

Assessment and Mitigation of Heat Stress in Workers of a Small-Scale Cheese Enterprise: A Case Study in Chuquibamba, Arequipa (2025)

Díaz Carpio, Jhon Ferando¹ ; Cáceres Díaz, Kenyi Juan² ; Velarde Loayza, Pamela Elizabeth³ 
^{1,2,3} Universidad Tecnológica del Perú, Perú, jhondiazc72@gmail.com, U17305047@utp.edu.pe, pvelarde@utp.edu.pe

Abstract— In productive processes involving heat sources, such as boilers or steam equipment, workers are exposed to elevated thermal conditions that may pose risks to their health and work performance. For this reason, the present research aims to assess the level of heat stress among workers of a small-scale cheese enterprise located in the district of Chuquibamba, Arequipa, in order to determine the degree of occupational heat stress exposure. Environmental measurements were conducted in the pasteurization area, where three wood-fired steam boilers are installed, each capable of generating between 150 and 300 kg/h of steam, operating at an approximate pressure of 8 to 10 Pa and reaching temperatures of up to 180 °C. The assessment was carried out with the participation of two workers, who were monitored during morning and afternoon shifts to record thermal variations throughout the working day. Environmental measurements were taken in the boiler area, with the highest temperatures recorded at head and chest height of the workers. Globe temperature values ranged between 36 °C and 42.8 °C, indicating a significant accumulation of radiant heat. Based on these data, an average Wet Bulb Globe Temperature (WBGT) value of 30.05 °C was calculated, exceeding the permissible limit of 28 °C established for moderate-intensity work according to Technical Guideline No. 2 of Supreme Decree (D.S.) 024-2016-EM. In addition, the metabolic rate of the worker was estimated considering the physical activities performed during the pasteurization process, including firewood handling, boiler supervision, and controlled shutdown operations, resulting in a value of 212.4 kcal/h, corresponding to moderate activity. The results confirm the presence of heat stress, which, combined with the metabolic heat generated by work activities, represents a moderate level of thermal load for the workers. Therefore, the implementation of a mechanical ventilation system equipped with a 2.28 HP motor, capable of providing a constant airflow of 3.4 m³/s, is proposed. Additionally, a program of periodic rest breaks and continuous provision of cold drinking water is recommended in order to reduce thermal load and preserve workers' health and well-being. The objective of this study is to assess the level of heat stress in workers of a small-scale cheese enterprise using the WBGT index, in order to propose mitigation measures to reduce thermal load in the workplace.

Keywords—heat stress, occupational safety, index wbgt, thermal discomfort

Evaluación y mitigación de estrés térmico en trabajadores de la microempresa quesera: Estudio de caso Chuquibamba, Arequipa -2025

Díaz Carpio, Jhon Ferando¹ ; Cáceres Díaz, Kenyi Juan² ; Velarde Loayza, Pamela Elizabeth³ 
^{1,2,3} Universidad Tecnológica del Perú, Perú, jhondiazc72@gmail.com, U17305047@utp.edu.pe, pvelarde@utp.edu.pe

Resumen- En los procesos productivos donde intervienen fuentes de calor, como calderas o equipos de vapor, los trabajadores se encuentran expuestos a condiciones térmicas elevadas que pueden generar riesgos para su salud y desempeño laboral. El presente trabajo, va evaluar el nivel de estrés térmico en los trabajadores de una microempresa quesera, con el fin de determinar el grado de exposición de estrés térmico. Por el cual se efectuaron mediciones ambientales en el área de pasteurización, en tres calderas a vapor alimentadas con leña, capaces de generar entre 150 y 300 kg/h de vapor, operando a una presión aproximada de 8 a 10 Pa y alcanzando temperaturas de hasta 180 °C. La evaluación realizada a dos trabajadores se debe a que solo ellos participan en el proceso de pasteurización. Por ello, la muestra se limita y se reconoce como una limitación del estudio, asociada al tamaño y organización de la empresa, durante la medición se registraron las mayores temperaturas a la altura de la cabeza y el pecho del trabajador, con valores de globo entre 36 °C y 42.8 °C, lo que evidencia una intensa acumulación de radiación térmica. Y se calculó un valor promedio de WBGT (Wet Bulb Globe Temperature) que resultó 30.05 °C, superando el límite permisible de 28 °C establecido para labores de intensidad moderada según la Guía Técnica N.º 2 del D.S. 024- 2016-EM. Asimismo, se estimó el gasto metabólico del operario considerándose traslado de leña, supervisión y apagado controlado de la caldera, obteniéndose un valor de 212.4 Kcal/h, correspondiente a una actividad moderada. Por ello, se propone implementar un sistema de ventilación mecánica con un motor de 2.28 HP, capaz de generar un caudal de aire constante de 3.4 m³/s, y pausas periódicas de descanso y la provisión continua de agua fría, con el fin de reducir la carga térmica y preservar la salud y el bienestar del personal. El objetivo de la presente investigación es evaluar el nivel de estrés térmico en trabajadores de una microempresa quesera mediante el índice WBGT, para proponer medidas de mitigación que reduzcan la carga térmica en el ambiente laboral.

Palabras clave – estrés térmico, seguridad ocupacional, índice wbgt, incomodidad térmica

I. INTRODUCCION

La Organización Internacional del Trabajo (OIT) y diversas investigaciones internacionales [1], [2] han demostrado que la exposición prolongada a altas temperaturas no solo ocasiona problemas cardiovasculares, renales y metabólicos, también incrementa el agotamiento, la deshidratación y los riesgos de accidentes laborales. En este contexto, sectores económicos como son la agricultura, la construcción y la industria alimentaria si presentan contacto directo con fuentes intensas de calor [3], [4]. Estudios

realizados en Asia y Medio Oriente, han evidenciado que la exposición a temperaturas superiores a los 30 °C reduce significativamente la productividad y aumenta la fatiga, así como los errores en el trabajo debido al deterioro del bienestar cognitivo [5], [6]. De manera similar, trabajadores de fábricas de cerámica y de industrias alimentarias presentan síntomas frecuentes de agotamiento, mareos y espasmos musculares asociados a la acumulación de calor [7]. A nivel nacional, señalan que los trabajadores de microempresas alimentarias enfrentan condiciones térmicas adversas debido a espacios reducidos, ventilación deficiente y maquinaria en funcionamiento constante [8]. En la región de Arequipa, aproximadamente el 35 % de los trabajadores del sector se ven afectados por el calor extremo, lo que genera una reducción de hasta un 30 % en la productividad y un aumento de síntomas como sudoración excesiva, cefalea y fatiga general [9], [10]. Estos hallazgos coinciden con estudios internacionales que establecen que la productividad disminuye en promedio un 2.6 % por cada grado centígrado por encima de los 24 °C [11]. Metodologías basadas en índices térmicos como el WBGT, el HSI (Heat Stress Index) y el TLV (Threshold Limit Value) se utilizan para evaluar los riesgos asociados a la carga térmica [12], [13]. Aunque el WBGT es uno de los métodos más utilizados, investigaciones recientes destacan que no siempre refleja de manera integral las condiciones de humedad, radiación y gasto metabólico, lo que puede generar márgenes de error en la evaluación de riesgo térmico [14], [15]. Asimismo, se ha reportado que características como la edad, la obesidad y el tipo de vestimenta del trabajador influyen en la percepción y tolerancia al calor [16], [17]. En este escenario, las microempresas queseras de la región de Arequipa constituyen un sector particularmente vulnerable. Sus procesos artesanales incluyen el uso de calderas a leña y pailas de pasteurización que alcanzan temperaturas superiores a los 60 °C, lo que incrementa la acumulación de calor en espacios con ventilación limitada [18]. Sin embargo, la literatura científica muestra un vacío respecto a investigaciones aplicadas a este tipo de entornos laborales, ya que la gran mayoría de casos de estudios se centran en industrias de mayor escala como la construcción o la manufactura [19], [20].

