

<sup>1</sup>Germán González-Hidalgo,

<sup>2</sup>Hafid Sánchez-Flores,

<sup>3</sup>Guillermo López-Castellanos

# Prueba de esfuerzo a 44°C y 80 % de humedad.

## Utilidad del traje con hielo

<sup>1</sup>Proyecto Naica en La Cueva de los Cristales, Chihuahua, México

<sup>2</sup>Médico Especialista en Urgencias Médico Quirúrgicas.

<sup>3</sup>Especialista en Medicina Interna y Medicina Crítica.

<sup>1-3</sup>Hospital General Regional 25,

Instituto Mexicano del Seguro Social, Distrito Federal, México

Comunicación con: Germán González-Hidalgo

Tel: (55) 5264 8283.

Correo electrónico: germangh58@gmail.com

### Resumen

**Objetivo:** comparar el rendimiento de ocho voluntarios sanos en una prueba de esfuerzo con alta temperatura y humedad utilizando un ciclo ergómetro con y sin traje térmico protector.

**Métodos:** para conocer el rendimiento del ejercicio en el calor extremo se midió en minutos el tiempo de pedaleo en un cicloergómetro, manteniendo una velocidad de 30 kph hasta presentar agotamiento o incremento en la frecuencia cardiaca de 160 latidos por minuto. Se implementó una prueba basal a 37.5 °C y 40 % de humedad, repitiendo la prueba a 44° y 80 % de humedad, con y sin equipo protector con hielo y respirador de aire frío.

**Resultados:** la prueba de esfuerzo a 44° con equipo protector se interrumpió en 75 % de los participantes, por incremento en la frecuencia cardiaca mayor a 160 por minuto, logrando duplicar el tiempo de ejercicio en 62 % e incrementarlo en todos los participantes, con un incremento promedio de 2.25 veces y un rango de 1.12-3.3, con una prueba de Wilcoxon con valor de Z de 2.52 y una  $p = 0.012$ .

### Palabras clave

prueba de esfuerzo  
golpe de calor  
esfuerzo físico  
calor  
humedad

### Summary

**Objective:** to compare the fatigue in a stress test at high temperature and humidity in eight healthy volunteers.

**Methods:** the time of pedaling in the ergometer cycle was measured to know the exercise's efficiency at 30 km/h until the volunteers presented exhaustion or their heart frequency increased > 160 beating per minute. A basal test in the tunnel's ventilation of the Naica mine at 37.5 °C and 40 % of humidity was done. We repeat the stress test at the entrance of the cave, where temperature was 44 °C and 80 % of humidity. We compared using the protector equipment with ice and cold air breathing suit.

**Results:** the stress test at 44 °C and 80 % of humidity with the protector suit was interrupted at the 75% because of an increase in the heart frequency (> 160 per minute) The exercise time was duplicated in the 62 % and was increased in the 100% on the participants with an average increase of 2.25 times and a rank (1.12-3.3). Statistical Wilcoxon test the differences between the times of stress test with and without equipment at 44 °C and 80 % of humidity with a Z of 2.52 and a  $p$  of .012 was done.

### Key words

exercise test stress test in the heat  
heat stroke  
physical exertion  
hot Temperature  
humidity

La Cueva de los Cristales en Naica, Chihuahua, al norte de México, ha sido un foco de atención para muchos científicos mexicanos y extranjeros, por su belleza y su maravillosa magnificencia, siendo la única en el mundo en resguardar cristales de 20 m de largo casi transparentes, en los que pueden estudiarse bacterias termofílicas y fósiles de otros organismos que contenía el agua a lo largo de miles de años de su formación. La cueva se encuen-

tra en una mina de plomo, zinc y cobre a 300 m bajo tierra, con temperatura de 49 °C y 80 % de humedad, con un riesgo muy alto de generar enfermedad por exposición al calor.

