

EFECTO DE LAS ALTAS TEMPERATURAS AMBIENTALES SOBRE EL METABOLISMO

I. CRECIMIENTO Y CONSTITUYENTES SANGUÍNEOS DE RATAS EXPUESTAS A UNA TEMPERATURA DE 94°F DURANTE 72 HORAS¹

ROBERT L. SQUIBB

*Instituto Agropecuario Nacional de Guatemala*²

MIGUEL A. GUZMAN y NEVIN S. SCRIMSHAW

*Instituto de Nutrición de Centro América y Panamá*³, Guatemala, C. A.

La temperatura ejerce cierto efecto sobre el metabolismo y los requerimientos nutricionales del hombre y los animales, especialmente en climas áridos o tropicales. Mills (11, 12, 13) ha opinado que las ratas alimentadas *ad libitum* a una temperatura de 91°F necesitan cantidades incrementadas de tiamina, colina y piridoxina para su crecimiento óptimo. Sin embargo, Sarett y Perlzweig (14) han demostrado que si los grupos testigo y los experimentales mantenidos a 91°F, consumían igual cantidad de alimento, los grupos experimentales ganaban más peso y retenían más nitrógeno, grasa y agua que los grupos testigo. Kline y colaboradores (6) también han reportado que cuando las ratas se mantienen a una temperatura de 90°F su requerimiento de tiamina disminuye. Esta disminución parecía ser semejante a la

correspondiente en requerimientos calóricos a temperatura elevada.

Este informe es el primero de una serie de estudios sobre las consecuencias nutricionales que las altas temperaturas ambientales ejercen tanto en humanos como en animales. Para este estudio se usaron ratas blancas mantenidas 72 horas a 94°F; y se estudió la reacción de los animales en función de porcentaje de mortandad, consumo de alimento, crecimiento y niveles séricos de proteína, riboflavina, carotina, vitamina A, ácido ascórbico, fosfatasa alcalina y fósforo.

PROCEDIMIENTO

En el experimento 1, que consistió de cinco ensayos y se prolongó por un período de 6 meses, las ratas se alimentaron *ad libitum* anotándose las cantidades de alimento consumido. En el experimento 2, que consistió de 4 ensayos y se extendió por un período de 4 meses el alimento fué restringido a 5 que fueron totalmente consumidos. El período total de ambos experimentos fué de 12 meses. El agua se administró *ad libitum* en todos los ensayos.

La ración administrada a todas las ratas durante cada prueba—y previamente por seis semanas—consistió en: torta de ajonjolí, 40%; leche entera en polvo, 20%; caseína cruda, 5%; maíz amarillo molido, 28,4%; aceite de algodón, 1%; un concentrado vitamínico comercial,⁴ 1,6% y una

¹ Publicado originalmente en *The Journal of Nutrition*, 52:155-163, 1954, bajo el título "Effect of High Environmental Temperatures on Metabolism. I. Growth and Blood Constituents of Rats Exposed to 94°F for 72 Hours," No. INCAP I-30.

² El Instituto Agropecuario Nacional de Guatemala es un organismo agrícola técnico que actúa bajo la dirección conjunta del Gobierno de Guatemala y la Oficina de Relaciones Exteriores (FOA) del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos, de acuerdo con el programa del Punto IV a cargo de la Administración de Cooperación Técnica del Departamento de Estado, E. U. A.

³ El Instituto de Nutrición de Centro América y Panamá, Guatemala, es un Instituto de estudios de la nutrición humana sostenido por los Gobiernos de Centro América y Panamá y administrado por la Oficina Sanitaria Panamericana, Oficina Regional de la Organización Mundial de la Salud. Publicación Científica INCAP E-80.

⁴ Vita-Rich. La casa productora, Thompson-Hayward Chemical Co., afirma que contiene por libra (en un vehículo de soluciones de sardina y suero, hígado de pescado, harina de glándulas,

CUADRO No. 1.—Mortandad, alimento consumido, aumento de peso y cambios en los constituyentes de los sueros sanguíneos de ratas expuestas a temperaturas de 76°F y 94°F. por 72 horas y alimentadas ad libitum.