II. METODOLOGÍA

La presente investigación se desarrolla como un estudio de caso de tipo descriptivo, con enfoque cuantitativo, diseño no experimental y de corte transversal, aplicado a la

evaluación del estrés térmico mediante el índice WBGT en trabajadores de una microempresa quesera.

2.1 Identificación de fuentes de calor

Durante la observación inicial, se reconocerá los principales equipos y procesos que generan calor, tales como la caldera a vapor, las pailas de pasteurización y la maquinaria operativa. Se evaluará además la radiación solar directa, en áreas sin protección. Esta información permitirá determinar los elementos que generan mayor carga térmica y servirá de insumo para la evaluación con el índice WBGT.

2.2 Análisis de las condiciones físicas del espacio de trabajo

Se registrará la distribución de los ambientes, el tamaño de las áreas de trabajo y los materiales de construcción que influyen en la retención o disipación de calor. Se verificará la presencia o ausencia de ventilación natural y artificial, así como su funcionalidad en la reducción de calor.

2.3 Selección y utilización de instrumentos validados

Para medir el nivel de estrés térmico se aplicará el índice WBGT, se emplearán instrumentos certificados (termómetro de globo, termómetro de bulbo húmedo y termómetro de aire), el Termohigrómetro ambiental, marca INLITE, modelo ITEM.

2.4 Observación de la actividad laboral y estimación del gasto metabólico

Se observarán y registrarán las tareas realizadas por los trabajadores en las áreas operativas (manejo de caldera para el proceso de pasteurizado de la leche). Con base en estas actividades se estimará el gasto metabólico, utilizando las tablas de referencia de la Guía Técnica [21] que clasifican la intensidad del trabajo como ligero, moderado o pesado.

En la Tabla I podemos apreciar valores de referencia que permiten calcular el gasto metabólico de los trabajadores en función de la posición corporal y el tipo de movimiento realizado durante la jornada laboral, expresado en Kcal/min en el cual se debe analizar la intensidad del propio del trabajo se considera el tipo de trabajo ejecutado y la parte del cuerpo involucrada.

Tabla I
ESTIMACIÓN DEL CONSUMO METABÓLICO (M) – ADAPTADO DE [21]

A. Posición y Movimiento del cuerpo			
		Kcal/min	
Sentado		0.3	
De pie		0.6	
Andando		2.0 - 0.3	
Subida de una pendiente andando		Añadir 0.8 por m de subida	
B. Tipo de trabajo			
Parte de cuerpo	Intensidad	Media	Rango
		Kcal/min	Kcal/min
Trabajo Manual	Ligero	0.4	0.2 - 1.2
	Pesado	0.9	
Trabajo con un Brazo	Ligero	1.0	0.7 - 2.5
	Pesado	1.8	
Trabajo con dos Brazos	Ligero	1.5	1.0 - 3.5
	Pesado	2.5	
Trabajo con el Cuerpo	Ligero	3.5	2.5 - 15.0

	Moderado	5.0	
	Pesado	7.0	
	Muy Pesado	9.0	
C. Gasto Metabólico Basal			
1 kcal/min			

A continuación, la Tabla II clasifica la intensidad del trabajo en función del gasto metabólico expresado en kilocalorías por hora (Kcal/h), permitiendo relacionar el esfuerzo físico realizado con categorías de intensidad de trabajo.

Tabla II
INTENSIDAD DEL TRABAJO RESPECTO AL GASTO METABÓLICO EN KCAL/HORA – ADAPTADO DE [21]

Gasto Metabólico (Kcal/hr)	Categoría de Intensidad del Trabajo	Ejemplo de Actividad
<100	Descanso	Sentado
100 - 200	Ligero	Sentado con trabajo ligero con las manos y los brazos, etc.
200 - 300	Moderado	Trabajo constante moderado con las manos y brazos, etc.
300 - 400	Pesado	Trabajo intenso con manos y tronco, excavación manual, caminando rápidamente, etc.
>400	Muy Pesado	Actividad muy intensa

2.5 Cálculo del índice WBGT y comparación con límites permisibles

A partir de las mediciones ambientales en exteriores se calculará el índice WBGT en las zonas caldera a vapor. El cálculo considerará las condiciones ambientales, el tipo de actividad física ejecutada por los trabajadores como lo describe la Tabla III. Los valores obtenidos se compararán con los límites permisibles establecidos en la norma ISO 7243 y la Guía Técnica N.º 2, con el fin de determinar el nivel de carga térmica existente.

Tabla III
VALORES LÍMITES DE REFERENCIA PARA ESTRÉS TÉRMICO – ADAPTADO DE [21]

Ubicación del trabajo dentro de un ciclo de trabajo-descanso	Valor Límite (TGBH en °C)			
	Ligero	Moderado	Pesado	Muy Pesado
75% a 100%	31	28	...	...
50% a 75%	31	29	27.5	...
25% a 50%	32	30	29	28
0% a 25%	32.5	31.1	30.5	30
	Nivel de Acción (TGBH en °C)			
	Ligero	Moderado	Pesado	Muy pesado
75% a 100%	28	25	...	...
50% a 75%	28.5	26	24	...
25% a 50%	29.5	27	25.5	24.5
0% a 25%	30	29	28	27

2.6 Procesamiento de datos

Los datos recopilados se analizarán en función del WBGT, el tipo de actividad, el tiempo de exposición y la vestimenta de los trabajadores. Este análisis permitirá clasificar el nivel de

exposición como aceptable, moderado o peligroso. Los resultados finales evidenciarán de forma objetiva el grado de riesgo térmico en el ambiente laboral y servirán como base para recomendar medidas correctivas o de mitigación. Menciona [21] que las distintas variaciones van en relación con las condiciones de trabajo con intervalos de tiempo durante la jornada laboral, el cálculo del consumo metabólico en el cual se representa de las siguientes fórmulas:

$$WBGT = \frac{\sum_{i=1}^n WBGT_i X t_i}{\sum_{i=1}^n t_i} \quad (1)$$

$$M = \frac{\sum_{i=1}^n M_i X t_i}{\sum_{i=1}^n t_i} \quad (2)$$

La ecuación [21] de régimen de trabajo planificado y descanso programado cuando existe riesgo eminente de estrés térmico para que se pueda establecer un descanso donde el cuerpo humano logre restablecer el balance ideal térmico del trabajador.

$$ft = \frac{(A-B)}{(C-D)+(A-B)} \times 60 \left(\frac{\text{minutos}}{\text{hora}} \right) \quad (3)$$

Siendo:

Ft = Fracción de tiempo de trabajo respecto al total (indica los minutos a trabajar por cada hora)

A = TGBH límite en el descanso (M < 100 Kcal/h.)

B = TGBH en la zona de descanso

C = TGBH en la zona de trabajo

D = TGBH límite en el trabajo

2.7 Diseño de cálculo del caudal de aire para extractores o ventiladores mecánicos

Con base en los resultados del análisis del índice WBGT y la identificación de las zonas con mayor acumulación de calor, se propondrá la instalación de extractores o ventiladores mecánicos en los ambientes donde se haya observado una ventilación deficiente o inexistente, como las áreas de pasteurización y caldera a vapor.

2.8 Programa de pausas breves en ambientes más frescos

De acuerdo con los niveles de carga térmica calculados mediante el índice WBGT, se recomendará la implementación de pausas breves en ambientes más frescos durante la jornada laboral.