Durante el trabajo de exploración y filmación del Proyecto Naica, en 2006 y 2007, se diseñó un traje térmico con hielo y un respirador de aire frío que permite incrementar el tiempo de estancia y disminuir el desgaste dentro de la cueva.

**Cuadro I** | Identificación de los ocho voluntarios para las pruebas de esfuerzo con cicloergómetro

Sexo	Edad	Peso (kg)	Minero	Deportista
Femenino	41	63.0	No	Sí
Masculino	50	73.5	No	Sí
Masculino	24	83.0	No	Sí
Masculino	28	99.1	No	No
Masculino	44	76.0	Sí	No
Masculino	32	100.0	Sí	No
Masculino	26	73.0	Sí	No
Masculino	64	63.0	Sí	No

El objetivo del estudio fue comparar el rendimiento en la prueba de esfuerzo con alta temperatura y humedad, utilizando un cicloergómetro, con y sin el traje protector en voluntarios sanos.

## Métodos

Para conocer el rendimiento del ejercicio en el calor extremo se midió en minutos el tiempo de pedaleo en el cicloergómetro, manteniendo una velocidad de 30 km por hora, sin detenerse hasta presentar agotamiento o incrementar la frecuencia cardíaca a más de 160 latidos por minuto. Desarrollamos una prueba de esfuerzo basal en el túnel de ventilación de la mina Naica a 37.5°C y 40 % de humedad (el túnel se ubica a 20 m de la entrada de la cueva en el mismo nivel de profundidad de la mina), repitiendo las pruebas de esfuerzo en la entrada de la Cueva de los Cristales, donde se registra una temperatura de 44 °C y 80 % de humedad y las comparamos utilizando el equipo protector del traje con hielo, y el respirador de aire frío a la misma temperatura y humedad.

Para dar una mayor movilidad a los trabajadores en el cicloergómetro utilizamos el chaleco con hielo diseñado por

C/Producciones (cproducciones@prodigy.net.mx), la chamarra térmica sin protección en las piernas y el enfriador de aire diseñado en Italia para el grupo de espeleólogos La Venta ([http://www.naica.com.mx/internal\\_1.htm](http://www.naica.com.mx/internal_1.htm))

Se solicitó la firma de consentimiento informado y logramos reclutar a ocho voluntarios, siete hombres y una mujer, con edades entre los 24 y los 64 años, tres de ellos deportistas (espeleólogos y buzos) (cuadro I), uno del equipo de filmación y cuatro mineros del equipo de seguridad. Se practicó la historia clínica encontrándolos sanos y todos terminaron las tres pruebas de esfuerzo con éxito.

## Resultados

La prueba de esfuerzo inicial a 37.5 °C fue concluida por agotamiento en 75 % de los participantes; los deportistas lograron mantenerse en la prueba durante más tiempo (cuadro II). El tiempo de resistencia en los deportistas para hacer esfuerzo a temperatura de 44°C y 80 % de humedad (cuadro III) disminuye aproximadamente a una tercera parte lo logrado a 37.5 °C (cuadro IV). El tiempo de resistencia en la prueba fue 50 % menor en los mineros, sin diferencia en la temperatura corporal final.

La prueba de esfuerzo a 44 °C y 80 % de humedad con equipo protector se interrumpió en 75 % de los sujetos de estudio por el incremento en la frecuencia cardíaca mayor a 160 latidos por minuto, lográndose duplicar el tiempo de ejercicio en 62 % de la muestra e incrementarlo 2.25 veces (rango de 1.12 a 3.3) en todos los participantes (cuadros V a VI, figuras 1 y 2).

La temperatura corporal alcanzada por los deportistas durante la prueba de esfuerzo a 44 °C fue mayor que la de los mineros.

Los deportistas sin equipo incrementaron menos su frecuencia cardíaca a 44 °C, con lo que aumenta el tiempo de esfuerzo.

La frecuencia cardíaca a 37.5 °C fue menor en los deportistas por su mejor condición física.