Experimento 1

Ensayo	Número de ratas	Mortandad	Prom. alimento consumido por rata g	Prom. peso ganado por rata g	Proteínas g %	Riboflavina mcg %	Carotinoides mcg %	Vitamina A mcg %	Acido ascórbico mg %	Fosfatasa alcalina mM/l/hr ¹
Grupos testigo (76°F)										
1	9	0	33,3	10	6,54	5,66	5	26,3	1,52	5,9
2	7	0	51,0	33	6,26	1,73	4	27,1	1,02	3,9
3	9	0	38,3	19	6,92	2,68	2	19,5	1,96	9,7
4	9	1	41,8	28	6,26	3,07	2	32,8	2,16	10,5
5	5	0	23,1	10	6,56	4,31	2	22,7	0,84	—
Promedio ²	—	—	37,5	20	6,51 ±0,46	3,49 ±1,72	3	25,7 ±7,3	1,50 ±0,63	7,5 ±3,4
Grupos expuestos al calor (94°F)										
1	9	0	5,5	-40	7,24	3,40	4	16,2	1,07	4,2
2	8	2	9,1	-1	6,62	1,79	6	13,4	1,37	1,5
3	9	1	4,0	-37	7,33	2,29	4	14,3	1,55	7,3
4	9	7 ³	3,1	-53	6,72	2,71	4	14,9	1,09	2,8
5	9	1	4,0	-26	7,14	2,72	2	4,9	0,62	0,8
Promedio ²	—	—	5,1	-31	7,01 ±0,48	2,58 ±0,83	4	12,7 ±5,6	1,14 ±0,44	3,3 ±2,6

¹ Milimoles por litro por hora.

² Promedios totales y desviaciones estandard de todas las observaciones. Prueba "t": P = proteínas, <0,0001; riboflavina, <0,009; vitamina A, <0,0001; ácido ascórbico, <0,002; fosfatasa alcalina, <0,0001.

³ La alta mortandad fué el resultado de una temperatura muy elevada: un defecto en uno de los termostatos elevó la temperatura a 100°F por un breve periodo.

mezcla mineral que incluía los elementos menores, 4 %.

Aun cuando la misma fórmula fué usada durante todo el periodo experimental, el maíz amarillo y la leche entera en polvo fueron obtenidos de distintas fuentes en cada uno de los experimentos y una nueva provisión de concentrado vitamínico se obtuvo especialmente para los ensayos del experimento 2. Se prepararon con anticipación para cada prueba de ambos experimentos cantidades suficientes de las raciones,

etc.) un mínimo de 300 mg de riboflavina, 250 mg de ácido pantoténico, 10,000 mg de colina, 20 mg de tiamina, 300 mg de niacina, 0,5 mg de vitamina B₁₂, 90.800 A.O A.C. unidades pollo de vitamina D y 90.800 unidades U.S.P. de vitamina A.

las cuales fueron guardadas en frascos de vidrio en un cuarto refrigerado.

Para estos experimentos se usaron ratas blancas machos, de 225 a 285 g de peso, que eran progenie de la tercera generación de animales obtenidos del Bureau de Industria Animal del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos. Se distribuyeron al azar en grupos experimentales de acuerdo a las diferentes edades y cada grupo fué colocado en una jaula de alambre. Los testigos fueron mantenidos en un cuarto con una temperatura promedio de 76°F y una humedad de 35 a 75 %. Los grupos sometidos a temperatura elevada fueron mantenidos en una incubadora "Humidaire" cerrada, donde los ventiladores y controles termostáticos

CUADRO No. 2.—Mortandad, alimento consumido, aumento de peso y cambios en los constituyentes de los sueros sanguíneos de ratas expuestas a temperaturas de 76°F y 94°F por 72 horas y con el alimento res-tringido.