III. RESULTADOS

3.1 Identificación de fuentes de calor

Se evidenció la presencia de equipos que generan calor significativo, principalmente las tres (03) calderas a vapor utilizadas para el proceso de pasteurización de la leche. Estas calderas funcionan por la combustión de la leña, lo que implica una combustión continua y la emisión de altas

temperaturas en el área de trabajo. Entre sus características técnicas destacan: una capacidad de producción de vapor de 150 a 300 kg/h, una presión de trabajo aproximada de 8 a 10 Pa, y una temperatura de generación de vapor que oscila entre 170 °C y 180 °C. Asimismo, cuentan con cámara de combustión de acero reforzado, alimentación manual de leña, y chimeneas metálicas para la evacuación de gases de combustión.

3.2 Condiciones físicas del espacio de trabajo

Los ambientes destinados al proceso de pasteurización presentan un tamaño reducido y una infraestructura básica, construida con materiales que favorecen la acumulación de calor. En las imágenes se observa la presencia de tres calderas a vapor a vapor (1, 2 y 3), cuyos cuerpos metálicos alcanzan temperaturas entre 120 °C y 180 °C, irradiando calor de forma constante hacia el entorno. En el área circundante se identificó la acumulación de leña para la alimentación de las calderas, lo que no solo incrementa el riesgo de incendio, sino que también restringe la movilidad del personal. Asimismo, se constató la ausencia de ventilación mecánica y la presencia únicamente de mallas de sombra como medida de protección frente a la radiación solar, lo cual resulta insuficiente para reducir la carga térmica en el ambiente laboral.

3.3 Medición de variables ambientales en zonas críticas

Las mediciones se realizaron en los puntos de mayor exposición al calor, principalmente en el área de la caldera a vapor destinada al proceso de pasteurización de la leche. Los resultados evidenciaron variaciones térmicas significativas a lo largo del día, confirmando que el área de la caldera concentra las condiciones más críticas de exposición como se muestra en la Tabla IV.

Tabla IV
MEDICIONES AMBIENTALES DEL LUGAR DE TRABAJO

Medición a la altura de la cabeza del trabajador	Temperatura (°C)
Temperatura de Globo	36
Temperatura de Seco (aire)	22
Temperatura de bulbo Húmedo	25
Medición a la altura de pecho del trabajador	Temperatura (°C)
Temperatura de Globo	40
Temperatura de Seco (aire)	24
Temperatura de bulbo Húmedo	28
Medición a la altura de pie del trabajador	Temperatura (°C)
Temperatura de Globo	35
Temperatura de Seco (aire)	23
Temperatura de bulbo Húmedo	26

3.4 Secuencia de la actividad laboral y estimación del gasto metabólico

Estas labores se caracterizaron por un esfuerzo físico continuo, que al ser contrastado con las tablas de la Guía Técnica [21] que permite estimar un gasto metabólico clasificado entre ligero, moderado y pesado. Este nivel de exigencia física, sumado a las condiciones térmicas registradas, aumenta de manera considerable la vulnerabilidad de los trabajadores frente al estrés térmico ocupacional.

3.5 Cálculo del índice WBGT y comparación con límites permisibles

Para el cálculo de ciclo de trabajo, es necesario observar la Tabla V donde describe las actividades metabólicas, es decir el desarrollo de sus actividades físicas durante toda la ejecución de su jornada laboral.

Tabla V
DESCRIBE LAS ACTIVIDADES METABÓLICAS Y EL TIEMPO TOTAL
REQUERIDO

Actividad metabólica	Tiempo en minutos
Actividad 1) Traslado manualmente de troncos de madera y aserrín desde el área de almacenamiento hasta la caldera.	5 minutos.
Actividad 2) Supervisión de la presión y temperatura de la caldera.	30 minutos.
Actividad 3) Supervisión que la combustión de la caldera se apague de manera controlada y segura.	10 minutos
Tiempo total de la actividad metabólica	45 minutos

Para el desarrollo del cálculo del ciclo de trabajo, en primer lugar, se suma el tiempo total correspondiente a las actividades identificadas en la Tabla V. Posteriormente, se aplica una regla de correspondencia en porcentaje (%), establecida en función del tiempo total de todas las actividades, con el fin de calcular el porcentaje que representa cada actividad registrada como lo muestra la Tabla VI.

Tabla VI
CÁLCULO DEL CICLO DE TRABAJO EN % EN FUNCIÓN AL TIEMPO POR CADA ACTIVIDAD

Ciclo de trabajo (%)	
Actividad 1: 11.11	
Actividad 2: 66.66	
Actividad 3: 22.22	
TOTAL	100

Luego para la estimación del consumo metabólico del trabajador, aplicamos la Tabla I para cada una de las actividades realizadas, como es el caso de la actividad 1, actividad 2 y actividad 3 como lo muestra la Tabla V, interpretando dichas Tablas como la posición del cuerpo, movimiento y el tipo de trabajo se logra estimar el consumo metabólico por cada una de las actividades en Kcal/min como lo muestra la Tabla VII.

Tabla VII
ESTIMACIÓN DE CONSUMO METABÓLICO POR ACTIVIDAD FÍSICA

Consumo metabólico (Kcal/min)
Actividad 1: 3.2
Actividad 2: 4.4
Actividad 3: 1.1

Con los datos obtenidos se procede a calcular la sumatoria de las actividades, información proporcionada por

la Tabla VI y VII, representado la sumatoria de la siguiente manera.

$$\sum actividades = [(11.11 * 3.2) + (66.66 * 4.4) + (22.22 * 1.1)] + 1$$

$$\sum actividades = 3.54 (\%)$$

Luego de obtener dicha sumatoria de actividades procedemos a cálculo estimado del consumo metabólico:

$$M=3.54*60\text{min}= 212.4 \text{ (categoría moderada según Tabla II)}$$

En la Tabla VIII se muestra la comparación que brinda entre el resultado obtenido del índice de estrés térmico (WBGT) y el valor límite establecido por el D.S. N.º 024-2016-EM – Guía Técnica N.º 2, con el fin de determinar el nivel de riesgo térmico en el área trabajo.

TABLA VIII
RESULTADO DE MEDICIONES AMBIENTALES DE WBGT

Evaluación	I			
Código	ET-01			
Fecha	2025-09-14			
Área de trabajo	Área de pasteurizado			
Puesto de trabajo	Encargado de pasteurizado			
Inicio de muestreo y fin	06:47AM			
	0 3:00 PM			
Agente ocupacional	ITEM	UNIDAD	Resultados WBGT	75% de trabajo 25% descanso
Consumo Metabólico	Gasto Calórico total del puesto de trabajo	(Kcal/hora)	270.00	
Estrés térmico	Temperatura de globo	Cabeza °C	36	
		Pecho °C	22	
		Pies °C	25	
	Temperatura de bulbo seco	Cabeza °C	40	
		Pecho °C	24	
		Pies °C	28	
	Temperatura de bulbo húmedo	Cabeza °C	35	
		Pecho °C	23	
		Pies °C	26	
	WBGT	°C	30.05	28.74

Después de los resultados de que muestra la Tabla VIII, es necesario determinar la fracción de trabajo o fracción de descanso, dado que existe riesgo por estrés térmico con el fin de establecer un tiempo de descanso.

$$ft(\text{factor de tiempo}) = \frac{(30.5 - 30.05)}{(30.5 - 28.74)} \times 60 \left(\frac{\text{minutos}}{\text{hora}} \right)$$

$$ft = 15.34$$

$$59.85 = \frac{(30.5 - B)}{(30.05 - 30) + (30.5 - B)} \times 60 \left(\frac{\text{minutos}}{\text{hora}} \right)$$

$$B(\text{tiempo de descanso}) = 10.55$$

Con la fracción de descanso se recomienda 10 minutos de descanso en el cual puede ser fraccionado en total de las actividades que se registraron en la Tabla VII, con el fin de prevenir que no supere los límites máximos permisibles y evitar de manera preventiva el estrés térmico.