**Cuadro II** | Prueba de esfuerzo con cicloergómetro a 37.5 °C y 40 % de humedad, sin equipo protector

Voluntarios	Temperatura corporal final (°C)	Frecuencia cardíaca final (x minuto)	Tiempo en minutos sin equipo
Deportista	37.0	126	25.00
Deportista	37.0	131	35.06
Deportista	37.0	149	60.00
Personal de filmación	37.0	166	20.33
Minero	37.7	130	4.54
Minero	37.5	158	8.06
Minero	37.7	148	10.38
Minero	37.7	162	11.24

**Cuadro III** | Prueba de esfuerzo con cicloergómetro a 44° C y 80 % de humedad, sin equipo protector

Voluntarios	Temperatura final (°C)	Frecuencia cardiaca (x minuto)	Tiempo en minutos
Deportista	37.9	162	8.39
Deportista	38.2	162	10.54
Deportista	37.4	165	13.40
Personal de filmación	38.2	164	11.50
Minero	38.0	164	5.44
Minero	37.8	178	5.29
Minero	38.0	173	5.48
Minero	37.5	168	3.51

**Cuadro IV** | Comparación entre el tiempo de la prueba de esfuerzo con cicloergómetro a 37.5 y 44 °C, sin equipo protector

Voluntarios	Tiempo esfuerzo 37.5° C	Tiempo esfuerzo. 44° C	Diferencia (%)
Deportista	25.00	8.39	-33.56
Deportista	35.00	10.50	-30.10
Deportista	60.00	13.40	-22.30
Personal de filmación	20.30	11.50	-56.65
Minero*	4.54	5.44	+19.80
Minero	8.06	5.29	-65.60
Minero	10.38	5.48	-52.70
Minero	11.24	3.51	-31.20

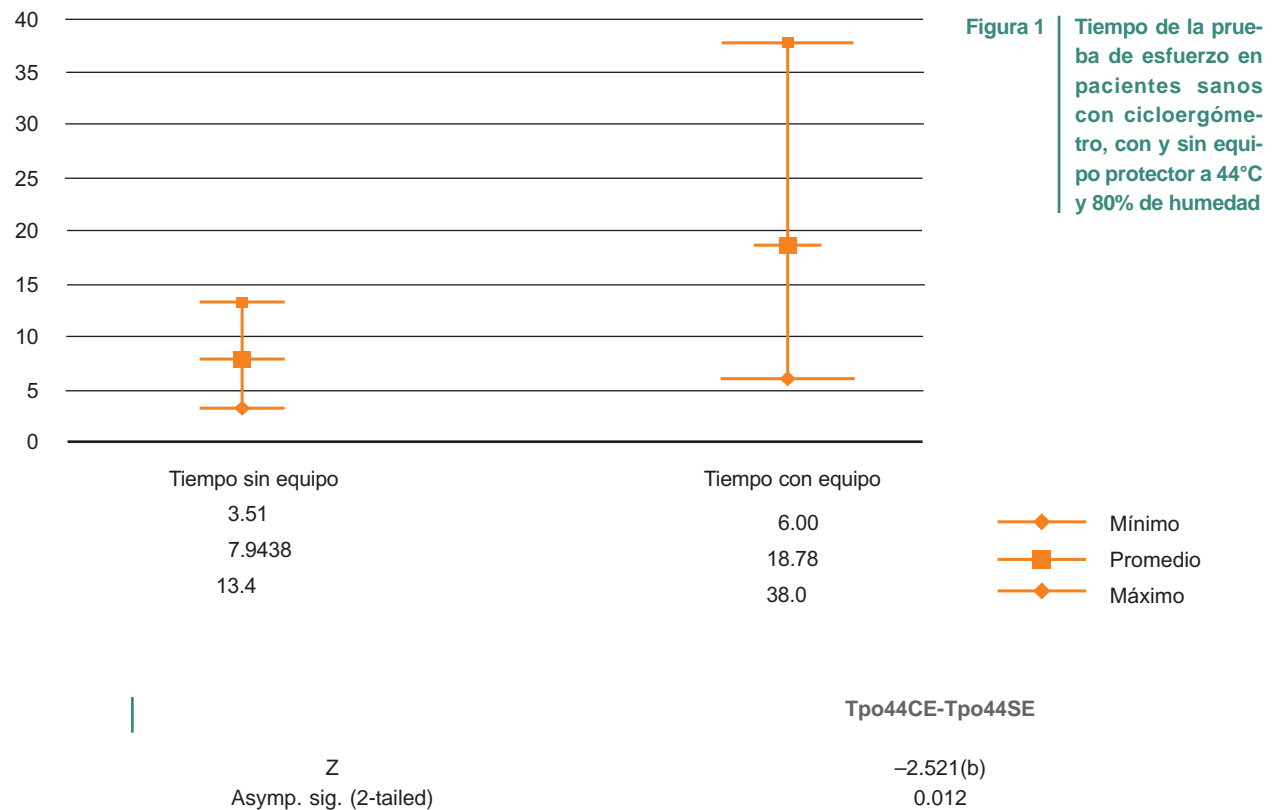
\*En la prueba basal a 37.5°C probablemente no logró su mejor esfuerzo

