

A photograph of three cyclists riding on a red dirt road. The cyclist in the center is wearing a black and orange jersey and a white helmet, smiling at the camera. The cyclist on the right is wearing a blue and orange jersey and a black helmet, looking forward. The cyclist on the left is wearing a black and red jersey and a white helmet, also looking forward. The background shows green hills and mountains under a clear sky.

ALTITUD, EFICIENCIA DELTA Y COSTO ENERGÉTICO DURANTE EJERCICIO INCREMENTAL EN CICLISTAS AFICIONADOS

Autor: Víctor Manuel González Gutiérrez

Tercer lugar del Área Ciencias Aplicadas.

Categoría: Abierta.

Seudónimo Dr. Lobo.

Correo electrónico: medep17vic@yahoo.com.mx

RESUMEN

Objetivo: Determinar la influencia de la altitud sobre la eficiencia delta y costo energético, durante exposición aguda a la altitud. Determinar los valores de consumo máximo de oxígeno absoluto y relativo en dos diferentes altitudes.

Materiales y métodos: en siete ciclistas aficionados de la modalidad de ruta, se realizaron dos pruebas de tipo incremental aplicando la prueba de Astrand para cicloergómetro, la primera a 2,640 msnm en la Ciudad de Toluca y la segunda 4,450 msnm en el Volcán Nevado de Toluca, para observar los cambios en el rendimiento y el comportamiento de los valores de los signos vitales, de deportistas que viven en altitud elevada y son expuestos a altitud muy elevada.

Resultados: a 2,640 msnm la tensión arterial diastólica, correlacionó con consumo máximo de oxígeno absoluto, con calorías y con trabajo realizado.

PALABRAS CLAVE: *altitud, eficiencia delta, ciclistas.*

El consumo máximo de oxígeno relativo correlacionó negativamente con frecuencia cardiaca, también correlacionó con eficiencia delta. Claramente, calorías y trabajo realizado se comportaron como una misma variable con un coeficiente de correlación de 1.0 a ésta altitud, la eficiencia delta se puede pronosticar confiablemente a partir de la tensión arterial sistólica más consumo máximo de oxígeno relativo. A 4,450 msnm la tensión arterial diastólica correlacionó de manera intensa con consumo máximo de oxígeno absoluto, pero de manera negativa con calorías y con trabajo realizado y se repite la correlación fuertemente positiva de consumo máximo de oxígeno relativo con eficiencia delta. El mejor pronóstico de la eficiencia delta es con la frecuencia cardiaca y con el consumo máximo de oxígeno relativo.

Conclusión: la influencia de la altitud sobre la eficiencia delta y el costo energético deriva en una disminución de ambas.

Summary

Objective: To determine the influence of altitude on the delta efficiency and energy cost during acute exposure to altitude. Determine the values of maximum consumption of absolute and relative oxygen at two different altitudes.

Materials and methods: in seven amateur cyclists mode route, two tests of incremental type using test Åstrand to cycle ergometer, the first at 2,640 meters above sea level in the city of Toluca and the second 4,450 meters above sea level in the Nevado de Toluca were held, to observe changes in performance and behavior of the values of vital signs, athletes living in high altitude and are exposed to very high altitude.

Results: 2,640 m diastolic blood pressure, correlated with absolute maximum oxygen consumption with calories and work done. The maximum oxygen

consumption relative negatively correlated with heart rate, also correlated with delta efficiency. Clearly, calories and work behaved as a single variable with a correlation coefficient of 1.0 at this altitude, the efficiency delta can be predicted reliably from more systolic blood pressure relative maximum oxygen consumption. A 4,450 m diastolic blood pressure correlated intensively with absolute maximum consumption of oxygen, but with negative calories and work done so and strongly positive correlation of maximal oxygen uptake efficiency relative to delta is repeated. The best prognosis is delta efficiency with heart rate and maximum oxygen consumption relative.

Conclusion: the influence of altitude on the delta efficiency and energy cost results in a decrease of both.

KEYWORDS: *altitude, efficiency delta, cyclistS.*

INTRODUCCIÓN

Planteamiento del problema: Se ha observado la reducción de la capacidad de trabajo físico a grandes alturas, esta disminución es evidente a una altura de alrededor de 1,200 m en el caso de un ejercicio intenso en que participan grupos de grandes músculos durante alrededor de dos minutos o más.

Con fundamento en lo anterior decidimos plantearnos la siguiente pregunta de investigación: En un grupo de ciclistas aficionados, atendidos en el Centro de Atención Médica Integral en Actividad Física y Deporte de Toluca, Estado de México, durante el primer semestre de 2014 ¿será posible determinar la influencia de la altitud sobre la eficiencia delta y el costo energético? Variable independiente: altitud, variable dependiente: eficiencia delta y costo energético.

Antecedentes: (Bert, 1878 pp 1-53) “Los efectos perjudiciales de las grandes alturas se deben a la disminución de la presión parcial de oxígeno, a una presión barométrica reducida”. (Astrand, 1986, p 449). “La decisión de llevar a cabo los Juegos Olímpicos de 1968 en la ciudad de México, a una altura de 2300 m, creó un interés especial en los problemas vinculados con los efectos de la altura sobre el desempeño físico”. (Shephard, 1988, p 175) “En el XX Congreso Mundial de Medicina del Deporte en Melbourne 1974 la Federación Internacional de Medicina del Deporte FIMS aprobó una resolución, recomendando tener cuidado en altitudes superiores de 2290 msnm con la prohibición absoluta de realizar actividad física de competencia más allá de los 3050 m”. (Santalla, Naranjo y Terrados, 2009, pp 1096-1101) determinaron los cambios en la eficiencia muscular en 12 ciclistas de ruta de clase mundial, calcularon la eficiencia delta realizando una prueba incremental en la cual el cociente respiratorio fue de 1.