La Figura 1 muestra la variación del minuto a minuto de las temperaturas registradas durante la primera medición de 15 minutos, periodo que permite obtener valores representativos del comportamiento térmico del ambiente, efectuada en el área de caldera a vapor, correspondiente al proceso de pasteurización de la leche. Las mediciones se realizaron a la altura promedio de la cabeza del trabajador. De acuerdo con los datos consignados en la Tabla IX, se observa que los valores del sensor de globo son los más elevados, alcanzando temperaturas entre 29.1 °C y 40.0 °C. En contraste, los valores del sensor seco se mantienen entre 20.9 °C y 23.1 °C, representando la temperatura del aire sin humedad y mostrando una menor variación térmica. Por su parte, los registros del sensor húmedo fluctúan entre 23.8 °C y 26.4 °C, lo que indica una humedad ambiental, sin incrementos significativos durante el periodo de observación. En consecuencia, los valores calculados, se ubican en rangos promedio de 27.0 °C a 29.9 °C, demostrando una tendencia ascendente conforme avanza el tiempo de exposición. Esta progresión refleja el aumento gradual de la carga térmica en el ambiente de trabajo a medida que la caldera mantiene su funcionamiento continuo.

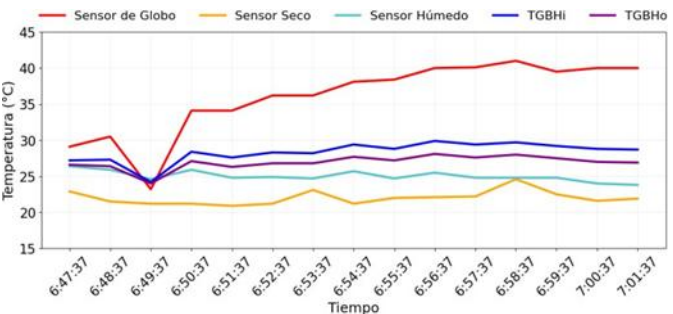


Fig. 1 Variación de temperatura registrada durante la primera medición del estrés térmico (altura de cabeza del trabajador).

La Tabla IX presenta el registro detallado de las variables térmicas obtenidas durante la primera medición realizada el 14 de septiembre de 2025, las mediciones se efectuaron a la altura promedio de la cabeza del trabajador

Tabla IX REGISTRO A LA ALTURA PROMEDIO DE LA CABEZA DEL TRABAJADOR						
ID	HORA	Termómetro Globo (°C)	Termómetro Seco (°C)	Termómetro Húmedo (°C)	TGBHi (°C)	TGBHo (°C)
1	14/09/2025 06:47:37	29.1	22.9	26.4	27.2	26.6
2	14/09/2025 06:48:37	30.5	21.5	25.9	27.3	26.4
3	14/09/2025 06:49:37	23.2	21.2	24.6	24.2	24.0

4	14/09/2025 06:50:37	34.1	21.2	25.9	28.4	27.1
5	14/09/2025 06:51:37	34.1	20.9	24.8	27.6	26.3
6	14/09/2025 06:52:37	36.2	21.2	24.9	28.3	26.8
7	14/09/2025 06:53:37	36.2	23.1	24.7	28.2	26.8
8	14/09/2025 06:54:37	38.1	21.2	25.7	29.4	27.7
9	14/09/2025 06:55:37	38.4	22	24.7	28.8	27.2
10	14/09/2025 06:56:37	40.0	22.1	25.5	29.9	28.1
11	14/09/2025 06:57:37	40.1	22.2	24.8	29.4	27.6
12	14/09/2025 06:58:37	41.0	24.6	24.8	29.7	28.0
13	14/09/2025 06:59:37	39.5	22.5	24.8	29.2	27.5
14	14/09/2025 07:00:37	40.0	21.6	24.0	28.8	27.0
15	14/09/2025 07:01:37	40.0	21.9	23.8	28.7	26.9

La Figura 2 muestra las temperaturas obtenidas durante la segunda medición de 15 minutos, efectuada en el área de caldera a vapor durante el proceso de pasteurización de la leche. En esta ocasión, las mediciones se realizaron a la altura del pecho del trabajador. De acuerdo con los registros consignados en la Tabla X, se observa un incremento general de las temperaturas respecto a la primera medición, alcanzando valores del sensor de globo entre 37.8 °C y 42.8 °C, lo que refleja una mayor exposición a la radiación térmica directa debido al aumento progresivo del calor emitido por las calderas en funcionamiento continuo. Los valores de los sensores seco y húmedo varían entre 22.8 °C y 25.6 °C, evidenciando una temperatura ambiente estable, aunque con ligera elevación de temperatura de húmedo, lo que sugiere una mayor retención de calor en el entorno cercano al trabajador. El análisis de los valores calculados de TGBHi y TGBHo, que oscilan entre 29.5 °C y 32.4 °C, confirma una tendencia térmica ascendente en comparación con la primera medición. En conjunto, la Figura 7 evidencia que la altura de pecho presenta una acumulación térmica más intensa que la registrada a la altura de la cabeza, debido a la proximidad directa con las fuentes de calor.

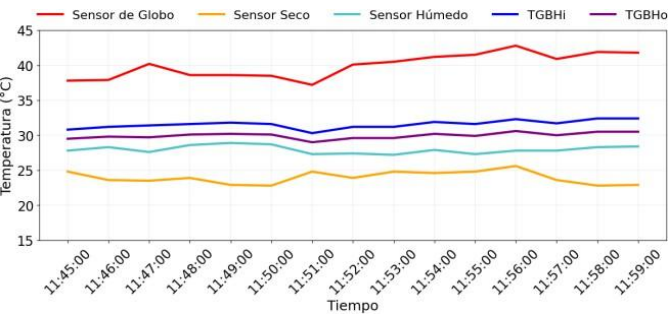


Fig. 2 variación de temperatura registrada durante la segunda medición del estrés térmico (altura de pecho del trabajador).

La Tabla X presenta el registro detallado de las variables térmicas obtenidas de las mediciones efectuadas a la altura promedio del pecho del trabajador. El registro muestra la variación de las condiciones térmicas en el ambiente laboral, con valores de temperatura de globo comprendidos entre 37.8 °C y 42.8 °C, y temperaturas de aire seco y húmedo que fluctúan entre 22.8 °C y 25.6 °C. Los valores de TGBHi y TGBHo se sitúan en rangos de 29.5 °C a 32.4 °C, lo que evidencia una acumulación térmica mayor que en la primera

medición Tabla IX, debido a la proximidad del punto de medición a las fuentes de calor. Estos datos constituyen la base de información utilizada para la Figura 7, que representa gráficamente la evolución de las temperaturas registradas durante la segunda medición y su relación con el incremento de la carga térmica en el entorno de trabajo.