**Cuadro V** | Prueba de esfuerzo con cicloergómetro a 44° C y 80 % de humedad, con equipo protector

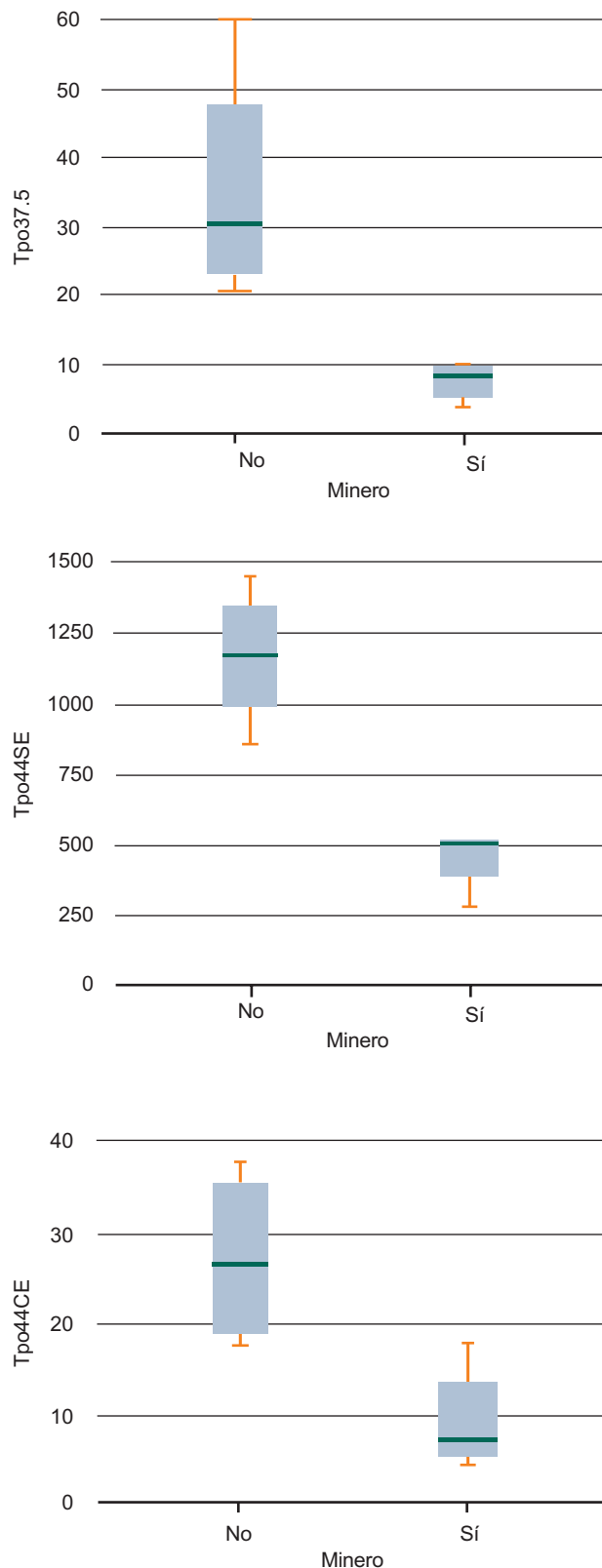
Voluntarios	Temperatura corporal final °C	Frecuencia cardiaca (x minuto)	Tiempo en minutos
Deportista	38.3	162	18.00
Deportista	38.3	163	20.00
Deportista	37.4	160	37.90
Personal de filmación	37.0	153	33.08
Minero	37.7	168	6.12
Minero	37.6	158	9.50
Minero	37.5	165	18.12
Minero	37.6	165	7.54