Experimento 2

Ensayo	Número de ratas	Mor-tandad	Prom. alimento con-sumido por rata g	Prom. peso ganado por rata g	Proteínas g %	Ribo-flavina mcg %	Caroti-noides mcg %	Vitamina A mcg %	Acido ascórbico mg %	Fosfatasa alcalina mM/l/hr ¹	Fósforo mg %
Grupos testigo (76°F)											
1	9	2	5	-9	5,88	3,15	2	17,9	2,33	7,2	—
2	9	0	5	-28	7,40	2,77	2	17,9	1,31	5,0	2,3
3	9	0	5	-45	6,57	3,05	2	16,9	2,63	9,6	3,3
4	9	0	5	-37	6,84	2,30	2	16,5	2,61	10,3	3,7
Promedio ²	—	—	5	-30	6,67 ±0,72	2,82 ±0,81	2	17,8 ±7,7	2,22 ±0,62	8,0 ±3,0	3,1 ±0,76
Grupos expuestos al calor (94°F)											
1	9	1	5	-19	6,62	3,46	2	13,9	1,63	10,6	—
2	9	0	5	-25	7,62	2,71	1	11,9	1,09	5,9	2,3
3	9	0	5	-36	6,52	2,49	1	10,3	1,61	8,4	3,2
4	9	0	5	-29	7,15	2,46	1	15,8	1,42	9,6	3,4
Promedio ²	—	—	5	-28	6,98 ±0,71	2,78 ±0,74	1	13,0 ±3,7	1,43 ±0,36	8,6 ±3,0	3,0 ±0,64

¹ Milimoles por litro por hora.

² Promedios totales y desviaciones estandard de todas las observaciones. Prueba "t": P = proteínas, 0,23; riboflavina, 0,55; vitamina A, <0,007; ácido ascórbico, <0,0001, fosfatasa alcalina, 0,60; fósforo, 0,80.

mantuvieron un promedio de 94°F de temperatura y una humedad de 50 a 75 %.

La temperatura usada en estos experimentos—94°F—y la extensión del período de ensayo—72 horas—fueron determinados por pruebas preliminares que indicaron que temperaturas más altas y períodos mayores de exposición resultarían en mortandad excesiva.

Al final del período de ensayo cada rata fué sangrada por punción al corazón y el suero sanguíneo analizado por ultramicrométodos para proteínas totales (8), riboflavina (3), carotinoides totales y vitamina A (2), ácido ascórbico (9) y fosfatasa alcalina (1). En el experimento 2, el fósforo sanguíneo fué determinado por el método de Fiske y Subbarow (5).

Los métodos estadísticos delineados por Snedecor (15) fueron utilizados para analizar

los resultados de los experimentos. Se usó la prueba "t" para determinar si los datos obtenidos en el efecto del calor sobre los constituyentes sanguíneos eran significativos; y se usaron tablas comparativas para estudiar la interrelación entre los métodos de alimentación y temperatura y los niveles de los constituyentes sanguíneos encontrados.

RESULTADOS

Los datos del experimento 1 indican que las ratas mantenidas a temperatura elevada por 72 horas, disminuyen significativamente su consumo de alimento, pierden mucho peso y tienen un mayor porcentaje de mortandad que los grupos testigo (Cuadro No. 1). El nivel de carotinoides totales en la sangre aparentemente no sufre ningún cambio, pero los de riboflavina, vitamina A,

ácido ascórbico y fosfatasa alcalina disminuyen significativamente. Sin embargo, la proteína sérica total, alcanza un nivel significativamente más alto.

En el experimento 2 tanto los grupos testigo como los expuestos a temperatura elevada, perdieron peso, siendo el promedio total casi el mismo para ambos, y la pequeña diferencia en mortandad estaba a favor de los grupos expuestos a alta temperatura (Cuadro No. 2). Así como en el experimento 1 la temperatura elevada no pareció afectar los carotinoides séricos; sin embargo, los niveles de vitamina A y ácido ascórbico disminuyeron significativamente. La riboflavina sérica, fosfatasa alcalina y el fósforo sanguíneo no fueron afectados. El nivel de proteína sérica total fué elevado en tres de los cuatro ensayos pero el promedio total no demostró un aumento significativo.