Tabla X

REGISTRO A LA ALTURA PROMEDIO DEL PECHO DEL TRABAJADOR

ID	HORA	Termómetro Globo (°C)	Termómetro Seco (°C)	Termómetro Húmedo (°C)	TGBHi (°C)	TGBHo (°C)
1	14/09/2025 11:45:00	37.8	24.8	27.8	30.8	29.5
2	14/09/2025 11:46:00	37.9	23.6	28.3	31.2	29.8
3	14/09/2025 11:47:00	40.2	23.5	27.6	31.4	29.7
4	14/09/2025 11:48:00	38.6	23.9	28.6	31.6	30.1
5	14/09/2025 11:49:00	38.6	22.9	28.9	31.8	30.2
6	14/09/2025 11:50:00	38.5	22.8	28.7	31.6	30.1
7	14/09/2025 11:51:00	37.2	24.8	27.3	30.3	29.0
8	14/09/2025 11:52:00	40.1	23.9	27.4	31.2	29.6
9	14/09/2025 11:53:00	40.5	24.8	27.2	31.2	29.6
10	14/09/2025 11:54:00	41.2	24.6	27.9	31.9	30.2
11	14/09/2025 11:55:00	41.5	24.8	27.3	31.6	29.9
12	14/09/2025 11:56:00	42.8	25.6	27.8	32.3	30.6
13	14/09/2025 11:57:00	40.9	23.6	27.8	31.7	30.0
14	14/09/2025 11:58:00	41.9	22.8	28.3	32.4	30.5
15	14/09/2025 11:59:00	41.8	22.9	28.4	32.4	30.5

Tercera medición de 15 minutos, efectuada en el área de caldera a vapor durante el proceso de pasteurización de la leche, se realizaron a la altura de los pies del trabajador. De acuerdo con los registros consignados en la Tabla XI, los valores del sensor de globo se ubican entre 34.1 °C y 35.6 °C, ligeramente menores respecto a la segunda medición, lo que indica una disminución parcial de la radiación térmica directa en la zona baja, posiblemente debido a la distancia con las partes superiores más calientes de las calderas. Las lecturas de los sensores seco y húmedo se mantienen entre 21.8 °C y 24.3 °C, mostrando una menor variación térmica y una humedad ambiental más estable. En cuanto a los valores de TGBHi y TGBHo, estos se sitúan entre 27.2 °C y 29.2 °C, lo que refleja una exposición térmica moderada, inferior a las registradas en las mediciones a nivel de pecho y cabeza. Este comportamiento confirma que la acumulación de calor es más intensa en las zonas superiores del cuerpo, donde la radiación y el aire caliente tienden a concentrarse (Figura 3).

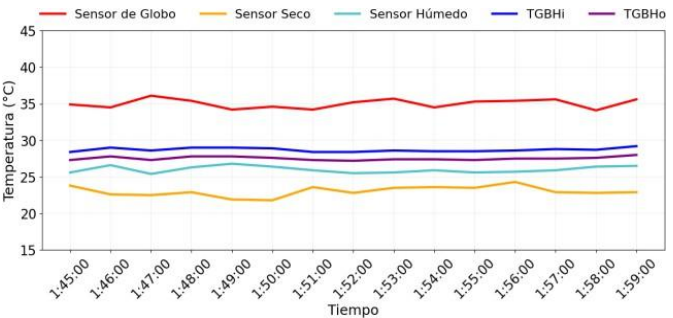


Fig. 3 Variación de temperatura registrada durante la tercera medición del estrés térmico (altura de pies del trabajador).

La Tabla XI presenta el registro de las mediciones se efectuaron a la altura promedio de pies del trabajador, utilizando un termohigrómetro ambiental marca INLITE, modelo ITEMP, equipado con cinco sensores que registraron de forma simultánea la temperatura de globo (°C), temperatura seca (°C), temperatura húmeda (°C), TGBHi (°C) y TGBHo (°C). El registro muestra las condiciones térmicas en el ambiente laboral, con valores de temperatura de globo comprendidos entre 34.1 °C y 35.6 °C, y temperaturas de aire seco y húmedo que fluctúan entre 21.8 °C y 24.3 °C. Los valores calculados de TGBHi y TGBHo se ubican entre 27.2 °C y 29.2 °C, lo que evidencia una reducción moderada de la carga térmica en comparación con las mediciones efectuadas a la altura de cabeza y pecho.

Estos datos constituyen la base de información utilizada para la Figura 8, que representa gráficamente la evolución térmica registrada durante la tercera medición y permite analizar el comportamiento del gradiente de temperatura vertical en el área de caldera.

Tabla XI

REGISTRO A LA ALTURA PROMEDIO DE PIES DEL TRABAJADOR

ID	HORA	Termómetro Globo (°C)	Termómetro Seco (°C)	Termómetro Húmedo (°C)	TGBHi (°C)	TGBHo (°C)
1	14/09/2025 1:45:00	34.9	23.8	25.6	28.4	27.3
2	14/09/2025 1:46:00	34.5	22.6	26.6	29.0	27.8
3	14/09/2025 01:47:00	36.1	22.5	25.4	28.6	27.3
4	14/09/2025 01:48:00	35.4	22.9	26.3	29.0	27.8
5	14/09/2025 01:49:00	34.2	21.9	26.8	29.0	27.8
6	14/09/2025 01:50:00	34.6	21.8	26.4	28.9	27.6
7	14/09/2025 01:51:00	34.2	23.6	25.9	28.4	27.3
8	14/09/2025 01:52:00	35.2	22.8	25.5	28.4	27.2
9	14/09/2025 01:53:00	35.7	23.5	25.6	28.6	27.4
10	14/09/2025 01:54:00	34.5	23.6	25.9	28.5	27.4
11	14/09/2025 01:55:00	35.3	23.5	25.6	28.5	27.3
12	14/09/2025 01:56:00	35.4	24.3	25.7	28.6	27.5
13	14/09/2025 01:57:00	35.6	22.9	25.9	28.8	27.5
14	14/09/2025 01:58:00	34.1	22.8	26.4	28.7	27.6
15	14/09/2025 01:59:00	35.6	22.9	26.5	29.2	28.0

3.6 Análisis e interpretación de resultados

El análisis de las tres mediciones realizadas en el área de caldera a vapor permitió identificar la distribución térmica existente en el entorno laboral durante el proceso de pasteurización de la leche. Los registros obtenidos mediante el termohigrómetro ambiental marca INLITE, modelo ITEMP, reflejan la variación del microclima ocupacional en función de la altura de medición (cabeza, pecho y pies), proporcionando una visión integral del gradiente térmico al que se encuentra expuesto el trabajador encargado del pasteurizado.

De acuerdo con los valores consignados en las Tablas IX, X y XI, y las representaciones gráficas correspondientes a las Figuras 1, 2 y 3, se observa un comportamiento térmico ascendente desde la parte inferior hacia la superior del cuerpo

del trabajador. En la primera medición, realizada a la altura de la cabeza, la temperatura de globo osciló entre 29.1 °C y 40.0 °C, con valores de WBGT (TGBHi y TGBHo) que alcanzaron un promedio de 28.1 °C, evidenciando una carga térmica significativa en el entorno inmediato de trabajo. Durante la segunda medición, efectuada a la altura del pecho, las temperaturas de globo aumentaron hasta valores entre 37.8 °C y 42.8 °C, y el índice WBGT se situó entre 29.5 °C y 32.4 °C. Este comportamiento evidencia que la zona media del cuerpo constituye el punto de mayor exposición térmica, debido a su cercanía directa con las fuentes de calor y a la permanencia del trabajador frente a las calderas durante la supervisión del proceso. En la tercera medición, realizada a la altura de los pies, las temperaturas registradas fueron menores, con valores de globo entre 34.1 °C y 35.6 °C, y un índice WBGT entre 27.2 °C y 29.2 °C. Esta reducción térmica en la parte inferior del cuerpo confirma la presencia de un gradiente vertical de calor, donde el aire caliente y la radiación se concentran en los niveles superiores del ambiente, mientras que en la parte baja existe una menor acumulación térmica.

