

ENSEÑANZA-APRENDIZAJE DE LA FISIOLÓGIA DEL EJERCICIO: EFECTOS DE LA ALTURA SOBRE EL RENDIMIENTO FÍSICO

Luis Fdo. Aragón Vargas

En la enseñanza de la Fisiología del Ejercicio, así como en muchos otros campos de la ciencia, las experiencias de laboratorio tienen un gran valor al ilustrar, de manera palpable, algunos conceptos difíciles de captar. Además, permiten mostrar el porqué de algunos fenómenos que a primera vista no son fáciles de explicar.

Un ejemplo de este último punto son los efectos que tiene la altitud sobre el funcionamiento del cuerpo. A pesar de que el aire a partir de cierta altitud es más frío y más seco que al nivel del mar, la ventaja termorregulatoria que ello representa y la desventaja que existe al perderse más agua por las vías respiratorias NO SON los cambios más notables que ocurren al subir a las montañas, como se explicará a continuación.

En el presente artículo se desarrolla el fundamento teórico de la fisiología en altura y se describen y discuten algunas experiencias realizadas, con el propósito de dar un modelo para la experiencia de laboratorio de los cursos de Fisiología del Ejercicio.

Por razones prácticas, algunos experimentos en la investigación del ejercicio en altura han sido realizados con alturas simuladas en cámaras de presión; otros utilizan las condiciones reales a nivel del mar y en la montaña, aunque con algunos problemas debidos al largo rato empleado en desplazarse de una altura a otra (Faulkner, Kollias, Favour, Buskirk & Balke, 1968; Maher, Jones & Hartley, 1974). Aprovechando las circunstancias de Costa Rica, y al no contar con esa clase de equipo, los efectos de la altura sobre diversos parámetros fisiológicos pueden ilustrarse con claridad con una serie de pruebas sencillas en el Volcán Irazú, a 3400 metros de altura sobre el nivel del mar, y comparando los resultados con las mismas pruebas realizadas en la Ciudad Universitaria Rodrigo Facio, a 1200 metros sobre el nivel del mar.

I. Fundamento teórico

Desde que el hombre hace el intento por conquistar las máximas cumbres del mundo, empieza a darse cuenta de que a partir de cierta altura el esfuerzo que debe realizar es mucho mayor. Los Juegos Olímpicos de 1968 en Ciudad de México, a 2300 metros de altitud, generaron un interés muy especial por los distintos aspectos del rendimiento físico en altura. Los bajos resultados en los eventos de larga duración, en los cuales el buen rendimiento está altamente relacionado con la capacidad aeróbica, corroboraron las teorías de que el efecto principal de la altura sobre el rendimiento es precisamente una disminución de esa capacidad (Astrand & Rodahl, 1977), como resultado de la disminución en la presión parcial de oxígeno (PO_2).

La responsabilidad de una menor PO_2 en el bajo rendimiento ya había sido reconocida por P. Bert en 1878; ésta se debe a la disminución en la presión atmosférica al aumentar la altura.

La tabla 1 muestra algunos valores aproximados de PO_2 para distintas alturas.

El buen rendimiento en pruebas de una duración mayor a los dos minutos depende en gran medida de la potencia o capacidad aeróbica, definida como la máxima cantidad de oxígeno que puede utilizar el cuerpo en un tiempo determinado, y expresada en $m10_2 \cdot kg^{-1} \cdot min^{-1}$ (Astrand & Rodahl, 1977). La relación entre rendimiento y capacidad aeróbica aumenta conforme aumenta la duración de la prueba.

La capacidad aeróbica depende básicamente de dos aspectos generales: la capacidad del sistema cardiovascular y respiratorio de suministrar oxígeno al tejido muscular activo, y la capacidad de dichos músculos de utilizar el oxígeno disponible (Astrand & Rodahl, 1977).