**Cuadro VI** | Tiempo de la pruebas de esfuerzo con cicloergómetro manteniendo una velocidad constante de 30 km/hora a 37.5 y 44 °C, con y sin equipo

Voluntarios	Temperatura-humedad		Incremento
	37.5 °C-40 %	44° C-80 %	
	Minutos sin equipo	Minutos con equipo	
Deportista	8.39	180.00	2.14
Deportista	10.54	20.00	1.89
Deportista	13.40	37.90	2.89
Personal de filmación	11.50	33.08	2.87
Minero	5.44	6.12	1.12
Minero	5.29	9.50	1.79
Minero	5.48	18.12	3.30
Minero	3.51	7.54	2.14



Tpo = tiempo, CE = con equipo, SE = sin equipo



**Figura 2** | Tiempo de esfuerzo durante las pruebas con cicloergómetro entre mineros y no mineros

La frecuencia cardiaca a 37.5 °C es mayor en los mineros probablemente por su menor capacidad pulmonar.

Los deportistas alcanzaron un mayor tiempo en la prueba de esfuerzo a 44 °C sin equipo que el logrado por los no deportistas, sin embargo, esta diferencia se reduce al utilizar el equipo protector.

## Discusión

Las pruebas de esfuerzo en altas temperaturas (34°C y 100 % de humedad) fueron utilizadas en 1950 por Widham en Sudáfrica para seleccionar a los mineros que podrían presentar golpe de calor, con lo que se logró disminuir la mortalidad laboral de 50 a 10 % al descartar a los trabajadores que suspendieron la prueba antes de cuatro horas. En 1979, Shapiro practicó una prueba de esfuerzo para examinar la tolerancia al calor, que consistió en subir y bajar un escalón de 30 cm durante tres horas a 40 °C y 40 % de humedad, con una frecuencia de 12 escalones por minuto, con ello logró definir como intolerancia cuando la temperatura corporal se elevó a 38.6 °C o la frecuencia cardiaca era superior a los 160 latidos por minuto o si era suspendida por cansancio.<sup>1</sup>

Nuestro estudio retoma la idea de hacer una prueba de esfuerzo a 44 °C y 80 % de humedad, para conocer la diferencia del rendimiento del esfuerzo con el cicloergómetro a 37.5 °C y 40 % de humedad y valorar la utilidad del traje térmico con hielo y el respirador con enfriador del aire, diseñados para soportar más tiempo la temperatura de la Cueva de los Cristales en Naica, Chihuahua.<sup>2,3</sup>

En el estudio se muestra un incremento en la temperatura corporal de los deportistas superior al que sufren los mineros, lo que suponemos se debe a la adaptación que han tenido los mineros al calor y a que los deportistas se mantuvieron más tiempo en la prueba.