Comparando los resultados obtenidos, se determina que el mayor nivel de exposición térmica se concentra entre la altura del pecho y la cabeza del trabajador, coincidiendo con la zona de mayor proximidad a las fuentes de calor, como calderas, vapor y superficies metálicas calientes. Este hallazgo no solo describe una diferencia de temperatura por altura, sino que demuestra que la exposición térmica del trabajador no es uniforme, sino que varía según la postura, la cercanía al foco emisor y el tiempo de permanencia en cada actividad del proceso. En consecuencia, el trabajador se encuentra sometido a un nivel de estrés térmico de moderado a alto para actividades de tipo moderado, condición que exige la aplicación de medidas de control, como pausas programadas, ventilación y disponibilidad de agua para hidratación.

Las tres mediciones confirman que el área de caldera presenta condiciones térmicas elevadas, donde la radiación directa y la deficiente ventilación son los principales factores que incrementan la carga térmica. La Figura 4 presenta la comparación gráfica entre el valor obtenido del índice de estrés térmico (WBGT) y el valor límite permisible. El valor promedio del índice WBGT, correspondiente a las tres mediciones realizadas (cabeza, pecho y pies), es de 30.05 °C, el cual se deriva del procesamiento automático de los datos registrados en campo mediante el termohigrómetro ambiental marca INLITE, modelo ITEMP, superando el límite recomendado de 28 °C. La superación de este límite indica que el ambiente evaluado representa una condición de riesgo térmico para el trabajador, ya que la carga de calor generada por el entorno y por la actividad física desarrollada puede alterar su tolerancia fisiológica, favorecer la fatiga y disminuir su capacidad de respuesta durante la jornada laboral. Por tanto, el problema identificado no se limita a una condición de incomodidad térmica, sino que constituye una exposición ocupacional que requiere intervención, para reducir la probabilidad de efectos adversos en la salud y el desempeño del personal.



Fig. 4 Comparación del valor promedio obtenido por las mediciones realizadas (tres mediciones) del índice WBGT registradas mediante el termohigrómetro INLITE modelo ITEMP, con el límite permisible.

3.7 Propuesta de mitigación del estrés térmico

Cálculo de metros cúbicos de aire por hora debe extraer el sistema para mantener un flujo constante de aire.

a) Cálculo para el caudal de aire requerido

$$Q = V \times N \quad (4)$$

Donde:

- V= volumen = Largo x Ancho x Alto= 17 x 10 x 6= 1020 m³.
- N= recambios por hora se adopta 12 ACH (Air Changes per Hour) para ambientes industriales con carga térmica, en función del volumen del área calculado y control térmico en áreas con carga por calderas.

Entonces: Para 12 recambios

$$Q = 1020 \times 12 = 12240 \text{ m}^3/\text{h}$$

ó

$$Q = \frac{12240}{3600} = 3.4 \text{ m}^3/\text{s}$$

b) Cálculo del área del conducto principal

Cálculo del área del conducto para transportar el caudal de aire determinado a una velocidad constante.

$$A = \frac{Q}{3600s \times v} \quad (5)$$

Donde: $v = 12 \text{ m/s}$

$$A = \frac{3.4 \text{ m}^3/\text{s}}{3600s \times 12 \text{ m/s}} = 0.2833 \text{ m}^2$$

c) Cálculo del diámetro del conducto

A partir del área calculada, se determina el diámetro equivalente del conducto circular.

$$d = \sqrt{\frac{4A}{\pi}} \quad (6)$$

$$d = \sqrt{\frac{4(0.2833\text{m}^2)}{\pi}} = 0.60006\text{m}$$

d) Cálculo de la potencia del ventilador

Potencia necesaria que necesita el motor para mover el aire de forma constante.

$$P = \frac{Q \times \Delta p}{\eta} \quad (7)$$

$$Q = 3.40\text{m}^3$$

$$\Delta p = 300\text{Pa} (\text{Pérdida total asumida})$$

$$\eta = 0.60 (\text{eficiencia del ventilador})$$

$$P = \frac{3.40\text{m}^3 \times 300\text{Pa}}{0.60} = 1700\text{W} \approx 2.28\text{HP}$$

La Tabla XII resume los parámetros técnicos del sistema de ventilación general diseñado para mantener un flujo constante de aire. Se obtuvo un caudal de 12 240 m³/h (12 ACH), que asegura una adecuada renovación del aire y control térmico en el área con calderas.

Tabla XII
RESUMEN DE PARÁMETROS PARA EL SISTEMA DE VENTILACIÓN (FLUJO
CONSTANTE DE AIRE)

Concepto	Resultado	Unidad
Volumen del recinto V	1 020	m ³
Recambios adoptados N	12	ACH (1/h)
Caudal general Q	12 240	m ³ /h
Caudal general Q (m ³)	3.40	m ³ /s
Velocidad en conducto v	12	m/s
Área del conducto A	0.2833	m ²
Diámetro equivalente d	0.6001	m (≈600)
Pérdida total asumida Δp	300	Pa
Potencia P	2.28	HP

3.8 Programa de pausas activas breves

De acuerdo con el factor de descanso calculado de 10.55 minutos puede aplicarse de forma continua o fraccionada según el proceso y las actividades del trabajador. Para este caso, se distribuye en dos pausas de 5 minutos al finalizar las actividades de mayor exigencia, permitiendo la recuperación térmica sin interrumpir el proceso, demostrado en los resultados de la fórmula 3, equivalente a un tiempo de descanso total de 10 minutos por cada ciclo de trabajo de 45 minutos, se establece el siguiente programa de pausas breves para el operario encargado del proceso de pasteurización, esta propuesta de distribución de tiempo de descanso como lo muestra la Tabla XIII.

Tabla XIII
PROGRAMA DE DESCANSO PROPUESTO PARA EL OPERARIO DEL ÁREA DE
CALDERA

Etapas del	Descripción de la	Duración (min)
------------	-------------------	----------------

proceso	actividad	
Actividad 1) Encendido de la caldera	Traslado y carga manual de troncos de madera y aserrín.	5 min
Descanso asignado	—	5 minutos de descanso (alejarse de la fuente de calor) al finalizar la actividad.
Actividad 2) Supervisión del proceso	Control continuo de presión y temperatura de la caldera.	30 min
Descanso asignado	—	5 minutos de descanso (alejarse de la fuente de calor) al finalizar la actividad.
Actividad 3) Apagado controlado	Cierre de válvulas, reducción de presión y enfriamiento del sistema.	10 min
Tiempo total de descanso	10 minutos de descanso	45 minutos de trabajo

3.9 Disponibilidad permanente de agua fría o hielo

Debido a que el valor promedio del índice WBGT obtenido (30.05 °C) supera el límite permisible de 28 °C para trabajos de intensidad moderada según la Guía Técnica [21], se establece como medida preventiva la disponibilidad permanente de agua fría o hielo para el consumo regular de los trabajadores durante la jornada laboral.

Esta medida busca compensar la pérdida de líquidos por sudoración y mantener la estabilidad térmica corporal en ambientes donde se registran condiciones de calor elevadas, especialmente en el área de caldera y pasteurización. El suministro deberá mantenerse en recipientes adecuados, ubicados en zonas frescas y accesibles, garantizando su reposición constante.