En el caso específico del ejercicio en altura, la disminución en la PO_2 tiene un efecto sobre la

TABLA 1

Presiones gaseosas a distintas altitudes

Altitud (mts.)	Presión atmosférica (Torr)	PO ₂ aire inspirado (Torr)	% Saturación Hemoglobina*
Nivel del mar (0)	760	149	100
500 metros	716	140	100
Ciudad Universitaria, 1200 metros	600	128	97
2000 metros	596	115	90
Volcán Irazú, 3400 metros	500	95	85

*Valores estimados basados en Astrand (1977), p. 619 y McArdle, Katch & Katch (1981), pp. 324-330.

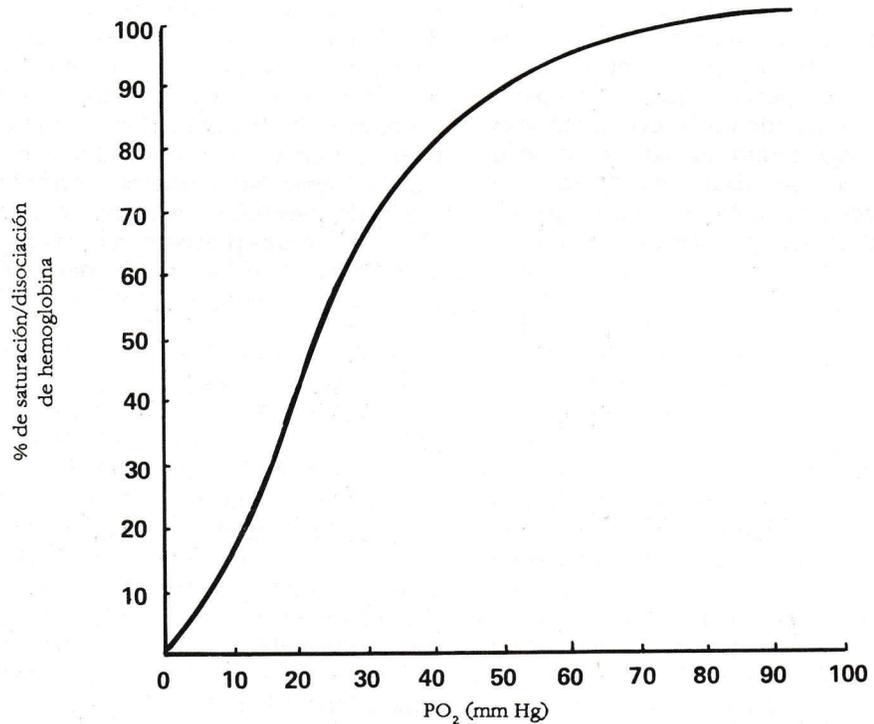


Fig. 1: Curva de disociación de la Hemoglobina (adaptado de Vander, Sherman & Luciano, 1980).

capacidad de transporte de O₂ en la sangre, ya que el porcentaje de saturación de la hemoglobina (Hb, el transportador de oxígeno) depende principalmente de la PO₂; el efecto final es una reducción del suministro de oxígeno al músculo (a pesar de las compensaciones como el aumento en el gasto cardíaco Q), con la consecuente

disminución del rendimiento (Vander, Sherman & Luciano, 1980; Astrand & Rodahl, 1977; McArdle, Katch & Katch, 1981).

La relación entre la PO₂ arterial y el porcentaje de saturación de la Hb no es lineal. De hecho, al graficar los resultados de los porcentajes de saturación de Hb a diferentes PO₂ arteriales en

condiciones normales de temperatura y acidez, se obtiene una curva en forma de "S", conocida como la "Curva de Saturación/Disociación de la Hemoglobina" (Vander, Sherman & Luciano, 1980) (ver fig. 1). Lo más importante de dicha curva es que las disminuciones iniciales en la PO_2 arterial a partir del nivel del mar, tienen un efecto prácticamente nulo sobre el porcentaje de saturación de la Hb. Esto sigue siendo cierto hasta alrededor de unos 1500 metros, punto a partir del cual aumenta la pendiente de la curva y consecuentemente se acentúa la disminución en el transporte de O_2 por la sangre (McArdle, Katch & Katch, 1981).