Propósito de la investigación: Determinar la influencia de la altitud sobre eficiencia delta y costo energético, durante ejercicio incremental en ciclistas aficionados, también, determinar en dos altitudes diferentes las características de la muestra: variables fisiológicas y antropométricas.

Fundamento teórico de la investigación: Existe déficit de conocimiento científico al no contar con información acreditada que indique el beneficio fisiológico y bioquímico que obtiene el deportista cuando lleva a cabo sesiones de entrenamiento en altitud.

MÉTODO

Muestra y selección de participantes

Universo: ciclistas aficionados del Estado de México integrantes de la selección estatal. Unidades de observación y criterios de selección: sexo masculino, de 20 a 30 años de edad, modalidad de ruta, cinco años de edad deportiva, en mismo mes o ciclo o iguales características de carga de trabajo, clínicamente sanos, al aceptar signaron carta de consentimiento informado (apéndice A). Criterios de exclusión: modalidad de velocidad (pista), sexo femenino, diferente mes o ciclo de preparación. Criterios de eliminación: Presentar lesión o patología, toma inconclusa de información. Muestra a conveniencia.

Procedimiento

Métodos para recolectar datos: Se utilizó formato para toma de historia clínica (apéndice B), se elaboraron formas modelo para captura de variables (apéndice C) y pruebas ergométricas (apéndice D). Instrumentos utilizados: Cicloergómetro con freno mecánico Monark Ergomic B- 818 (Suecia), electrocardiógrafo Logos 8821 (U.S.A), Espirómetro Spirometric's INC SM1(U.S.A), báscula clínica con contrapesos Bame (México), monitor Polar PC Coach Light (Finlandia), esfigmomanómetro aneroides Adex (México), fonendoscopio Marshall (México), cronómetro Casio 880-JC-11 (México), Lap Top Hewlett-Packard HP 455 (U.S.A.), ambulancia, maletín médico, equipo rojo, oxígeno portátil, termómetro clínico, pilas alcalinas AA, software estadístico SPSS-PC 15. Para la evidencia de validez y nivel de confiabilidad de los instrumentos empleados se procedió a la calibración y verificación de su correcto funcionamiento de acuerdo a las normas del fabricante.

Se diseñó un estudio prospectivo, longitudinal, secuencial, analítico, con intervención deliberada, auto controlado. Los sujetos participantes fueron sometidos a dos intervenciones de acuerdo con las normas éticas del comité institucional y según la Declaración de Helsinki de 1975 en su versión de 1983, la primera en el Centro de Actividad Física y Deporte en la ciudad de Toluca, Estado de México (CT) a 2, 640 msnm y la segunda, catorce días después en el albergue de acceso al cráter del volcán Nevado de Toluca (VNT) a 4, 450 msnm. La forma en que se llevó a cabo la toma de información y

las mediciones, fue bajo los lineamientos del proceso de investigación científica y ejecutada por tres médicos especialistas en Medicina del Deporte y un Máster en Ciencias del Ejercicio y del Deporte. Descripción de las intervenciones.

- 1. Demarcación del estado inicial:** Se conformó un grupo de ciclistas aficionados, con el objetivo de determinar la influencia de la altitud sobre la eficiencia delta y costo energético.
- 2. Intervención:** Se realizaron dos pruebas ergométricas en cicloergómetro con freno mecánico, se utilizó el protocolo de (Astrand, 1986, p 249), la primera en la cT a 2, 640 msnm y la segunda dos semanas después en el albergue del cráter del VNT a 4, 450 msnm, se organizó el proceso estadístico.
- 3. Estado final:** Se examinaron los datos obtenidos, comparando los resultados entre las dos altitudes, se obtuvieron los resultados, se realizó la discusión y se elaboraron las conclusiones.

El estudio se realizó con siete ciclistas aficionados de la modalidad de ruta, se elaboró historia clínica (apéndice B), se tomó electrocardiograma de reposo de 12 derivaciones, se llevó a cabo espirometría para determinar el diagnóstico situacional de salud de los deportistas y para descartar patología cardiopulmonar o de otro tipo, se determinó el peso corporal, utilizando una báscula clínica de contrapesos con margen de error de 100 g, se determinaron en reposo: frecuencia cardíaca (FC) en un minuto, frecuencia respiratoria (FR), temperatura corporal axilar y tensión arterial (TA) utilizando esfigmomanómetro aneroides con margen de error de 2 mm Hg. Se obtuvo la FC máxima, mediante la fórmula 210 menos la edad (para cicloergómetro), también se calculó la FC al 80% y 90% de la FC máxima. Capturando los datos en el apéndice C. Una vez que los deportistas pasaron la evaluación inicial, estuvieron libres de síntomas y no existieron contraindicaciones relativas o absolutas, reunieron los criterios de inclusión, previamente al inicio de la prueba, se tomó la FC y la TA, posteriormente se calibró el cicloergómetro y a continuación se procedió a realizar la ergometría, para determinar el consumo de oxígeno (VO₂) se utilizó el método indirecto. Colocamos en el quinto espacio intercostal la banda del monitor de FC, el

