.3% con actividad moderada y 26.4% que realizan actividad intensa ya que practican algún deporte como el fútbol en P5 y P6. Además, se destaca que el 80.3 % no interactúa con el área verde, que en este caso sería el huerto (P3), probablemente debido a la falta de equipamiento recreativo que resulta más atractivo para los niños (e).

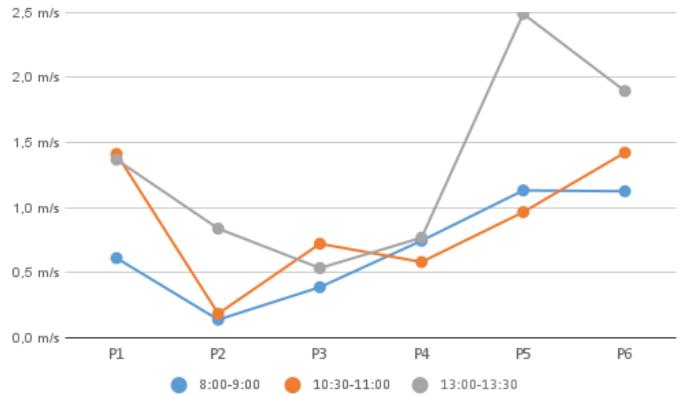


Figura 9. Velocidad del viento. Fuente: Elaboración de los Autores.

## RESULTADOS

A partir de los datos preliminares, se procedió con las mediciones de variabilidad climática, las que fueron ingresadas al Software Rayman para determinar el índice PET (Deng y Wong, 2020). Posteriormente, los resultados fueron comparados con la clasificación de confort térmico de Morakinyo et al. (2018) a partir del mapa de comportamiento de los niños. Luego, se intervinieron todos los espacios con estrategias ecológicas de diseño aplicándose la Guía *La aventura de aprender. Cómo intervenir un patio escolar* (Basurama, 2024). Finalmente, mediante simulación con el software Revit y ENVI-met se compara el estado actual con los espacios intervenidos.

### ANÁLISIS DE VARIABILIDAD CLIMÁTICA

El análisis se dividió en tres bloques horarios: de 8:00 a. m. a 9:00 a. m., cuando los estudiantes están en aula; de 10:30 a. m. a 11:00 a. m., durante el receso escolar, cuando el patio está ocupado; y de 1:00 p. m. a 1:30 p. m., al momento de salida, cuando los estudiantes se desplazan hacia la puerta. Esta división facilitó una evaluación precisa del comportamiento térmico según la ocupación del patio.

Se considera la máxima temperatura del aire, como indicador del escenario más desfavorable (Figura 7), ya que, a mayor temperatura, el confort térmico disminuye debido al clima cálido del caso de estudio. Por lo tanto, de los 6 puntos escogidos se observa que, P4 registra los niveles más altos de temperatura con un promedio de 28.1°C a diferentes horas del día. A pesar de encontrarse en el nivel intermedio, su temperatura podría incrementarse al no contar con protección solar y tener un suelo de tierra natural.

Al igual que en el indicador anterior, se identifica a P4 como el más afectado, ya que presenta la humedad más baja en el horario crítico de 10:30 horas a 11:00 horas, cuando los estudiantes presentan una máxima estancia en un nivel de actividad moderada, lo que justifica la necesidad de estrategias para mejorar el confort térmico. En este horario, P5 también presenta temperaturas elevadas, pese a ser de concreto, lo que sugiere que la proporción reducida del espacio similar a P4 influye en la acumulación térmica, ya que superficies menores tienden a retener más calor. Además, al encontrarse su superficie

Tabla 1. Síntesis de la variabilidad climática. Fuente: Elaboración de los Autores.