Algunos autores estiman que el efecto real de la altura sobre la capacidad aeróbica es de una disminución entre 1,5 y 3,5% $\dot{V}O_{2max}$ por cada 305 metros, a partir de los 1500 metros de altitud (Buskirk, Kollias, Picón-Reátegui, Akers, Prokop & Baker, 1967; Faulkner, Kollias, Favour, Buskirk & Balke, 1968). Esto implica que para un deportista con una $\dot{V}O_{2max}=60 \text{ ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$ a nivel del mar, el resultado podría estar entre $55,8 \text{ ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$ (93%) y $58,2 \text{ ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$ (97%) a 2100 metros; y entre $47,4 \text{ ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$ (79%) y $54,6 \text{ ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$ (91%) a 3300 metros de altitud, lo cual afectaría considerablemente su rendimiento.

Los efectos de la altura son especialmente notorios al realizar esfuerzos máximos y submáximos; sin embargo, también son detectables en condiciones de reposo, siempre y cuando la altura sea suficiente. Según McArdle, Katch & Katch (1981), el efecto de la altura se hace notable en reposo a partir de los 2300 metros. La respuesta más notable es la hiperventilación, la cual persigue mejorar la PO_2 en los alvéolos (Dempsey, 1971), haciéndola lo más semejante posible a la PO_2 atmosférica. McArdle, Katch & Katch (1981) señalan que se observa también un aumento en la frecuencia cardíaca (FC) y el gasto cardíaco (Q), lo cual busca compensar la concentración disminuida en el oxígeno arterial y, finalmente (como un efecto secundario de la hiperventilación), que disminuye la concentración arterial de bióxido de carbono (CO_2) y el pH sanguíneo tiende a subir, produciéndose una ligera alkalosis que se refleja en la orina.

El efecto mencionado de la altura sobre el cuerpo humano y sus compensaciones ocurren en forma inmediata, es decir, son efectos agudos. Al igual que en otras circunstancias, con la perma-

nencia en altura también ocurre una serie de adaptaciones crónicas, las cuales se han estudiado ampliamente pero no serán contempladas en este trabajo: es lo que se conoce como aclimatación. Cabe mencionar que la aclimatación a la altura nunca llega a ser completa, de manera que el rendimiento en altitudes menores siempre tiende a ser mayor (Maher, Jones & Hartley, 1974). Probablemente como reflejo de la insuficiencia de las compensaciones agudas (inmediatas) en algunas personas, ocurre el fenómeno conocido como "mal de montaña", que se manifiesta generalmente a partir de los 3000 mts. y cuyos síntomas incluyen dolor de cabeza, mareos y náuseas, vómito, insomnio, pérdida del apetito, visión borrosa y debilidad general. Estos síntomas tienden a desaparecer con la aclimatación, y son reversibles con sólo retornar a la altitud acostumbrada (McArdle, Katch & Katch, 1981).

II Experiencias de Laboratorio

Como parte del curso de Fisiología del Ejercicio de la Universidad de Costa Rica, se han realizado experiencias de fisiología en altura en tres ocasiones, en la cima del Volcán Irazú. El objetivo general de estas actividades fue el realizar mediciones de varios parámetros fisiológicos susceptibles de ser afectados por la altura, a 1200 y 3400 mts. de altitud.

En vista de la cantidad de variables involucradas, la metodología, los resultados y la discusión son presentados variable por variable, para mayor claridad. Por la naturaleza de este artículo, el número de sujetos y sus características (estudiantes universitarios de Educación Física de ambos sexos) no permite un análisis estadístico de los resultados; se pretende sencillamente mostrar el tipo de datos que se puede obtener con cada procedimiento y su utilidad para ilustrar los conceptos correspondientes.

Variable No. 1: Frecuencia Cardíaca en Reposo.

Objetivo:

Medir los cambios en la frecuencia cardíaca (F.C.) en reposo al subir de 1200 metros a 3400 metros de altitud.

Materiales:

Reloj con segundero.

Procedimiento:

Se sentó a cinco sujetos (tres hombres y dos mujeres) durante cinco minutos, en reposo absoluto; se midió el pulso radial o carótido durante un minuto. El procedimiento se realiza dos veces, una a cada altitud.