El estudio muestra una disminución del tiempo de esfuerzo en el cicloergómetro al incrementar la temperatura y la humedad estadísticamente significativa, que demuestra la utilidad del traje térmico con hielo y un respirador con enfriador de aire para incrementar al doble el esfuerzo de los trabajadores sometidos a una temperatura de 44° C y 80 % de humedad.

La ventilación con aire frío retarda el incremento de la temperatura corporal al disminuir la temperatura del cráneo en las celdas etmoidales, la parte más delgada y cercana al líquido cefalorraquídeo, y favorece el enfriamiento del cerebro.<sup>4</sup> El vapor frío entra en contacto con los capilares pulmonares permitiendo mejorar el control de la temperatura central. El traje con hielo y chamarra aislante disminuye el contacto con el calor ambiental, permite la sudoración y la pérdida de calor muscular. La radiación de calor por la piel es la forma más efectiva del cuerpo humano para eliminarlo (65 % del total), mientras el traje con hielo no se derrita retardará el

incremento de la temperatura, cuando la temperatura dentro del traje sea mayor a los 35° C esta forma de perder calor se anula.<sup>5,6</sup>

El estudio corrobora la necesidad de utilizar un traje con hielo y nebulizador frío para prolongar la eficiencia en el trabajo y disminuir el riesgo durante la exposición a altas temperatura y humedad

Sugerimos como medida de seguridad monitorizar la frecuencia cardiaca durante la exposición a altas temperaturas y humedad. El trabajador debe salir cuando la frecuencia cardiaca llegue a 160 por minuto o disminuir la intensidad de su actividad y preparar su salida a temperaturas más bajas.<sup>1,7</sup>

El estudio propone que los trabajadores que se expongan a temperaturas extremas deben practicar ejercicio aeróbico para mejorar su capacidad de esfuerzo y controlar el incremento en la frecuencia cardiaca.

Durante el estudio fue necesario repetir una prueba de esfuerzo a 44 °C y 80 % de humedad en uno de los atletas por hipoglucemia, por lo que recomendamos desayunar proteína y fruta para lograr un adecuado rendimiento, y consumir tres litros de agua con un litro de suero oral para evitar la deshidratación.<sup>6,8,9</sup>

## Referencias

1. Moran S, Heled Y, Still L. Assessment of heat tolerance for postexertional heat stroke individual. *Med. Sci Monit* 2004;10(6):252-257.
2. González-Alonso J, Teller C, Andersen SL, Jensen FB, Hyldig T, Nielsen B. Influence of body temperature on the development of fatigue during prolonged exercise in the heat. *J. Appl Physiol* 1999;86(3):1032-1039.
3. Choukroun ML, Kays C, Varéne P. Effects of water temperature on pulmonary. *Resp Physiol* 1989;75(3):255-266.
4. Zhu M, Ackeman JJ, Sikstanskii AL, Yablonskij DA. How the body controls brain temperature; the temperature shielding effect of cerebral blood flow. *J Appl Physiol* 2006; 101(5):1481-1488.
5. Donoghue AM, Sinclair MJ, Bates GP. Heat exhaustion in a deep underground. *Occup Environ Med* 2000;57(3): 165-174.
6. Wexler RK. Evaluation and treatment of heat-related illnesses *Am Fam Phys* 2002;65(11):2307-2314.
7. Varghese GM, John G, Thomas K, Abraham OC, Mathai D. Predictors of multi-organ dysfunction in heatstroke. *Emerg Med J* 2005;22(3):185-187.
8. Brake DJ, Bates GP. Fluid losses and hydration status of industrial workers. *Occup Environ Med* 2003;60(2):90-96.
9. Carter R 3rd, Cheuvront SN, Vernieuw CR, Sawka MN. Hypohydration and prior heat stress exacerbates decreases in cerebral blood flow velocity during standing. *J Appl Physiol* 2006;101(6):1744-1750