PUNTOS	TA (°C)	HR (%)	V (m/s)	TG (°C)	RG (W/m2)	PET1	PET2
P1	27.0	13	2.37	18.8	715.2	30.0°C	30.6°C
P2	27.8	15	1.33	18.8	715.2	35.0°C	35.0°C
P3	28.6	14	1.53	18.8	715.2	35.2°C	35.3°C
P4	29.8	13	1.89	18.8	715.2	35.8°C	35.8°C
P5	29.5	13	3.75	18.8	715.2	32.2°C	32.3°C
P6	28.3	14	3.00	18.8	715.2	31.7°C	31.7°C

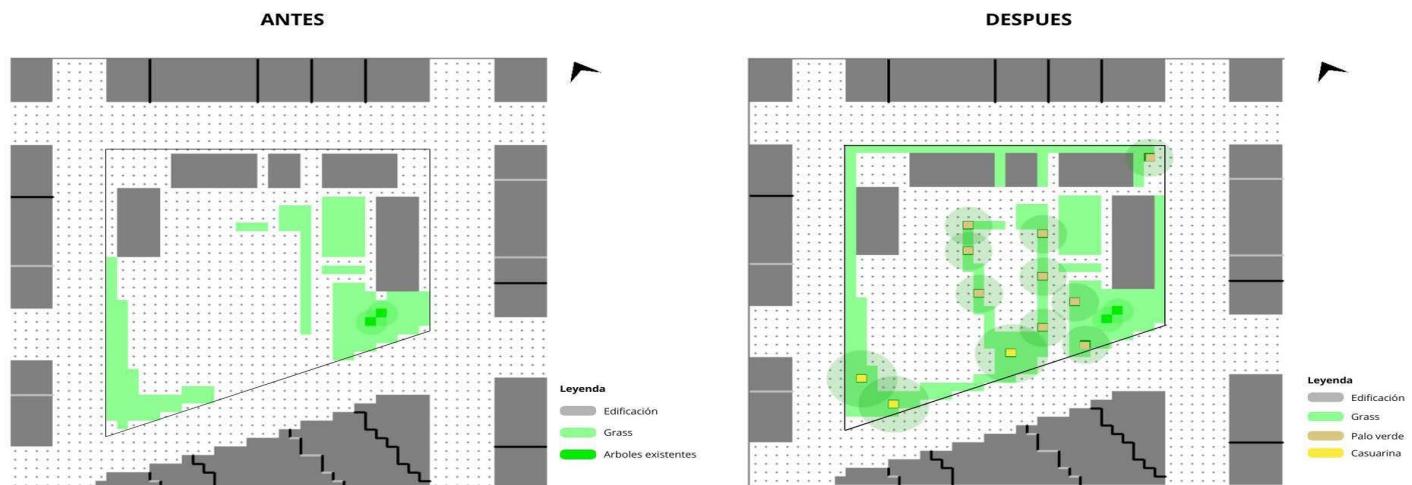


Figura 10. Comparativa basada en la adición de árboles y áreas verdes. Fuente: Elaboración de los Autores

de tierra expuesta al sol impide la generación de microclimas. Asimismo, P5 y P6 presentan niveles bajos de humedad relativa, lo que sugiere que el material de concreto también contribuye a la pérdida de humedad, a pesar de contar con cobertura solar.

Los resultados de la Figura 9 indican que las altas velocidades de viento, en climas cálidos de sierra, pueden reducir excesivamente la sensación térmica, generándose incomodidad, especialmente en niños en reposo o con poca actividad. P5 y P6 están más expuestos al viento debido a la falta de elementos de control, como vegetación o muros, aunque esto ocurre cuando los estudiantes ya se encuentran en sus aulas, minimizando el impacto. Por otro lado, P2 presenta las velocidades más bajas gracias a su entorno rodeado de edificaciones que bloquean los vientos predominantes del sur, a diferencia de P5, donde el viento circula sin obstáculos.

### SENSACIÓN TÉRMICA

Para evaluar la sensación térmica, se utilizó la data climática, al añadir la temperatura del globo (bulbo seco) y radiación global obtenida de Windy.com (2024). y

TuTiempo.net. (2024) sintetizada en la Tabla 1. Junto con las características de los niños y las coordenadas de la escuela, mediante el software RayMan se obtuvo el PET para cada punto. Para poder realizar la simulación en dicho programa se agregan los datos obtenidos de los indicadores, información geográfica de la infraestructura y las características de edad, género, peso, altura y tasa metabólica de dos niños de 6 y 11 años que representan respectivamente el primer y último grado de educación primaria, la que fue extraída del Ministerio de Salud (2015), según lo establecido en la *Guía Técnica para la Valoración Nutricional Antropométrica*.