Resultados:

Los resultados de una de las pruebas se pueden apreciar en la tabla No. 2. De cinco sujetos, tres denotan un aumento, uno se mantiene igual, y uno disminuye la frecuencia cardiaca en reposo al pasar a la altura.

TABLA 2
Frecuencia cardiaca
en reposo

Sujeto	F. C. Ciudad Universitaria (latidos/minuto)	F. C. Irazú (lat/min)
GH	50	60
GS	60	60
JM	60	72
GG	78	60
XC	58	60

Discusión:

El cambio esperado se produjo sólo en tres de los cinco sujetos, en uno de los cuales fue casi imperceptible. Eso se puede explicar en función de que la frecuencia cardíaca en reposo se ve afectada por muchos otros factores además de la altura: temperatura ambiental, esfuerzo físico previo, nivel de ansiedad, proceso digestivo, etc., algunos de los cuales no se podían controlar adecuadamente.

Procedimiento sugerido:

Utilizar una muestra de sujetos más grande, y hacerlos que permanezcan ACOSTADOS durante 30 minutos antes de cada medición, sin ingerir alimentos, con el propósito de reducir las variables foráneas mencionadas en el párrafo anterior.

Variable No. 2: Función respiratoria en reposo.

Objetivo:

Comparar los valores de Volumen Corriente, Frecuencia Respiratoria, y Volumen Minuto Respiratorio en reposo, a 1200 metros y a 3400 metro de altitud.

Materiales:

Un respirómetro Collins.

TABLA 3

Función respiratoria en reposo

Sujeto	Frecuencia Respiratoria (ventilaciones/min.)		Volumen Corriente (ml)		Volumen Minuto (ml/min)	
	C. Universitaria	Irazú	C. Univ.	Irazú	C. Universitaria	Irazú
P.U.	12	12	700	1820	8400	21840
S.R.	7	10	1300	1490	9100	14900
C.G.	14	19	700	1200	9800	22800
L.O.	11	16	1000	1260	11000	20160

Procedimiento:

Se sentó a los sujetos durante cinco minutos, poniéndolos a respirar a través de una boquilla y con la nariz tapada con una prensa de nariz. Durante estos cinco minutos, los sujetos respiraron aire atmosférico para acostumbrarse a la boquilla. Luego se abrió la válvula para que respiraran oxígeno puro de un respirómetro Collins de 13,5 litros, durante tres minutos, y se tomó el registro del papel para obtener el volumen corriente promedio y la frecuencia respiratoria del tercer minuto. Multiplicando estos dos valores, se obtuvo el volumen minuto respiratorio. El mismo procedimiento se llevó a cabo a 1200 metros y a 3400 metros de altitud.

Resultados:

Los valores obtenidos pueden apreciarse en la tabla No. 3. En casi todos los casos ocurre un aumento en las tres variables, al pasar a la mayor altitud. El único sujeto que no aumenta su frecuencia respiratoria sí denota un gran aumento en el volumen corriente y, por ende, en el volumen minuto respiratorio.

Discusión:

Los valores obtenidos a 1200 metros son un poco bajos para la frecuencia respiratoria, pero altos para el volumen corriente. Esto puede obedecer a que el gas respirado era oxígeno puro, lo cual tiende a afectar el patrón normal de respiración. El cambio obtenido en altura es notable, se produce una hiperventilación. Sin embargo, a pesar de que la hiperventilación en reposo era la respuesta esperada, vale la pena analizar más a fondo por qué se esperaba ese comportamiento.

Ya se explicó anteriormente que, en condiciones de reposo, la hiperventilación en altura persigue mejorar la PO_2 en los alvéolos. Sin embargo, en este caso se estaba respirando oxígeno puro y, por lo tanto, la PO_2 inspirada era lo suficientemente alta (más de 450 Torr) como para no requerir de la hiperventilación. En otras palabras; esta prueba no debía arrojar ninguna diferencia, pues la PO_2 era siempre suficiente como para saturar totalmente la hemoglobina. En realidad, los resultados deben obedecer a un artificio, probablemente el mal funcionamiento del respirómetro utilizado.