deportista realizó un calentamiento de 3 minutos a 30 watts, y a continuación se inició el protocolo con una carga de 50 watts con frecuencia de pedaleo a 60 revoluciones por minuto (rpm), a los 2 minutos y 30 segundos de esta primera etapa, se procedió a tomar la TA y la FC, con el fin de observar si el deportista presentaba alguna alteración del aparato cardiovascular durante el esfuerzo, a continuación se incrementaron 50 watts a las mismas 60 rpm, cada 3 minutos tiempo de duración para cada una de las etapas de éste protocolo, a partir de la segunda etapa, se capturaron las cifras de TA y FC a los 2.30 y 2.57 minutos respectivamente, el aumento de las cargas siguió y se consideraron como parámetros de finalización de la prueba los siguientes datos: el 90% de la FC máxima del deportista, TA: 250 mm Hg sistólica, 120 mm Hg diastólica, fatiga local o general del atleta. (American College of Sports Medicine, 2000, pp 241-2). Continuamos con el período de recuperación, observamos las condiciones integrales del ciclista, llevamos a cabo la monitorización del atleta quien siguió pedaleando con una carga de trabajo de 30 watts durante 5 minutos para que tuviera recuperación activa, se tomó la FC y la TA en los minutos uno, tres y cinco, se le preguntó si presentaba algún síntoma o molestia, para proceder a su atención, al no tener alteraciones morfo funcionales o patología alguna, se le indicó reposo pasivo.

Al concluir el protocolo, se obtuvo el valor del consumo máximo de oxígeno absoluto ($VO_2 \text{ max A}$) utilizando el método indirecto, por medio de la aplicación de la siguiente fórmula: $VO_2 \text{ máx.} = \text{Watt (12)} + 350$, también se obtuvo el consumo máximo de oxígeno relativo ($VO_2 \text{ max R}$) mediante ésta fórmula: $VO_2 \text{ max A}$ dividido por peso corporal. (Astrand, 1984, pp 1-5).

Eficiencia delta. Definición: Determinante fisiológica del desempeño en ciclistas. Es el porcentaje de trabajo realizado por minuto-1 (watts convertidos a Kcal por minuto-1 resultando una unidad denominada Watt metabólico) convertida en energía gastada (Kcal/minuto-1) o costo energético. El cual ha sido postulado para ser la mejor variable validada como indicador predictivo de la eficiencia muscular en ciclistas de ruta. El aislamiento del costo energético de la musculatura implicada en el pedaleo y los procesos relacionados directamente con la producción de fuerza, por lo tanto, se deben descartar y eliminar otros procesos diferentes a los de la producción mecánica, entre ellos están: metabolismo de la producción de calor, gasto metabólico basal, liberación y recaptación del calcio del retículo sarcoplásmico, así como también, el costo energético del movimiento de

miembros torácicos. Entre las determinantes de la eficiencia muscular están: porcentaje de fibras musculares, edad, patrón de activación, velocidad de contracción muscular (ciclo excitación-contracción), cadencia de pedaleo y nivel de entrenamiento.

Cálculo de eficiencia delta: como la inversa de la pendiente de la regresión lineal ($y = ax + b$) de la relación entre el gasto energético por minuto-1 y: (en Kcal por minuto-1), y el trabajo alcanzado por minuto-1 x: (en Watt metabólico).

$\text{Eficiencia delta \%} = \text{pendiente} [\text{trabajo min-1 (kcal min-1)} / (\text{energía/min-1 (Kcal/min-1)})]$. (Santalla, Naranjo, Terrados, 2009, pp 1096-7).

Una segunda fórmula para calcular la eficiencia delta es descrita por (Coyle et al, 1992, pp 782-

8) quien refiere que es aproximadamente del 50 al 70% del consumo máximo de oxígeno relativo.

La eficiencia delta, sí puede dar una estimación razonable de la eficiencia muscular y ha sido propuesta como la mejor forma para estimarla, siempre con intensidades de ejercicio



que impliquen cociente respiratorio menor a uno.

Costo energético. Definición: Cantidad de kilocalorías utilizadas para realizar un trabajo.

Determinación: Se usó una ecuación de regresión, basada sobre el equivalente del oxígeno térmico para el cociente respiratorio sin consumo de proteínas:

$$\text{Costo energético} \\ (\text{Kcal}/\text{min}-1) = \text{VO}_2 (1.2341/\text{RER} + 3.8124)$$

Donde:
VO₂ = consumo de oxígeno.

RER = Cociente respiratorio = 0.85 sin consumo de proteínas. (50.7% carbohidratos y 49.3% lípidos).

Por otra parte, la determinación del trabajo realizado se obtuvo de la siguiente manera: 69.7 Watt/kcal-1/ min-1 de donde surgió una unidad denominada Watt metabólico. Se hicieron cálculos al final de la etapa número uno de la ergometría y después hasta el final de la capacidad de potencia máxima, donde se tomó el cociente respiratorio como 0.85 (con producción de energía de 4.86 Kcal/l O₂ con participación de 50.7 de carbohidratos y 49.3% de lípidos como

precursores de energía) lo cual normalmente ocurre entre 300 y 350 Watts (Santalla, Naranjo, Terrados. 2009, p 1098).

La segunda prueba ergométrica se llevó a cabo dos semanas después, en el albergue de acceso al cráter del VNT a 4,450 msnm (con diferencia de altitud entre la cT y el VNT de 1,810 m).

Los deportistas tomaron el desayuno en su domicilio a las siete horas (apéndice D). Arribamos a alta altitud VNT a las 9 horas, se procedió a tomar signos vitales en reposo, (apéndice C), se recomendó a los deportistas que estuvieran bien cubiertos para evitar el aumento de la frecuencia cardiaca por la exposición al frío (variable extraña), a continuación se realizó la ergometría siguiendo la misma metodología que aplicamos en la ciudad de Toluca.