Los valores de PET obtenidos rondaron los 30 °C para ambos grupos etarios (PET1 y PET2). Según la escala de sensación térmica, P1 y P6 se clasificaron como “tibio”, mientras que P2 a P5 alcanzaron el nivel de “caliente”. Ningún punto se ubicó dentro del rango de confort térmico (18 °C – 23 °C) recomendado para niños de 6 a 11 años. P1 mostró mejores condiciones térmicas gracias a su vegetación y sombra natural, mientras que en P6, pese al pavimento de concreto, la mayor superficie, presencia de sombra y ventilación directa atenuaron la acumulación térmica.

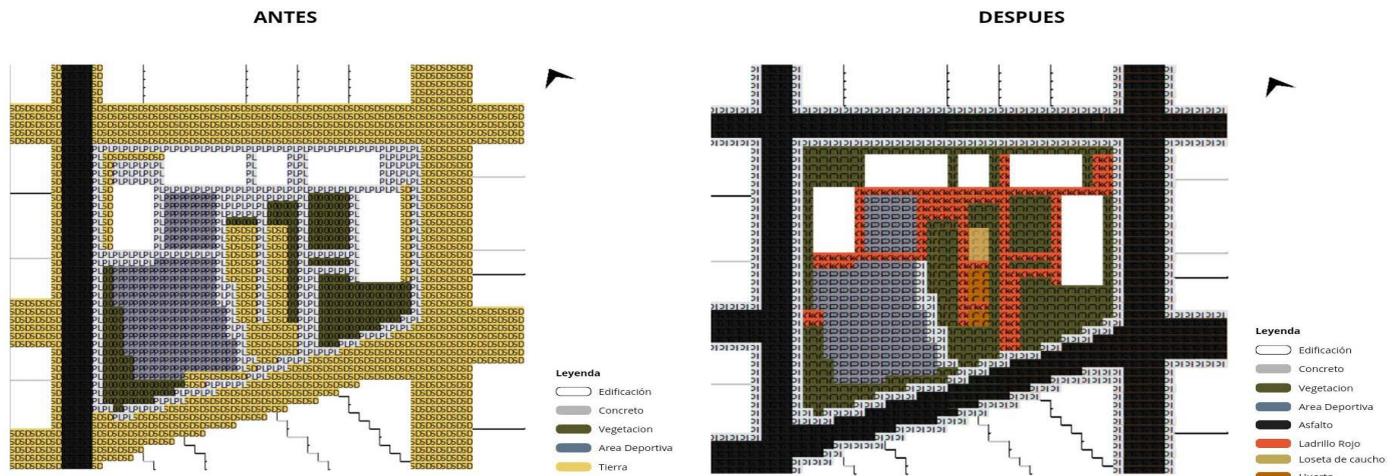


Figura 11. Comparativa en función a la materialidad. Fuente: Elaboración de los Autores.



Figura 12. Implementación de mobiliario ecológico. Fuente: Elaboración de los Autores.

## APLICACIÓN DE ESTRATEGIAS ARQUITECTÓNICAS ECOLÓGICAS

ENVI-met permitió simular intervenciones orientadas a reducir el estrés térmico mediante mobiliario ecológico, aumento de vegetación y cambio de pavimento. Se incorporaron casuarinas y palo verde por su follaje denso y altura, lo que aseguró sombra continua en zonas de tránsito y estancia, independientemente del ángulo solar (Figura 10). La cobertura vegetal se incrementó en un 70 % con la inclusión de 12 árboles, que generaron un entorno más fresco y confortable.

Se reemplazó el 90% de caminerías de concreto por ladrillo rojo triturado (Figura 11) que no refleja el sol y es un material rígido de alta resistencia y 10% con loseta de caucho para P3, ya que tiene un alto coeficiente de absorción, siendo un material flexible de alta resistencia, atractivo por su variedad de colores y óptimo ante los impactos por caída de los estudiantes, ya que en el análisis de actividades se determinó que esta área la utilizaban para correr.

A partir del análisis de actividades, se diseñó un mobiliario recreativo ecológico de mesas, sillas, juegos con neumáticos, jardineras, cabañas e invernadero (Figura

Tabla 2. Detalle de implementación de estrategias arquitectónicas. Fuente: Elaboración de los Autores.