Para corregir este problema, se propuso una variante en la medición: en lugar de llenar el respirómetro con oxígeno, llenarlo con aire atmosférico. Siguiendo la misma metodología pero con este cambio, se procedió a efectuar nuevas mediciones. Sin embargo, no fue posible obtener resultados en altura debido a que todos los sujetos empezaron a hiperventilar progresivamente después de unos pocos segundos de estar usando el respirómetro, alcanzando volúmenes inspiratorios muy altos y quitándose la boquilla antes de terminar el primer minuto de medición. Este fenómeno se debió, aparentemente, a que la cantidad de oxígeno presente en la campana del respirómetro no es suficiente para mantener la PO_2 adecuada durante toda la medición.

Procedimiento sugerido:

De estas pruebas es obvio que el respirómetro Collins no es adecuado para medir los cambios en los parámetros respiratorios mencionados como consecuencia de la altura. Se recomienda, por lo tanto, el uso de un respirómetro de mesa con aire atmosférico. El procedimiento propuesto es adecuado.

Variable No. 3: acidez.

Objetivo:

Determinar los efectos del ejercicio en altura sobre la excreción renal de hidrogeniones.

Materiales:

"Beakers" de 500 ml para recoger la orina, y papel de tornasol.

Procedimiento:

Los sujetos vaciaron la vejiga al inicio del experimento, desechando la muestra. Todos habían ingerido un desayuno ligero y luego se abstuvieron de ingerir alimentos hasta finalizada la prueba. Se les dividió en dos grupos: uno en reposo (grupo A) y otro en ejercicio (grupo B).

Los sujetos del grupo A obtuvieron muestras y midieron el pH a 1200 metros de altitud. Al llegar a los 3400 metros, se obtuvieron muestras nuevamente, pero éstas fueron desechadas. Después

de una hora en reposo a 3400 metros de altitud, se obtuvieron las últimas muestras y se les midió el pH.

Los miembros del grupo B midieron el pH de dos muestras: una obtenida a 3400 metros de altitud antes del ejercicio, y la otra luego de un ejercicio moderado de 40 minutos (caminata), exactamente una hora después de llegar al Irazú.

Resultados:

Los valores de acidez urinaria se incluyen en las tablas No. 4 y No. 5. El pH se mantuvo siempre entre 6 y 7, es decir, entre levemente ácido y neutro. Los cambios no muestran una tendencia fuerte en ninguno de los dos casos.

Discusión:

En este caso, tal y como se explicó anteriormente, se esperaba un aumento en el pH en reposo como consecuencia de la altitud, y una

TABLA 4
Acidez urinaria en reposo

Sujeto	pH C. Universitaria	pH Irazú
D.C.	6	7
E.A.	6	7
M.C.	7	7

TABLA 5
Acidez de la orina en ejercicio

Sujeto	pH Pre-ejercicio	pH Post-ejercicio
J.D.	7	7
A.M.	7	7
A.R.	6	7
G.S.	6	6
Y.C.	7	6

disminución en el pH como consecuencia de la actividad física.

En el caso del grupo en reposo, los resultados muestran una ligera tendencia hacia el aumento en el pH, lo cual era de esperar. Sin embargo, al utilizarse papel indicador que da resultado sólo en unidades enteras sin decimales, no fue posible apreciar cambios más leves. Se hace necesario, por lo tanto, utilizar algún indicador más preciso.

En el grupo en ejercicio (B) se cometió un error de procedimiento, ya que una muestra de orina contiene las sustancias que se han filtrado y excretado durante un cierto período, de manera que la medición del pH urinario pre-ejercicio era reflejo no sólo del metabolismo en ese momento, sino también del tiempo previo durante el ascenso en automóvil; además, el pH urinario post-ejercicio reflejaba no sólo el efecto del ejercicio sino la adaptación lenta a la altura, la cual podría haber contrarrestado los efectos del ejercicio. En resumen: como el pH urinario obedece a lo ocurrido en un período relativamente largo, es necesario tomar las precauciones necesarias para una sincronización adecuada entre la toma de muestras y la actividad por realizar.