Control de variables: Dieta (variable extraña) antes y después de las evaluaciones ergométricas y durante el tiempo del estudio, se les dieron indicaciones a los deportistas para que siguieran las recomendaciones para llevar a cabo su alimentación.

FC (variable extraña) dos semanas antes de las pruebas ergométricas, los ciclistas realizaron ejercicio físico (variable extraña) a intensidad moderada al 60% de su FC máxima, el día previo a las dos valoraciones los ciclistas no realizaron ejercicio físico.

Temperatura corporal (variable extraña). Los deportistas permanecieron bien cubiertos, dentro de los vehículos de transporte, para que el frío del medio ambiente no disminuyera su temperatura.

Enseñanza de la metodología: El equipo interdisciplinario se reunió con los atletas, para instruirlos e informarles a cerca de la sistematización y secuencia del estudio.

Captura y procesamiento estadístico de datos: Se realizó una base de datos en el programa estadístico SPSS versión 13, se efectuó proceso estadístico, descriptivo; con medidas de tendencia central y de dispersión, para definir las características de la muestra. Se consideró, para este estudio un intervalo de confianza del 95% y las diferencias se estimaron significativas con una $p < 0.05$. Estadística inferencial: para comparar resultados de los valores inicial y valor final se utilizó t de

Student para muestras pareadas tomando en cuenta las siguientes datos: VO₂ maxA y VO₂maxR, eficiencia delta, calorías (gasto calórico).



RESULTADOS

La edad, peso corporal, VO₂ max A, VO₂ max R, eficiencia delta y calorías se encontraron como se muestra en los cuadros 1 y 2.

	Ciudad de Toluca, 2640 msnm				Volcán Nevado Toluca, 4450 msnm				
	Peso Kg.	VO ₂ max A mL*min	VO ₂ max R. mL*Kg	Ef. Delta %	Kcal	VO ₂ max A	VO ₂ max R	Ef. Delta	Kcal
1	79	3950	50.00	20.00	12.05	3350	42.50	16.96	10.57
2	82	4550	55.48	27.74	13.69	3950	48.17	24.08	12.20
3	65	3350	51.53	20.61	10.16	2750	42.30	16.92	8.75
4	87	3950	45.40	18.16	11.90	3350	38.50	15.4	10.44
5	73	3950	54.10	27.05	12.05	3350	45.89	22.94	10.57
6	63	3350	53.17	21.26	10.44	2750	43.65	17.46	8.99
7	80	3350	41.87	16.74	10.29	2750	34.37	13.74	8.86

Cuadro 1. Características iniciales de la muestra: Variables antropométricas y fisiológicas registradas.

Fuente: Hoja de concentración de datos.

	Intervalo	Promedio	Desviación estándar
Edad (años)	22 a 30	25.7	3.1
Peso corporal (Kg)	63 a 87	75.5	8.9

Cuadro 2. Edad y peso de ciclistas aficionados mexiquenses.

Fuente: Hoja de concentración de datos.

Al comparar el rendimiento atlético mostrado en la cT contra el registrado en el VNT, únicamente en las tensiones arteriales diastólica ($p = 0.22$) y sistólica ($p = 0.46$) no se observaron diferencias. (Cuadro 3).

Variables	Lugar de Realización		P
	Ciudad de Toluca	Volcán Nevado de Toluca	
Frecuencia respiratoria	18.0 (0.5)	25.7 (1.3)	0.016
Tensión arterial diastólica	81.1 (6.2)	76.8 (4.1)	0.224
Tensión arterial sistólica	124.5 (3.9)	126.0 (5.0)	0.461
Temperatura corporal	36.7 (0.12)	36.5 (0.07)	0.023
Frecuencia cardiaca	67.4 (8.7)	80.4 (4.1)	0.018
VO ₂ max absolute	3778.5 (453.5)	3178.5 (453.5)	0.008
VO ₂ max relative	50.2 (4.9)	42.1 (4.5)	0.018
Calorías	18.4 (2.4)	15.4 (2.4)	0.018
Eficiencia delta	21.6 (4.2)	18.2 (3.8)	0.018
Trabajo realizado	1283.07 (174.0)	1079.7 (171.1)	0.018

Cuadro 3. Comparación de variables fisiológicas y ergométricas de ciclistas aficionados, según lugar de ejecución de la prueba.

En la cT la FC estuvo negativamente correlacionada con la edad ($r = -0.709$, $p = 0.07$), de manera que a mayor edad menor fue la FC observada; por otra parte, el peso correlacionó intensamente con la FC de manera positiva con un coeficiente 0.825 ($p = 0.02$) es decir, que a mayor peso corporal correspondió mayor FC, además, a mayor peso corporal mayores fueron las cifras de VO2 max A, mayores calorías y mayor trabajo realizado, aunque, probablemente debido al pequeño tamaño de la muestra, las correlaciones no fueron significativas (coeficientes 0.620, 0.601, con $p = 0.13$, $p = 0.15$ y $p = 0.15$ respectivamente). La tensión arterial diastólica (TAD) estuvo correlacionada positivamente con VO2 max A ($r = 0.792$, $p = 0.03$) con calorías ($r = 0.784$, $p = 0.03$) y con trabajo realizado ($r = 0.784$, $p = 0.03$). La temperatura

corporal estuvo correlacionada negativamente con la FC ($r = -0.822$, $p = 0.02$) de igual manera que VO2 max R correlacionó negativamente con FC ($r = -0.762$, $p = 0.04$). Por último VO2 max A correlacionó con igual intensidad tanto con calorías ($r = 0.998$, $p = 0.0001$) como con trabajo realizado ($r = 0.998$, $p = 0.0001$) mientras que VO2 max R lo estuvo con la eficiencia delta ($r = 0.871$, $p = 0.01$). Es importante señalar claramente que calorías y trabajo realizado se comportan como una misma variable con coeficiente de correlación de 1.0.