PUNTOS	Implementación de mobiliario ecológico (unidad)	Incremento de árboles (unidad)	Incremento de área verde %	Cambio de pavimento %	Observaciones
P1	-	2	-	10%	-
P2	-	1	-	10%	-
P3	3	5	40%	30%	Juegos recreativos
P4	4	2	55%	20%	Huerto
P5	-	-	-	30%	Losa deportiva
P6	-	2	10%	30%	Losa deportiva

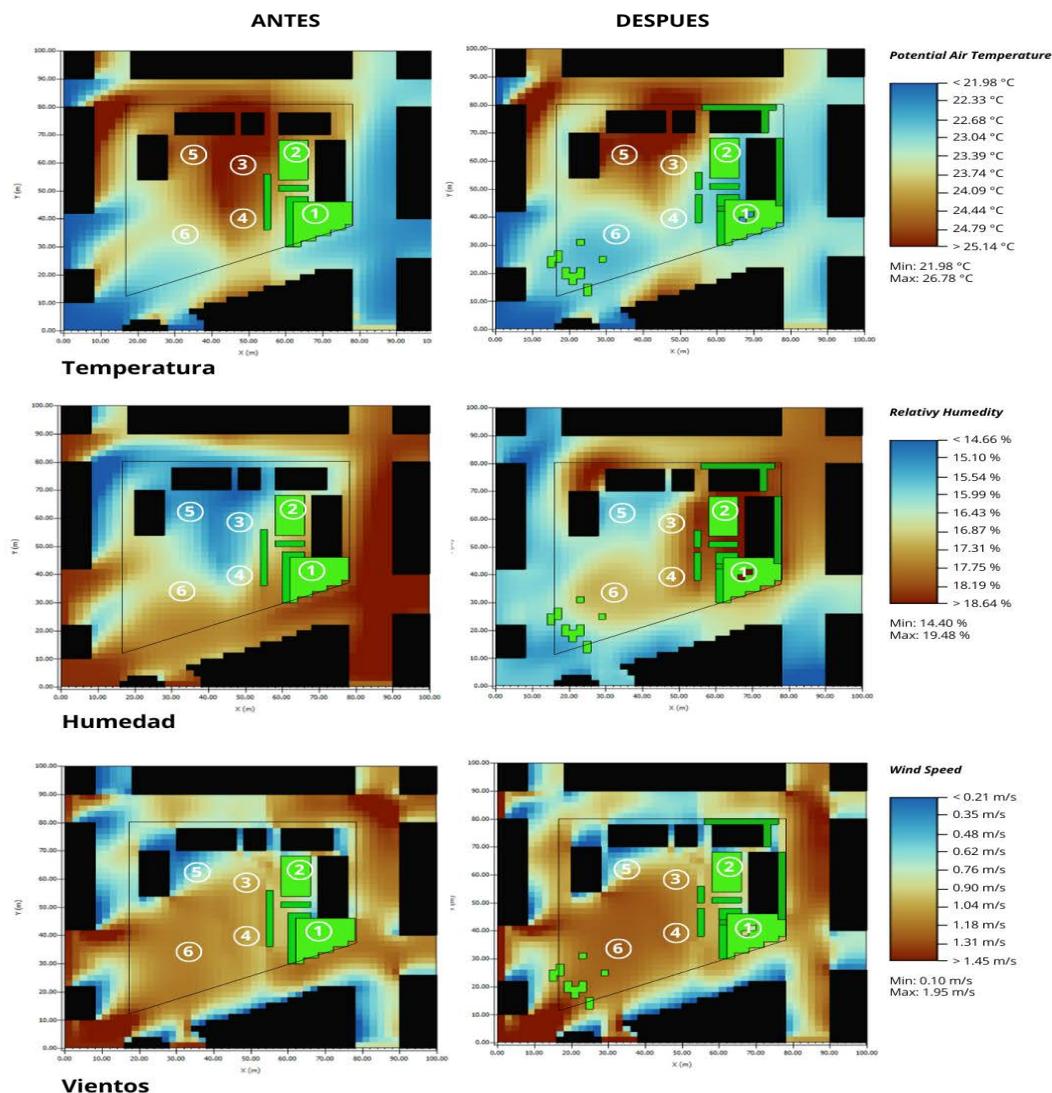


Figura 13. Análisis comparativo de la variabilidad climática. Fuente: Elaboración de los Autores.