Finalmente, la intensidad del ejercicio no fue la adecuada para obtener un aumento en la acidez urinaria, ya que el aumento ocurre especialmente cuando el ejercicio es más de tipo anaeróbico.

Procedimiento sugerido:

Utilizar dos grupos de sujetos, uno control y uno en ejercicio. Ambos grupos tomarán cinco muestras, desechando dos y utilizando las otras tres para mediciones, de la siguiente manera:

1. Muestra inicial al tiempo 0 min. altitud normal. Se desecha.
2. Muestra de altitud normal a los 30 minutos.
3. Muestra inicial al tiempo 0 min. de altura. Se desecha.
4. Muestra de altura pre-ejercicio, a los 120 minutos de altura.
5. Muestra de altura post-ejercicio, 150 minutos de altura.

El grupo control deberá mantenerse en reposo durante todo el experimento; el otro grupo deberá realizar ejercicio intenso de intervalos a velocidad, durante 20 minutos.

La medición de acidez deberá realizarse con un pHímetro, para obtener resultados en unidades y decimales de pH.

Variable No. 4: Frecuencia Cardíaca en ejercicio.

Objetivo:

Determinar los cambios en la frecuencia cardíaca (F.C.) por un ejercicio estándar a 3400 metros de altura, y compararlos con los ocurridos con el ejercicio en altitud normal.

Materiales:

Metronomo, gradas de Harvard para hombres y mujeres, y cronómetro.

Procedimiento:

Los sujetos realizaron el mismo protocolo en altitud normal y en altura. Se les tomó el pulso en reposo, sentados. Luego iniciaron un período de ejercicio de 5 minutos, subiendo y bajando de una banca de 50 cm (hombres) o de 40 cm (mujeres), a un ritmo de 30 subidas y bajadas por minuto, según la prueba de Aptitud Física del Laboratorio de Fatiga de Harvard (1942, en Astrand & Rodahl, 1977, p. 344). Inmediatamente después de finalizar el ejercicio, se les tomó el pulso

carótido de ejercicio, sin permitir la recuperación, durante 30 segundos.

Resultados:

Los valores de frecuencia cardíaca obtenidos se pueden observar en la tabla No. 6. En todos los casos, hubo un aumento en la F.C. de ejercicio al hacerse en altura, comparado con los resultados a 1200 metros de altitud.

Discusión:

Esta prueba ilustra muy bien el esfuerzo a que se ve sometido el sistema cardiovascular al hacer ejercicio en altura. El aumento en la F.C. es un esfuerzo del corazón por suministrar la cantidad de oxígeno necesaria para el trabajo realizado. Esta cantidad es, por definición, prácticamente la misma para las dos altitudes (a mayor altitud, el consumo de O₂ por trabajo respiratorio se aumenta, aunque el aumento es proporcionalmente muy bajo), pero es más difícil suministrarla cuando la PO₂ es baja.

Nótese que ninguna de las dos mujeres logró finalizar el trabajo de cinco minutos, pero aún así es evidente la diferencia de F.C. en ejercicio.

Vale la pena comentar que TODOS los sujetos se quejaron de dolor y fatiga muscular durante la prueba en altura, lo cual parece indicar que el

TABLA 6

Variaciones de la frecuencia cardíaca con el ejercicio y la altura

Sujeto	Tiempo ejercicio (min:seg)		F.C. Reposo (lat/min)		F.C. Ejercicio (lat/min)	
	C. Univer.	Irazú	C. Univ.	Irazú	C. Univ.	Irazú
G.H. (M)	5:00	5:00	50	60	116	188
G.S. (M)	5:00	5:00	60	60	102	130
J.M. (M)	5:00	5:00	60	72	114	188
G.G. (F)	4:40	3:50	78	60	140	200

trabajo involucró, en esas condiciones, un porcentaje considerable de producción de ATP por vía anaeróbica.