Ahora bien, al pasar a las pruebas realizadas en VNT, se pierde la intensidad de la correlación negativa de la edad con la FC ($r = -0.11$, $p = 0.80$) y la correlación positiva del peso con la FC ($r = 0.512$, $p = 0.24$) (gráficos 1 a 4).

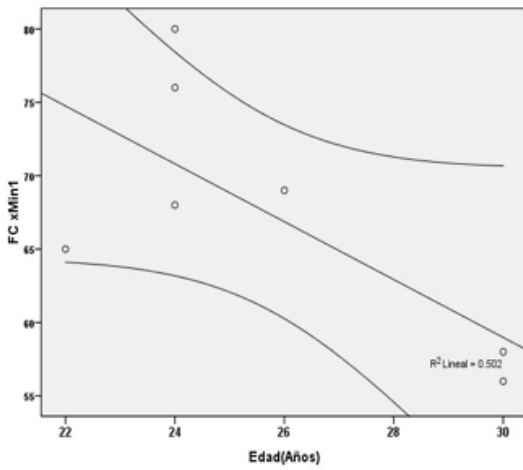


Gráfico 1. Correlación edad con FC ciudad de Toluca ($r = -0.709$, $p = 0.07$).

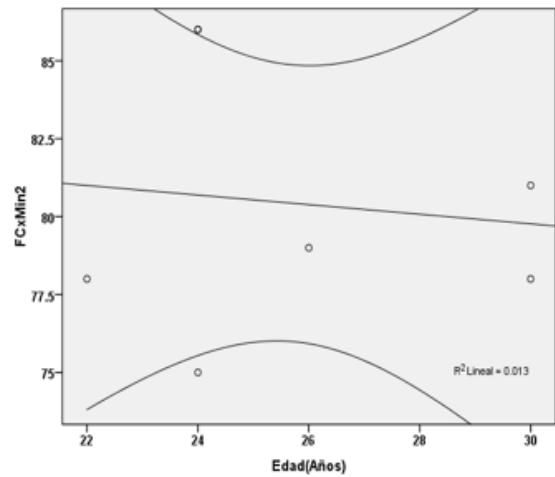


Gráfico 2. Correlación edad con FC Nevado de Toluca ($r = -0.11$, $p = 0.80$).

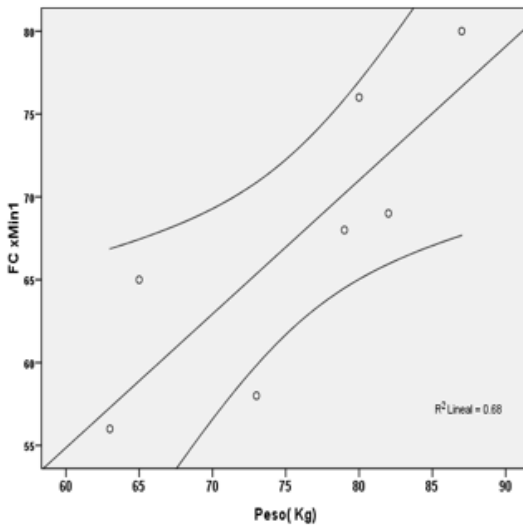


Gráfico 3. Correlación Peso con FC ciudad de Toluca ($r = 0.825$, $p = 0.02$)

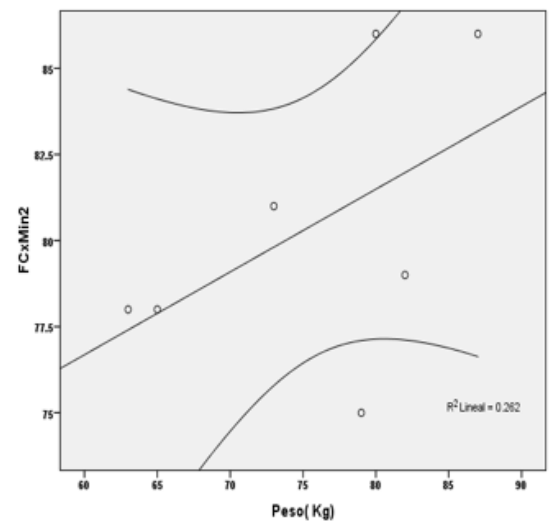


Gráfico 4. Correlación peso con FC Nevado de Toluca ($r = 0.512$, $p = 0.24$)

No obstante, se mantuvieron con similares coeficientes las correlaciones del peso con el VO₂ Max absoluto ($r = 0.620$, $p = 0.13$), con calorías ($r = 0.604$, $p = 0.15$) y con trabajo realizado ($r = 0.64$, $P = 0.15$) entre ambos lugares de ejecución de la ergometría.

Por otro lado, en el volcán Nevado de

Toluca, la frecuencia respiratoria correlacionó significativamente con temperatura corporal ($r = 0.745$, $p = 0.05$) lo cual no se observó en la ciudad de Toluca cuyo coeficiente de correlación fue negativo y bajo; pero más intensa fue la correlación de la tensión arterial diastólica con temperatura corporal en volcán Nevado de Toluca, gráficos 5, 6 y 7.