12) para integrar las actividades recreativas en espacios poco transitados (P3 y P4), y que cumplan con criterios ergonómicos para el confort de los estudiantes de nivel primaria.

Como materiales se priorizó la madera, neumáticos, sogá, bambú, botellas de plástico y mallas de pesca. Todas

estas especificaciones de materialidad fueron sometidas a Envi-met, lo que permitió comparar el estado actual del patio escolar con la intervención propuesta mediante simulación.

En la Tabla 2, se puede observar que los mayores cambios se presentaron en P3 y P4. Por ejemplo, en P3

Tabla 3. Comparación de los resultados del PET. Fuente: Elaboración de los Autores.

PUNTOS	PET 01 °C Antes	PET 01 °C Después	Diferencia °C	PET 02°C Antes	PET 02°C Después	Diferencia °C	Sensación térmica (Antes)	Sensación térmica (Después)
P1	30.5	29.1	1.4	30.6	29.2	1.4	Tibio	Tibio
P2	35.0	29.3	5.7	35.0	29.3	5.7	Caliente	Tibio
P3	35.3	28.9	6.4	35.3	28.7	6.6	Caliente	Ligeramente tibio
P4	35.8	28.7	7.1	35.8	28.6	7.2	Caliente	Ligeramente tibio
P5	32.2	30.9	1.3	32.3	30.8	1.5	Caliente	Tibio
P6	31.7	30.2	1.5	31.7	30.2	1.5	Tibio	Tibio

se reubicaron los juegos recreativos, se incrementó la cantidad de árboles, área verde y se reemplazó un 30 % del pavimento. Mientras que en P4, se adicionó la zona de huerto, que amplió de esta manera el área verde en un 55%, mejorándose de esta manera el confort térmico.

### COMPARATIVA DEL ESTADO ACTUAL CON LA INTERVENCIÓN MEDIANTE SIMULACIÓN

Al integrar las estrategias arquitectónicas ecológicas, el calor se redujo en P6 y P4 de 1.4°C a 1.6°C respectivamente, la humedad aumentó en 6% debido al incremento de áreas verdes y la velocidad del viento se mantuvo (Figura 13).

Finalmente, con los nuevos valores de simulación climática, se evaluó PET con Rayman y se comparó con los valores iniciales. El índice PET disminuyó y alcanzó un promedio de reducción de 3.92°C en PET 1 y de 3.98°C en PET 2 (Tabla 3). Fue P4 el de mayor reducción de calor, debido al cambio de pavimento de tierra a área verde, a la adición de 1 árbol y del invernadero ecológico. Por el contrario, P1 redujo sólo 1.4°C debido a que sólo se aumentó 2 árboles, al ser una intervención no significativa. Según la Tabla 3 adaptó el modelo de Marchante González y González Santos (2020) se pasó de "estrés por calor" a "sin estrés térmico". En P5 la reducción promedio fue de 1.4°C, debido a la exposición a las ráfagas de viento; por lo que, los 3 árboles planteados como barrera natural permitieron mejorar marcadamente su sensación térmica. Las reducciones notables se dieron en P2, con 5.7°C de gradiente, así como en P3 y P4.

## DISCUSIÓN

Esta investigación, evidencia la posibilidad de mejorar los patios escolares con estrategias arquitectónicas ecológicas. Si bien, no se alcanzó el estado "confortable" en la escala de sensación térmica, se consiguió un nivel "ligeramente tibio", cercano a la meta, por lo que este

modelo podría ser replicable, con diferentes adaptaciones en función a la materialidad local.