DISCUSION

Ya que se observó una pérdida de peso equivalente, tanto en el grupo testigo como en el sometido a temperatura elevada en el experimento 2, es evidente que la pérdida de peso de las ratas en el experimento 1, que estaban expuestas a la misma alta temperatura ambiental, se debió principalmente al descenso en el consumo de alimento. Las ratas sujetas a alta temperatura consumieron mayor cantidad de agua que las de los grupos control. En ambos experimentos las ratas sometidas a temperatura elevada se posttraron en el piso de la jaula y usaron parte del agua para refrescarse externamente.

Estos estudios demuestran que una alta temperatura ambiental (94°F) tiene un efecto depresivo sobre la riboflavina, fosfatasa alcalina, ácido ascórbico y vitamina A del suero sanguíneo. El efecto depresivo del calor sobre la riboflavina y fosfatasa alcalina séricas en animales alimentados *ad libitum* (experimento 1) desaparece en alto grado al ser restringido el consumo de alimento (experimento 2). Sin embargo, el ácido ascórbico y vitamina A séricos disminuyeron significativamente en ambos casos.

Una comparación estadística entre los

datos del experimento 1 y los del experimento 2 demuestra que el efecto depresivo de la temperatura elevada sobre el ácido ascórbico y la vitamina A séricos, es el resultado de un efecto directo del calor sobre dichos constituyentes, acompañado de un efecto debido a la restricción de alimento. Se observaron diferencias en los niveles de varios constituyentes sanguíneos entre los grupos control del experimento 1 y los del experimento 2. Esto no puede ser atribuido exclusivamente a la restricción de alimento, ya que en parte pudo deberse al uso de varias fuentes de maíz y leche en polvo y a la nueva provisión de suplemento vitamínico al formular todas las raciones. Existe también la posibilidad que los altos niveles séricos de ácido ascórbico observados en el grupo control del experimento 2 fueran en parte resultado de la restricción de alimento. El efecto depresivo directo de la temperatura en los niveles de ácido ascórbico y vitamina A séricos estaba por encima de cualquier efecto debido al consumo de alimento.

No se conoce la naturaleza de este efecto aparente de la alta temperatura en los niveles de ácido ascórbico y vitamina A séricos observado en estos experimentos. El análisis químico demostró que el calor no destruyó la vitamina A ni el ácido ascórbico en las raciones de prueba; por lo tanto, la ingesta de estos dos nutrientes fué similar para los grupos control y los sometidos a temperatura elevada. La utilización de ambos nutrientes pudo haber aumentado o la absorción de carotinoides, vitamina A y ácido ascórbico del tracto gastro intestinal, haber disminuído o ambos casos presentarse a la vez. Ya que los carotinoides se mantuvieron al mismo nivel, tanto en los grupos control como en los expuestos a calor, no parece probable que los niveles bajos de vitamina A en estos últimos fuesen debidos a una conversión deficiente de carotina a vitamina A. Los resultados de la depresión de vitamina A y ácido ascórbico están de acuerdo con los hallazgos de Kurokawa (7), quien demostró que la avitaminosis A podía ser inducida más rápidamente en ratas en

un ambiente cálido que en uno templado, y los resultados de Daum y colaboradores (4), quienes demostraron que una elevada temperatura corporal puede disminuir el nivel de vitamina C en el plasma humano.

No existe ninguna explicación para el bajo nivel de fosfatasa alcalina observado en las ratas expuestas a temperatura elevada en el experimento 1, ya que valores probablemente normales se observaron en los animales sometidos al calor en el experimento 2.

El aumento significativo de los niveles séricos para proteínas totales en el experimento 1 y en tres de los cuatro ensayos del experimento 2 indican que temperaturas elevadas afectan la proteína del suero. No se sabe si una o todas las fracciones proteicas del suero fueron afectadas, ya que no se llevaron a cabo estudios de fraccionamiento proteico.

Se admitió que las diferencias en los niveles séricos de proteína, ácido ascórbico y vitamina A observadas en las ratas sometidas a temperaturas elevadas podrían haber desaparecido o ser menos marcadas si se hubiera extendido el período de experimentación. Sin embargo, estudios preliminares habían demostrado que cuando el período de prueba se extendía a 7 días, la mortandad era excesiva.