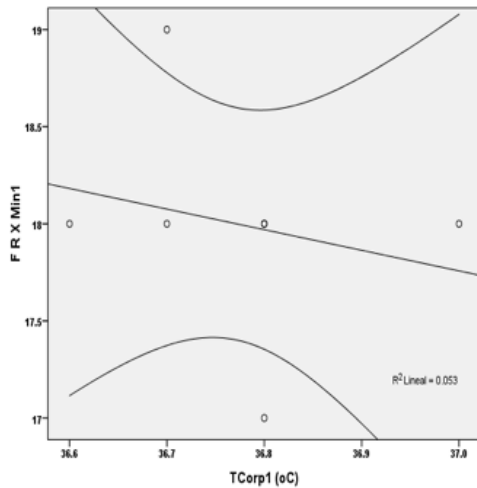


Gráfico 5. Correlación FR con Tcorp ciudad de Toluca ($r = -0.23$, $p = 0.61$).

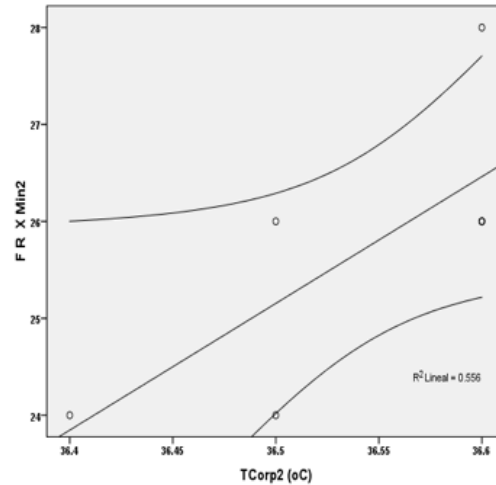


Gráfico 6. Correlación FR con Tcorp Nevado de Toluca ($r = 0.745$, $p = 0.05$).

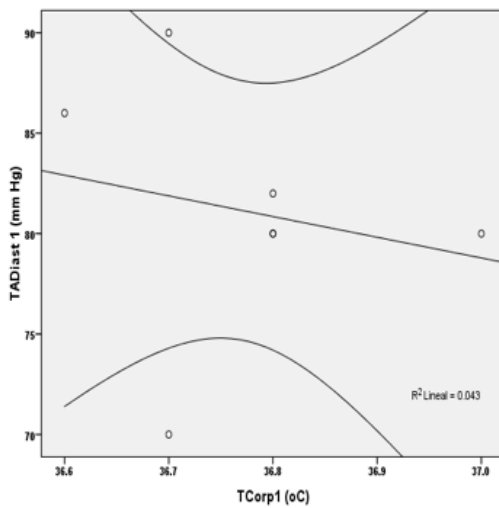


Gráfico 7. Correlación TAD con Tcorp ciudad de Toluca ($r = -0.20$, $p = 0.65$).

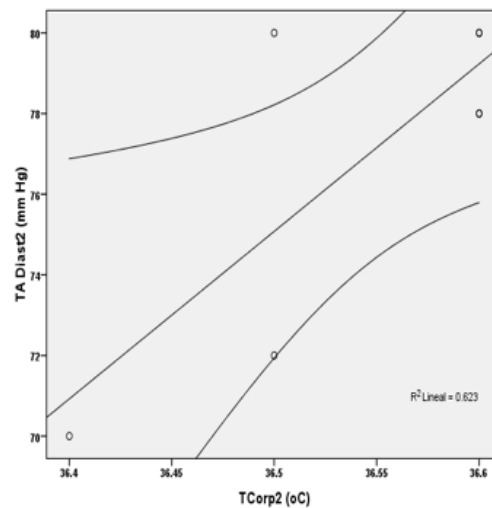


Gráfico 8. Correlación TAD con Tcorp Nevado de Toluca ($r = 0.789$, $p = 0.03$).

Por lo demás, en el volcán Nevado de Toluca, TAD correlacionó de manera intensa con VO_{2max}, con calorías y con trabajo realizado, pero a diferencia de lo observado en la ciudad de Toluca

en el volcán Nevado de Toluca las correlaciones fueron negativas; de hecho, las correlaciones están invertidas como imagen de espejo ver gráficos 9 a 14.

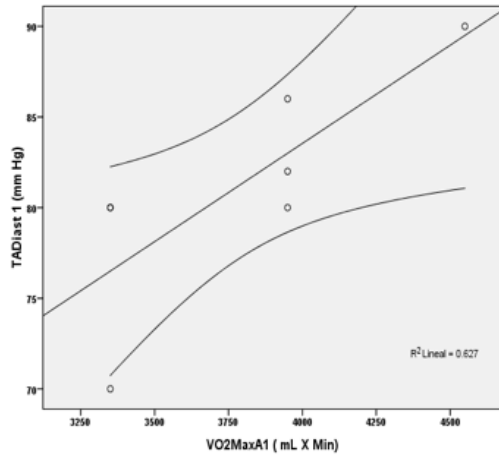


Gráfico 9. Correlación TAD con VO2 máxima absoluta, ciudad de Toluca ($r = 0.792$, $p = 0.03$).

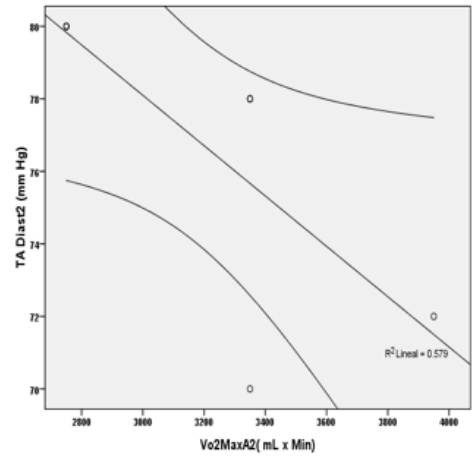


Gráfico 10. Correlación TAD con VO2 máxima absoluta, Nevado de Toluca ($r = -0.761$, $p = 0.04$).