Las estrategias se basaron en el incremento de árboles, área verde, cambio de pavimento y diseño de mobiliario que consiguieron reducir en promedio la sensación térmica en 3.96°C, cabe indicar que las modificaciones no se centraron en la masa constructiva, como ocurre en Salameh (2024) quien modificó las proporciones y forma del patio. Además, se demostró como actúan las barreras naturales frente a las ráfagas de viento con la implementación de casuarinas y palo verde, con reducciones de 1.4°C de P5 y de 7.1°C en P4, confirmando la optimización del espacio mediante la sombra señalada por Namazi et al. (2024) y Abdallah (2022) para mitigar eficazmente el calor. Asimismo, ya que, la orientación de la edificación no permitía generar sombra sobre el patio escolar, fue necesario la implementación de árboles; coincidiendo con Oregi et al. (2024) quienes inciden en la importancia de la orientación del edificio y las edificaciones vecinas. El cambio de pavimento en un 90% permitió generar mejoras las que concuerdan con Namazi et al. (2024) que reemplazó materiales oscuros y artificiales al crear espacios escolares térmicamente confortables. Por otro lado, Guo et al. (2022) midieron sus variables en 14 puntos categorizados únicamente por su materialidad. A diferencia de ello, en esta investigación se consideró 6 puntos de medición clasificados por materialidad, desniveles de piso y características espaciales, lo que permitió clarificar que a pesar que algunos puntos se encontraban a 3 m. del nivel 0, no eran los más ventilados. Las ráfagas de viento se producían sobre los niveles inferiores que no contaban con ningún tipo de protección. Además, un dato inusual registrado fue el aumento en la variación de los vientos en P5, con un pico de 2.50 m/s, a diferencia de los demás puntos que fluctúan entre 0.62 m/s y 0.14 m/s, lo que se debe a que, al recibir directamente las ráfagas de viento, en P5 se forma una especie de ciclón que genera un leve estrés por frío, que afecta la percepción térmica en esa zona del patio.

Como limitaciones del estudio, se recalca que, al tratarse de una población infantil, a diferencia de Jansson et al. (2018), no se incluyó encuestas en la metodología, ya que se complican las autorizaciones para estudiantes. Asimismo, por el tiempo de ejecución del estudio y la disponibilidad de los equipos, la toma de información climatológica se resumió en un día, no debe asumirse como representativa para el año completo. Se dispuso de un tiempo limitado para la observación de las actividades y desplazamiento de los estudiantes, ya que el patio es utilizado principalmente en el periodo de recreo escolar que dura solamente 30 minutos.

## CONCLUSIONES

La integración de estrategias arquitectónicas ecológicas mejoró significativamente las condiciones térmicas en el patio escolar, al reducir 3.96°C a nivel de PET, mediante el incremento del 70% de área verde, 12 árboles ubicados estratégicamente, lo que modifica el 90% de pavimento y con la adición de 7 mobiliarios ecológicos.

P4 fue el punto más afectado en cuanto a temperatura y humedad, por ello registró el PET inicial más elevado. Sin embargo, logró reducir 7.1°C, que superó al resto, esto puede explicarse porque se emplearon todas las estrategias, a diferencia de P1 en la que se implementó solo 2 árboles.

Se evidencia que, a mayor temperatura, menor humedad y vientos, el índice PET se eleva. Sin embargo, las ráfagas de viento no constituyen un indicador potencial, ya que los puntos con valores elevados de viento (P5 y P6), también tuvieron una sensación térmica tibia. La aplicación de estrategias en P1 y P6 no cambió de nivel la sensación térmica, pero si la redujo entre 1.4°C y 1.5°C respectivamente.

Aunque la mayoría de los espacios recreativos están equipados con estructuras de sombra artificial, se registraron picos altos de temperatura (28.2°C en P5). Por ello es necesario buscar otras estrategias a nivel de piso que permitan equilibrar la sensación térmica de los niños durante el desarrollo de sus actividades activas y pasivas.

Finalmente, en futuras investigaciones este estudio podría validar sus intervenciones en diferentes estaciones. Además, la muestra podría ampliarse para analizar diferentes casuísticas que permitan comprender las condiciones térmicas de los patios escolares en diferentes contextos.