IV. DISCUSIÓN

El estudio de [22] demostró que la exposición prolongada a calor en panaderías eleva los parámetros hematológicos y reduce la capacidad de oxigenación. De manera similar [23] encontraron alteraciones significativas en los índices fisiológicos y en la percepción térmica subjetiva de operarios sometidos a calor industrial, resultados que explican las manifestaciones de fatiga. En cuanto a los límites críticos de exposición [24] determinaron que el umbral de tolerancia térmica varía según el metabolismo y el sexo, y que un incremento de 1 °C en el WBGT puede reducir el tiempo seguro de trabajo hasta en un 10 %, lo cual se aplica directamente a los valores de 30 °C registrados en esta investigación. El comportamiento térmico ambiental también coincide con lo señalado por [25], propusieron una ecuación empírica para estimar el WBGT a partir del índice de calor, evidenciando que pequeñas variaciones de temperatura y humedad pueden elevar rápidamente los niveles de estrés térmico. En la microempresa quesera, la humedad relativa superior al 60 % durante la jornada contribuyó a ese incremento, tal como se describe en modelos tropicales de

[26], donde el WBGT se incrementa entre 2 °C y 4 °C durante las horas de mayor insolación. Además, la correlación del WBGT con otros índices térmicos ha sido documentada por [27], quienes demostraron que este parámetro se asocia de forma significativa, validando su uso como indicador principal en ambientes laborales. Las implicaciones fisiológicas también son relevantes [28] identificaron una mayor prevalencia de trastornos renales en trabajadores expuestos a calor extremo en industrias metalúrgicas. En relación con la caracterización térmica ambiental, [29] emplearon el método de evaluación difusa y jerárquica para clasificar entornos según riesgo térmico, destacando la necesidad de considerar simultáneamente temperatura, humedad y velocidad del aire, en entornos urbanos densos, donde la configuración espacial y los materiales constructivos afectan la salud térmica de los trabajadores [30]. Esto demuestra que el microclima interior puede influir tanto como la fuente de calor industrial. Los efectos cognitivos y fisiológicos del calor descritos por [31], [32] indican que exposiciones prolongadas reducen la atención, aumentan la fatiga mental y alteran parámetros cardíacos. Asimismo, [33] evidenciaron que la mayoría de los empleados de fábricas de azúcar expuestos a WBGT superiores a 29 °C reportaron síntomas de agotamiento térmico y deshidratación. La ventilación constituye uno de los factores más influyentes en la dinámica térmica de los ambientes industriales y, según la evidencia reciente, su ausencia o ineficiencia es responsable de buena parte del incremento del WBGT observado en micro instalaciones productivas.[38] demostraron que la adaptación de los cronogramas de trabajo y descanso a la variabilidad fisiológica individual puede reducir la carga térmica corporal hasta en un 15 %, especialmente cuando se combina con una adecuada renovación de aire. Asimismo [31], [25] subrayan que los flujos de aire de 1.5 a 3.0 m/s favorecen la convección y reducen la temperatura de globo en 0.5 °C a 1.2 °C, mejora comparable a una disminución ambiental de 2 °C en el WBGT. En estudios aplicados por [34] verificó que la incorporación de sistemas de ventilación cruzada y extracción localizada en la industria del vidrio permitió mantener los valores de WBGT dentro de límites aceptables sin afectar el proceso térmico productivo. De modo similar, [35] evidenciaron que la integración de ventiladores portátiles inteligentes y biosensores permitió ajustar en tiempo real la intensidad del flujo de aire según la temperatura corporal del trabajador.

IV. CONCLUSIÓN

Con la realización de las mediciones de temperatura en el ambiente laboral de la microempresa quesera de Chuquibamba, se evidencia la presencia de estrés térmico en el área de calderas, donde el calor generado por el funcionamiento de los equipos incrementa la temperatura del entorno, en esta zona se obtuvo un índice WBGT promedio de 30.05 °C, valor que excede el límite máximo permisible de 28 °C establecido para trabajos de intensidad moderada. La

temperatura de globo alcanzó valores de hasta 42.8 °C, evidenciando que el funcionamiento de las calderas incrementa la carga térmica en el área de trabajo, junto con el esfuerzo físico requerido en tareas como el traslado de leña, la supervisión del proceso y el apagado controlado del equipo, se generó un gasto metabólico de 212.4 Kcal/h, correspondiente a una labor de intensidad moderada, lo que provocó una mayor demanda energética al organismo y la probabilidad de fatiga térmica si no se controlan adecuadamente los descansos y la hidratación. En función de estos resultados, se propone la implementación de un sistema de ventilación mecánica con un motor de 2.28 HP y un caudal de aire de 3.4 m³/s, destinado a mejorar la circulación del aire en las zonas próximas a las fuentes de calor.

REFERENCIAS

- [1] M. Morabito et al., "An occupational heat-health warning system for Europe: The HEAT-SHIELD platform," *Int J Environ Res Public Health*, vol. 16, no. 16, Aug. 2019, doi: 10.3390/ijerph16162890.
- [2] B. M. Varghese, A. Hansen, P. Bi, and D. Pisaniello, "Are workers at risk of occupational injuries due to heat exposure? A comprehensive literature review," *Dec. 01, 2018, Elsevier B.V.* doi: 10.1016/j.ssci.2018.04.027.
- [3] D. D. Karimov et al., "Influence of occupational risk factors on human aging (literature review)," 2022, Federal Scientific Center of Hygiene named after FF Erisman. doi: 10.47470/0016-9900-2022-101-4-375-381.
- [4] U. Ciuha et al., "Interaction between indoor occupational heat stress and environmental temperature elevations during heat waves," *Weather, Climate, and Society*, vol. 11, no. 4, pp. 755–762, Oct. 2019, doi: 10.1175/WCAS-D-19-0024.1.
- [5] A. Barzegar, A. B. Pouya, A. H. Hashemian, F. Nadri, M. Poursadeqian, and A. Omidian, "Validation of a temperature-humidity index (Humidex) in evaluating heat stress at a tile factory in Iran," *Work*, vol. 77, no. 3, pp. 883–889, Mar. 2024, doi: 10.3233/WOR-220514.
- [6] A. U. Abidin, A. L. Munawaroh, A. Rosinta, and A. T. Sulistiyan, "Heat stress in landfill environments: Evaluating worker exposure and occupational risks," *Case Studies in Chemical and Environmental Engineering*, vol. 11, Jun. 2025, doi: 10.1016/j.csee.2025.101097.
- [7] D. A. Tuarez García, C. Y. Erazo Solórzano, and P. A. Mestanza Segura, "Evaluación de las condiciones térmico-metabólicas en el área de producción de una empresa del cantón Quevedo – Ecuador y su incidencia en los trastornos sistémicos por calor," *Revista InGenio*, vol. 7, no. 1, pp. 25–42, Jan. 2024, doi: 10.18779/ingenio.v7i1.600.
- [8] A. Marucci, D. Monarca, M. Cecchini, A. Colantoni, S. Di Giacinto, and A. Cappuccini, "The heat stress for workers employed in a dairy farm," *Journal of Agricultural Engineering*, vol. 44, no. 4, pp. 170–174, 2013, doi: 10.4081/jae.2013.218.
- [9] A. Laouadi, "Physiological Indicators of Thermal Comfort: A Comprehensive Approach Using the Metabolic-Based Predicted Mean Vote Index," *Buildings*, vol. 14, no. 12, Dec. 2024, doi: 10.3390/buildings14123861.
- [10] G. A. Cortes-Tovar, R. Osorio-Hernandez, L. M. Guerra-García, M. Valenzuela-Mahecha, and O. L. García-Navarrete, "Assessment of thermal comfort in non-centrifugal cane sugar through WBGT index," *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, vol. 28, no. 11, 2024, doi: 10.1590/1807-1929/agriambi.v28n11e283735.
- [11] C. Melaku et al., "The Occupational Heat Exposure-related Symptoms prevalence and Associated Factors among Hospitality Industry Kitchen Workers in Ethiopia: Wet Bulb Globe Temperature.," *Saf Health Work*, Dec. 2024, doi: 10.1016/j.shaw.2024.08.002.