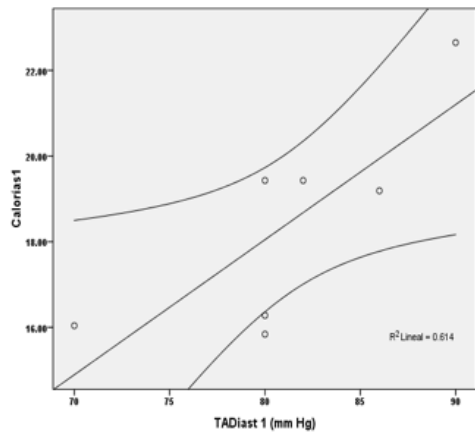


Gráfico 11. Correlación TAD con calorías, ciudad de Toluca ($r = 0.784$, $p = 0.03$).

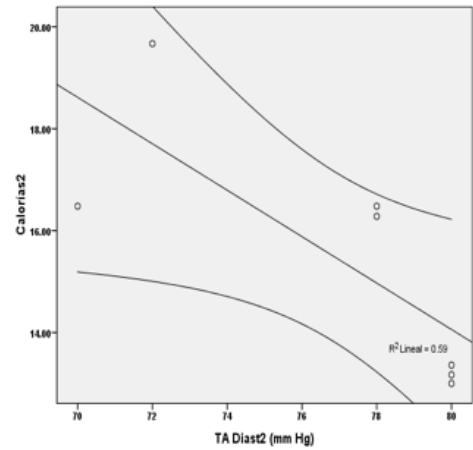


Gráfico 12. Correlación TAD con calorías, Nevado de Toluca ($r = -0.768$, $p = 0.04$).

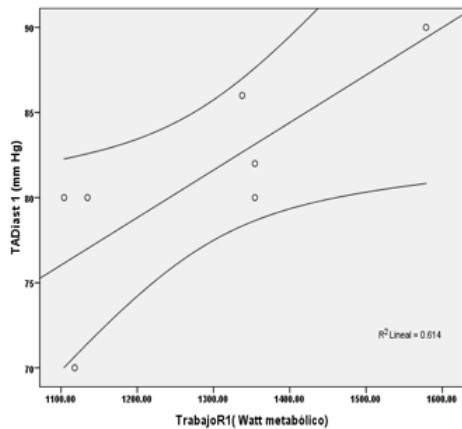


Gráfico 13. Correlación TAD con Trabajo R, ciudad de Toluca ($r = 0.784$, $p = 0.03$).

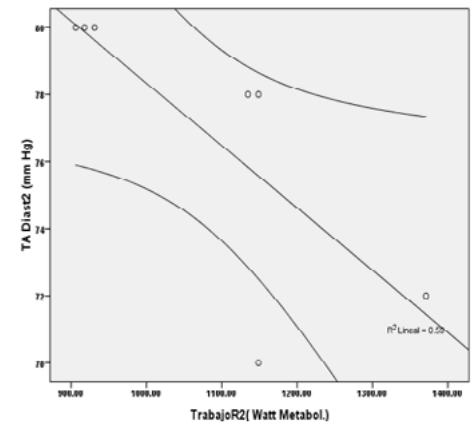


Gráfico 14. Correlación TAD con Trabajo R, Nevado de Toluca ($r = -0.768$, $p = 0.04$).

Observemos (gráficos 9 al 14) que en la ciudad de Toluca a mayor VO2 max A, mayores calorías y mayor trabajo realizado (que además fueron promedios más altos que los observados en

el volcán Nevado de Toluca, mayor es la TAD; en cambio, en el volcán Nevado de Toluca (con promedios más bajos que los observados en la ciudad de Toluca) cuanto mayor es VO2 max A,

mayor las calorías y mayor el trabajo realizado, menor es la TAD.

Debemos enfatizar que en ambos lugares donde se llevó a cabo la ergometría, VO2 max absoluto, calorías y trabajo realizado se comportan como una misma variable con coeficientes de correlación cercanos a la unidad y de manera positiva; por otro lado, en el volcán Nevado de Toluca no se observó la correlación negativa entre VO2 max R con la FC ($r = -0.762$, $p = 0.04$) observada en la ciudad de Toluca; no obstante, en el volcán Nevado de Toluca se repite la correlación fuertemente positiva de VO2 max R con la eficiencia delta ($r = 0.912$, $p = 0.004$) que también se observó en la ciudad de Toluca ($r = 0.871$, $p = 0.01$), pero además en el volcán Nevado de Toluca se observaron correlaciones importantes entre calorías y trabajo realizado con la eficiencia delta ($r = 0.724$, $p = 0.06$ para ambos es decir, calorías con eficiencia delta y trabajo realizado con eficiencia delta, respectivamente).

Es importante mencionar que no tiene sentido realizar la regresión lineal de calorías con trabajo realizado, porque ambas variables están fuertemente correlacionadas con un coeficiente cercano a 1.0 y por tanto son colineales y cualquier regresión sería redundante; ello tanto si la prueba ergométrica se realiza en la ciudad de Toluca como en el volcán Nevado de Toluca. Es claro, de acuerdo al cuadro 3, que el consumo de oxígeno, las calorías y la eficiencia delta son menores en el volcán Nevado de Toluca. En cambio, lo que sí puede tener sentido es la predicción de la eficiencia delta a partir de otras variables independientes.