## CONTRIBUCIÓN DE AUTORES CREDIT

Conceptualización, K.G.V.C., P.C.D.M., V.R.I.I.;  
Curación de datos, K.G.V.C., P.C.D.M.; Análisis formal,

K.G.V.C., V.R.I.I.; Adquisición de financiación K.G.V.C.;  
Investigación, K.G.V.C., P.C.D.M., V.R.I.I.; Metodología,  
K.G.V.C., P.C.D.M., V.R.I.I.; Administración de proyecto,  
K.G.V.C.; Recursos, K.G.V.C.; Software, K.G.V.C.;  
Supervisión, P.C.D.M., V.R.I.I.; Validación, K.G.V.C.,  
P.C.D.M., V.R.I.I.; Visualización, K.G.V.C., V.R.I.I.; Escritura  
– borrador original, K.G.V.C., P.C.D.M., V.R.I.I.; Escritura –  
revisión y edición, K.G.V.C., P.C.D.M., V.R.I.I.

## AGRADECIMIENTOS

Artículo desarrollado bajo el Trabajo de Investigación del curso de Taller de Investigación en Arquitectura, 2024

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Abdallah, A. S. H., (2022). Passive design strategies to improve student thermal comfort in Assiut University: A field study in the Faculty of Physical Education in hot season. *Sustainable Cities and Society*, 86, 104110. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2022.104110>

Akoumianaki-Ioannidou, A., Paraskevopoulou, A. T., y Tachou, V. (2016). School grounds as a resource of green space to increase child-plant contact. *Urban Forestry & Urban Greening*, 20, 375–386. <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2016.10.009>

Bates, C. R., Bohnert, A. M., y Gerstein, D. E. (2018). Green Schoolyards in Low-Income Urban Neighborhoods: Natural Spaces for Positive Youth Development Outcomes. *Frontiers in Psychology*, 9, 805. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2018.00805>

Bernardes, M., y Vergara, L. G. L. (2017). Aprendiendo entre la naturaleza: Una revisión de los beneficios de los espacios verdes en el ambiente escolar. *Arquitecturas del Sur*, 35(52), 96–103. <https://doi.org/10.22320/07196466.2017.35.052.09>

Binabid, J., Alymani, A., y Alammari, A. (2024). Optimizing Outdoor Thermal Comfort for Educational Buildings: Case Study in the City of Riyadh. *Buildings*, 14(11), 3568. <https://doi.org/10.3390/buildings14113568>

CIBSE. (s.f.). Guide A: Environmental Design. Chartered Institution of Building Services Engineers, de <https://iierga.com/wp-content/uploads/sites/2/2017/10/CIBSE-Guide-A-Environmental-design.pdf>

Deng, J. Y., y Wong, N. H. (2020). Impact of urban canyon geometries on outdoor thermal comfort in central business districts. *Sustainable Cities and Society*, 53, 101966. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2019.101966>

Duarte-Tagles, H., Salinas-Rodríguez, A., Idrovo, Á. J., Búrquez, A., y Corral-Verdugo, V. (2015). Biodiversidad y síntomas depresivos en adultos mexicanos: exploración de los efectos benéficos del ambiente. *Biomédica*, 35(2), 46–57. <https://doi.org/10.7705/BIOMEDICA.V35I0.2433>

Guo, W., Jiang, L., Cheng, B., Yao, Y., Wang, C., Kou, Y., Xu, S., y Xian, D. (2022). A study of subtropical park thermal

comfort and its influential factors during summer. *Journal of Thermal Biology*, 109, 103304. <https://doi.org/10.1016/J.JTHERBIO.2022.103304>

Instituto Nacional de Estadística e Informática. (2022). *Compendio Estadístico: Arequipa 2022*. <https://www.gob.pe/institucion/inei/informes-publicaciones/4132137-compendio-estadistico-arequipa-2022>

Jansson, M., Abdulah, M., y Eriksson, A. (2018). Secondary school students' perspectives and use of three school grounds of varying size, content and design. *Urban Forestry & Urban Greening*, 30, 115–123. <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2018.01.015>

Basurama (2024). *La aventura de aprender. Cómo intervenir un patio escolar*. Instituto Nacional de Tecnologías Educativas y de Formación del Profesorado (INTEF). [https://www.libreria.educacion.gob.es/libro/la-aventura-de-aprender-como-intervenir-un-patio-escolar\\_184810](https://www.libreria.educacion.gob.es/libro/la-aventura-de-aprender-como-intervenir-un-patio-escolar_184810)