- [12] A. Barzegar, A. B. Pouya, A. H. Hashemian, F. Nadri, M. Poursadeqiyan, and A. Omidian, "Validation of a temperature-humidity index (Humidex) in evaluating heat stress at a tile factory in Iran," *Work*, vol. 77, no. 3, pp. 883–889, Mar. 2024, doi: 10.3233/WOR-220514.
- [13] A. Casanueva et al., "Escalating environmental summer heat exposure—a future threat for the European workforce," *Reg Environ Change*, vol. 20, no. 2, Jun. 2020, doi: 10.1007/s10113-020-01625-6.
- [14] H. O. Ahmed, J. A. Bindekhain, M. I. Alshuweih, M. A. Yunis, and N. R. Matar, "Assessment of thermal exposure level among construction workers in UAE using WBGT, HSI and TWL indices," *Ind Health*, vol. 58, no. 2, pp. 170–181, 2020, doi: 10.2486/INDHEALTH.2018-0259.
- [15] G. Charvalis et al., "Daily time series of 12 human thermal stress indices in Greece, aggregated at commune level (1998–2022)," *Data Brief*, vol. 58, p. 111264, Feb. 2025, doi: 10.1016/j.dib.2024.111264.
- [16] G. A. Gourzoulidis, F. Gofa, L. G. Ioannou, I. Konstantakopoulos, and A. D. Flouris, "Developing a Feasible Integrated Framework for Occupational Heat Stress Protection: A Step Towards Safer Working Environments," *Medicina del Lavoro*, vol. 114, no. 5, p. e2023043, Oct. 2023, doi: 10.23749/mdl.v114i5.14504.
- [17] M. Chowdhury, T. M. A. Ahsan, and M. S. Ahamed, "Assessment of health hazards of greenhouse workers considering UV exposure and thermal comfort," *Smart Agricultural Technology*, vol. 5, p. 100319, Oct. 2023, doi: 10.1016/J.ATECH.2023.100319.
- [18] A. Rachid and A. M. Qureshi, "Sensitivity Analysis of Heat Stress Indices," *Climate*, vol. 11, no. 9, p. 181, Sep. 2023, doi: 10.3390/cli11090181.
- [19] A. Hall and A. Horta, "Broad Scale Spatial Modelling of Wet Bulb Globe Temperature to Investigate Impact of Shade and Airflow on Heat Injury Risk and Labour Capacity in Warm to Hot Climates," *Int J Environ Res Public Health*, vol. 20, no. 15, p. 6531, Aug. 2023, doi: 10.3390/ijerph20156531.
- [20] T. E. Bernard, J. W. Flach, and C. D. Ashley, "Group Outcomes for Time-Weighted Averaging in WBGT-Based Heat Stress Exposure Assessment," *Ann Work Expo Health*, vol. 67, no. 3, pp. 345–353, Apr. 2023, doi: 10.1093/annweh/wxac083.
- [21] "GUÍA N° 2 MEDICIÓN DE ESTRÉS TÉRMICO," <https://www.gob.pe/institucion/osinergmin/normas-legales/741887-024-2016-em>
- [22] S. T. Al-Otaibi, "Hematological parameters in a population of male bakers exposed to high heat work environment," *PLoS One*, vol. 17, no. 9, p. e0274782, Sep. 2022, doi: 10.1371/journal.pone.0274782.
- [23] X. Meng, S. Xue, K. An, and Y. Cao, "Physiological Indices and Subjective Thermal Perception of Heat Stress-Exposed Workers in an Industrial Plant," *Sustainability (Switzerland)*, vol. 14, no. 9, p. 5019, May 2022, doi: 10.3390/su14095019.
- [24] S. T. Wolf, M. A. Folkerts, R. M. Cottle, H. A. M. Daanen, and W. L. Kenney, "Metabolism- And sex-dependent critical WBGT limits at rest and during exercise in the heat," *Am J Physiol Regul Integr Comp Physiol*, vol. 321, no. 3, pp. R295–R302, Aug. 2021, doi: 10.1152/ajpregu.00101.2021.
- [25] W. Paengkaew, A. Limsakul, R. Junggoth, and S. Pitaksanurat, "Empirically derived equation from simple heat index for calculating wet bulb globe temperature: A case study of Thailand," *Applied Environmental Research*, vol. 42, no. 3, pp. 25–39, 2020, doi: 10.35762/AER.2020.42.3.3.
- [26] C. McAllister, A. Stephens, and S. M. Milrad, "The Heat Is On: Observations and Trends of Heat Stress Metrics during Florida Summers," *J Appl Meteorol Climatol*, vol. 61, no. 3, pp. 277–296, Mar. 2022, doi: 10.1175/JAMC-D-21-0113.1.
- [27] S. Zare, N. Hasheminejad, M. Bateni, M. R. Baneshi, H. E. Shirvan, and R. Hemmatjo, "The association between wet-bulb globe temperature and other thermal indices (DI, MDI, PMV, PPD, PHS, PSI and PSIIhr): a field study," *International Journal of Occupational Safety and Ergonomics*, vol. 26, no. 1, pp. 71–79, Jan. 2020, doi: 10.1080/10803548.2018.1475957.
- [28] V. Venugopal et al., "Risk of kidney stone among workers exposed to high occupational heat stress - A case study from southern Indian steel industry," *Science of the Total Environment*, vol. 722, Jun. 2020, doi: 10.1016/j.scitotenv.2020.137619.
- [29] D. Wei, C. Du, Y. Lin, B. Chang, and Y. Wang, "Thermal environment assessment of deep mine based on analytic hierarchy process and fuzzy comprehensive evaluation," *Case Studies in Thermal Engineering*, vol. 19, Jun. 2020, doi: 10.1016/j.csite.2020.100618.
- [30] Y. Fang, Q. Que, R. Tu, Y. Liu, and W. Gao, "How do landscape elements affect public health in subtropical high-density city: The pathway through the neighborhood physical environmental factors," *Build Environ*, vol. 206, Dec. 2021, doi: 10.1016/j.buildenv.2021.108336.
- [31] Z. Mousavi, H. Ehsani, H. Elahi, S. Etemadinezhad, A. H. Nataj, and S. E. Samaei, "The Cognitive and Physiologic Effects of Occupational Heat Exposure on Operational Field Workers: An Exploratory Study," *Journal of Research and Health*, vol. 15, no. 3, pp. 311–318, May 2025, doi: 10.32598/JRH.15.3.2433.1.
- [32] Y. Zhang et al., "Time course of cognitive functions and physiological response under heat exposure: Thermal tolerance exposure time based on ECG and fNIRS," *Build Environ*, vol. 265, Nov. 2024, doi: 10.1016/j.buildenv.2024.111962.
- [33] M. B. Debelo, A. M. Begosaw, N. Deyessa, and M. Azage, "The Burdens of Occupational Heat Exposure-related Symptoms and Contributing Factors Among Workers in Sugarcane Factories in Ethiopia: Heat Stress Wet Bulb Globe Temperature Meter," *Saf Health Work*, vol. 14, no. 3, pp. 325–331, Sep. 2023, doi: 10.1016/j.shaw.2023.08.003.
- [34] Zbigniew. Leonowicz, Development and application of a methodology for heat stress assessment of workers in an Italian glass industry. IEEE, 2020.
- [35] K. Kato, T. Nishi, S. Lee, L. Li, N. Evans, and K. Kiyono, "Evaluating Heat Stress in Occupational.