Se considera que este procedimiento es adecuado para cumplir el objetivo planteado.

Variable No. 5: Rendimiento deportivo.

Objetivo:

Determinar el efecto que tiene la altura sobre el rendimiento deportivo.

Procedimiento:

Cinco sujetos de condición física entre aceptable y buena fueron cronometrados al correr, haciendo un máximo esfuerzo, una distancia de 2400 metros; la prueba se realizó en altitud normal y en altura.

Resultados:

No existen publicables puesto que se cometió un error al medir la pista en altura y los sujetos corrieron una distancia equivocada.

Discusión:

A pesar de la ausencia de resultados es importante comentar que hubo dos condiciones especiales que afectaron la medición en altura: en primer lugar, que la superficie sobre la cual se corrió era arenosa y suelta, lo cual limita la velocidad; en segundo lugar, los sujetos se quejaron de molestias por gases de azufre. El azufre se presenta como contaminante atmosférico en forma de SO₂ y es irritante para las vías respiratorias, especialmente durante el esfuerzo físico (Horvath, 1981).

Procedimiento sugerido:

Se recomienda seguir el mismo procedimiento, pero utilizando sólo sujetos con experiencia en la carrera de media y larga distancia, para asegurarse de que hagan un esfuerzo máximo. La prueba en altitud normal debe realizarse en una superficie lastrada o arenosa; la prueba en altura deberá hacerse a mayor distancia del cráter del volcán, para reducir la aspiración de gases sulfurados.

III Conclusiones

Las experiencias realizadas son positivas. El Volcán Irazú, por su altitud y fácil acceso, presenta buenas condiciones para ilustrar los efectos de la altura sobre los parámetros fisiológicos comentados.

Es claro, sin embargo, que los procedimientos necesitan ser perfeccionados. En vista de que el objetivo principal de estas experiencias de laboratorio es el demostrar en la práctica los conceptos teóricos, es necesario obtener resultados más contundentes, como los de la variable No. 4. De otra manera, puede producirse más bien confusión, al verse obligado el profesor a explicar por qué no ocurrió lo que tenía que ocurrir. Para lograr esto se deben realizar las pruebas con el mismo rigor que se utiliza en la investigación científica, a la vez que los procedimientos deben ajustarse de manera que se intensifiquen los cambios esperados. Con ese propósito se cita en casi todas las variables la sección denominada "procedimiento sugerido".

Bibliografía

- Astrand, P.E & Rodahl, K. *Textbook of Work Physiology*, Mc Graw-Hill, New York. II Edition, 1977.
- Bert, P. "La Pression Barométrique", *Masson et Cie*, París, 1878. Citado por Astrand, 1977.
- Buskirk, E.R., Kollias, J., Picon-Reategui, E., Akers, R.F., Prokop, E, K. & Baker, P. "Physiology and Performance of track athletes at various altitudes in the United States and Peru", 1967. Citado por McArdle, Katch & Match, 1981.
- Dempsey, J.A. "Effects of acute through life-long hypoxic exposure on exercise pulmonary gas exchange", *Respiratory Physiology* 13: 62, 1971. Citado por McArdle, Katch & Katch, 1981.
- Faulkner, J. A., Lollias, J., Fauour, C.B., Buskirk, E.R. & Balke, B. B. "Maximum aerobic capacity and running performance at altitude" *Journal of Applied Physiology* 24: 685. 1968.

Horvath, S.M. "Impact of air quality in exercise performance" *Exercise and Sports Sciences Reviews* 9: 265-296, 1981.

Maher, J.T., Jones, L.G. & Hartley, L.H. "Effects of high-altitude exposure on submaximal endurance capacity of men" *Journal of Applied Phystology* 37: 895-898, 1974.

Mcardle, W.D., Katch, F.I. & Katch, V.L. *Exercise Physiology: Energy, Nutrition and Human Performance*. Lea & Febiger, Philadelphia, 1981.

Vander, A.J., Sherman, J.H. & Luciano, D.S. *Human Phystology: The Mechantisms of body function*. McGraw-Hill, New York. III Edition, 1980.