Los resultados de estos experimentos sugieren la necesidad de estudios subsiguientes sobre el efecto de la tensión climática en el metabolismo de las proteínas, vitamina A y ácido ascórbico del suero en

animales en climas áridos o tropicales. También debe considerarse una posible interrelación entre la vitamina A y el ácido ascórbico tal como la reportada por Mayer y Krehl (10).

RESUMEN

Para estos experimentos se expusieron ratas a una temperatura de 94°F durante 72 horas y luego fueron comparadas con ratas testigos, que habían sido mantenidas a 72°F. En un período experimental fueron alimentadas *ad libitum*, en otro, el alimento restringido a 5 g.

Con la alimentación *ad libitum* las ratas sometidas a temperatura elevada consumieron menos alimento con la consiguiente pérdida de peso, que las ratas testigos. Los niveles séricos de riboflavina, vitamina A, ácido ascórbico y fosfatasa alcalina disminuyeron significativamente, mientras que los niveles de proteínas totales aumentaron significativamente.

En el segundo experimento con alimentación restringida, tanto los grupos control como los expuestos a temperatura elevada perdieron peso y en estos últimos, únicamente los niveles de ácido ascórbico y vitamina A disminuyeron significativamente. La exposición a temperatura elevada no tuvo efecto sobre los niveles séricos de carotina total en ninguno de los dos grupos.

RECONOCIMIENTO

Se expresa el sincero reconocimiento por la ayuda financiera prestada por el Instituto de Fomento de la Producción de Guatemala.

REFERENCIAS

- (1) Bessey, O. A.; O. H. Lowry y M. J. Brock: A method for the rapid determination of alkaline phosphatase with five cubic millimeters of serum. *J. Biol. Chem.*, 164:321, 1946a.
- (2) Bessey, O. A.; O. H. Lowry; M. J. Brock y J. A. López: The determination of vitamin A and carotene in small quantities of blood serum. *Ibid.*, 166:177, 1946b.
- (3) Burch, H. B.; O. A. Bessey y O. H. Lowry: Fluorometric measurements of riboflavin and its natural derivatives in small quantities of blood serum and cells. *Ibid.*, 176:457, 1948.
- (4) Daum, K.; K. Boyd y W. D. Paul: Influence of fever therapy on blood levels and urinary excretion of ascorbic acid. *Proc. Soc. Exp. Biol. Med.*, 40:129, 1939.
- (5) Hawk, P. B.; B. L. Oser y W. H. Summerson: Practical physiological chemistry. The Blakiston Co., Phila., Penna., 12th. ed., pp. 579-580, 1947.
- (6) Kline, O. L.; L. Friedman y E. M. Nelson: The effect of environmental temperature on the thiamine requirement of the rat. *J. Nutrition*, 29:35, 1945.
- (7) Kurokawa, G.: Relation between the high-temperature environment and vitamin A.

- I. Influence of high-temperature environment upon the appearance of vitamin A avitaminosis. *Kokumin Eisei (Natl. Hyg.)*, 18:123, 1941.; through *Chem. Abst.*, 42:260, 1948.
- (8) Lowry, O. H. y T. H. Hunter: The determination of serum protein concentration with a gradient tube. *J. Biol. Chem.*, 159:465, 1945.
- (9) Lowry, O. H.; J. A. López y O. A. Bessey: The determination of ascorbic acid in small amounts of blood serum. *Ibid.*, 160:609, 1945.
- (10) Mayer, J., y W. A. Krehl: The relation of diet composition and vitamin C to vitamin A deficiency. *J. Nutrition*, 35:523, 1948.
- (11) Mills, C. A.: Environmental temperatures and thiamine requirements. *Am. J. Phys.*, 133:525, 1941.
- (12) ———: Environmental temperatures and B-vitamin requirements. *Arch. Biochem.*, 1:73, 1942.
- (13) ———: Environmental temperatures and B-vitamin requirements: Riboflavin and pyridoxine. *Ibid.*, 2:159, 1943.
- (14) Sarett, H. P. y W. A. Perlzweig: The effect of high temperature and B-vitamin levels of the diet upon the metabolism and body composition of rats. *J. Nutrition*, 26:611, 1943.
- (15) Snedecor, G. W.: Statistical methods. Iowa State College Press, Ames, 4th. ed., 1946.