Lanza, K., Alcazar, M., Hoelscher, D. M., y Kohl, H. W. (2021). Effects of trees, gardens, and nature trails on heat index and child health: design and methods of the Green Schoolyards Project. *BMC Public Health*, 21, 98. <https://doi.org/10.1186/s12889-020-10128-2>

Lavilla Cerdán, L. (2013). La observación sistemática. *Revista de Claseshistoria*, (6), 374. <http://www.claseshistoria.com/revista/2013/articulos/lavilla-observacion-sistemática.pdf>

Lindemann-Matthies, P., y Köhler, K. (2019). Naturalized versus traditional school grounds: Which elements do students prefer and why? *Urban Forestry & Urban Greening*, 46, 126475. <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2019.126475>

Mahmoud, R. M. A., y Abdallah, A. S. H. (2022). Assessment of outdoor shading strategies to improve outdoor thermal comfort in school courtyards in hot and arid climates. *Sustainable Cities and Society*, 86, 104147. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2022.104147>

Marchante González, G., y González Santos, A. I. (2020). Evaluación del confort y desconfort térmico. *Ingeniería Electrónica, Automática y Comunicaciones*, 41(3), 21-40. [http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1815-59282020000300021#B19](http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1815-59282020000300021#B19)

Meteo Consult. (25 de septiembre 2024). *Previsiones meteorológicas y clima*. <https://www.meteoconsult.fr/>

Ministerio de Salud. (2015). *Guía técnica para la valoración nutricional antropométrica de la persona adolescente*. Instituto Nacional de Salud. <https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/390257/guia-tecnica-para-la-valoracion-nutricional-antropometrica-de-la-persona-adolescente.pdf?v=1571242432>

Morakinyo, T. E., Lau, K. K.-L., Ren, C., y Ng, E. (2018). Performance of Hong Kong's common trees species for outdoor temperature regulation, thermal comfort and energy saving. *Building and Environment*, 137, 157–170. <https://doi.org/10.1016/J.BUILDENV.2018.04.012>

Namazi, Y., Charlesworth, S., Montazami, A. y Taleghani, M. (2024). The impact of local microclimates and Urban Greening Factor on schools' thermal conditions during summer: A study in Coventry, UK. *Building and Environment*. 262, 111793. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2024.111793>

Oregi, X., Goti, A., Pérez-Acebo, H., Alvarez, I., Eguia, M.I. y Alberdi, E. (2024). Development of a Transdisciplinary Research-Based Framework for the Improvement of Thermal Comfort of Schools Through the Analysis of Shading System. *Buildings*, 15(1), 47. <https://doi.org/10.3390/buildings15010047>

Pasek, M., Szark-Eckardt, M., Wilk, B., Zuzda, J., Żukowska, H., Opanowska, M., Kuska, M., Drózd, R., Kuśmierczyk, M., Sakłak, W., & Kupcewicz, E. (2020). Physical Fitness as Part of the Health and Well-Being of Students Participating in Physical Education Lessons Indoors and Outdoors. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 17(1), 309. <https://doi.org/10.3390/ijerph17010309>

Royé, D., Martí Ezpeleta, A., y Cabalar Fuentes, M. (2012). *Aproximación al comportamiento espacial del estrés térmico en Galicia mediante el uso del índice bioclimático PET*. [https://aeclim.org/wp-content/uploads/2016/02/0092\\_PU-SA-VIII-2012-D\\_ROYE.pdf](https://aeclim.org/wp-content/uploads/2016/02/0092_PU-SA-VIII-2012-D_ROYE.pdf)

Salameh, M. (2024). Modifying School Courtyard Design to Optimize Thermal Conditions and Energy Consumption in a Hot Arid Climate. *Journal of Architectural Engineering*, 30(4). <https://doi.org/10.1061/jaeied.aeeng-1813>

The Weather Channel. (25 de septiembre de 2024.). *Weather forecast and climate information*. <https://weather.com/>

Tiempo3. (25 de septiembre de 2024). *El clima en Arequipa, Perú*. <https://www.tiempo3.com/south-america/peru/tacna/arequipa>

TuTiempo.net. (25 de septiembre de 2024). *El Tiempo: Pronóstico del tiempo para tu ciudad*. <https://www.tutiempo.net>

Windy.com. (25 de septiembre de 2024). *Wind map & weather forecast*. <https://www.windy.com/>