Para el caso de la ciudad de Toluca, después de haber descartado todas las posibles variables predictoras con el método de pasos hacia adelante, la eficiencia delta se puede pronosticar confiablemente a partir de la tensión arterial sistólica más VO2 max R de la siguiente manera (R múltiple 0.871 , $p = 0.01$)

Modelo	Coeficientes no estandarizados		Coeficientes tipificados	T	Sig.
	B	Error típ.	Beta		
(Constante)	-75.648	22.566		-3.352	.029
TA Sist 1 (mm Hg)	.442	.160	.414	2.764	.051
VO2max 1 (ml x Kg x Min)	.842	.128	.986	6.577	.003

a. Variable dependiente: Ef Delta 1 (%)

De donde: **Eficiencia Delta ciudad Toluca = -75.648 + 0.442 (TAS) + 0.842 (VO2max Relativo)**

En cambio para el caso del volcán Nevado de Toluca, la mejor predicción sería con la FC y con el VO_{2max} relativo (r múltiple 0.965 , $p = 0.0059$)

Modelo	Coeficientes no estandarizados		Coeficientes tipificados	T	Sig.
	B	Error típ.	Beta		
(Constante)	-54.220	17.436		-3.110	.036
FC x Min 2	.381	.159	.417	2.396	.075
VO2max 2 (ml x Kg x Min)	.991	.145	1.184	6.810	.002

a. Variable dependiente: Ef Delta 2 (%)

De donde: **Eficiencia Delta volcán Nevado = - 54.220 + 0.381 (FCxMin2) + 0.991 (VO2max Relativo)**

DISCUSIÓN

Uno de los hallazgos en este estudio es que sí influye la altitud (2,640 m vs 4,450 m en ciudad de Toluca y volcán Nevado de Toluca, respectivamente) para que por consecuencia haya disminución de la eficiencia delta, costo energético y trabajo. En este sentido ha sido reportado que a mayor altitud hay menor presión barométrica (416 torr) y menor presión parcial de oxígeno en el aire inspirado (82 Torr) (West, 1986, pp 645-744) lo cual es un factor determinante para disminución del VO_2 max A (Robergs, et al, 1998 p 869-79; Wehrin, Hallen, 2006, pp 404-12; Mollard, et al, 2007, p 186-92; Wagner, 2010, p209-15) esto conduce a menor generación de ATP y calor en la cadena respiratoria, con la consecuente disminución de trabajo muscular realizado, lo cual coincide con nuestros resultados, ya que los watts obtenidos en la mayor altitud fueron menores a los obtenidos en altitud menor [1,079 Watts Metabólico (W M) vs 1,283 W M, respectivamente].

En la ciudad de Toluca la FC correlacionó negativamente con la edad, a mayor edad menor FC, el motivo de esta correlación es que la edad reduce la capacidad del corazón para bombear sangre (Richalet, 2012, pp 638-43). A mayor edad, se presenta pérdida gradual de la fuerza de contracción causada en parte por un descenso en la actividad de Ca^{++} -miosina ATPasa. La mayor rigidez de las paredes del corazón origina disminución del volumen latido y retraso del llenado ventricular (Asmussen, 1985, pp778-89).

Asimismo, en la ciudad de Toluca se observó la correlación: A mayor peso correspondió mayor VO_2 max A, mayores calorías y mayor trabajo realizado. Desde luego, se requiere más energía en una persona de mayor peso, para llevar a cabo la misma carga de ejercicio físico (Mc Daniel, et al, 2002, pp 823-8).

En el volcán Nevado de Toluca, se encontró una correlación positiva entre la TAD y temperatura corporal (Blomquist, Saltin, 1983, p169-189) reportaron que el beneficio en el sistema cardiovascular por la práctica de actividad aeróbica es la adaptación arterial durante el ejercicio debido a que existe interacción entre los grandes vasos, medianos y pequeños o periféricos y el corazón, que es modulada por el sistema nervioso

simpático y por factores locales responsables de autorregulación a nivel arterial y arteriolar.

En el volcán Nevado de Toluca correlacionó negativamente la TAD con el VO_2 max A, calorías y trabajo realizado. (Bordillon, et al, 2009, pp 50-61) han informado que la exposición aguda a la hipoxia por encima de 4000 m provoca una disminución del VO_2 max A, a partir de la disminución del contenido arterial actual de oxígeno, exponen la hipótesis de que la transferencia de oxígeno dentro del músculo activo juega un papel importante, para esto se ha utilizado espectroscopía infraroja (NIRS) para evaluar la concentración de oxi hemoglobina y desoxi hemoglobina.

También en el Nevado de Toluca, se observó la correlación positiva entre calorías y eficiencia delta. En este sentido, es un hecho bien conocido que existe una gran correlación entre estas dos variables como lo refiere (Hegsted, 1974, pp 32-7). El ejercicio físico ejerce un factor importante sobre el metabolismo al demandar las calorías necesarias para llevar a cabo los movimientos para una actividad determinada. En el caso de la eficiencia delta considerada como el porcentaje de trabajo realizado por minuto-1 resulta elemental considerar que sin energía provista por las calorías no existe trabajo físico.

De igual manera, en el volcán Nevado de Toluca se observó la correlación positiva entre trabajo realizado y eficiencia delta. De acuerdo con (Santalla, Naranjo y Terrados, 2009, pp 1096-1101) refieren que están fuertemente correlacionadas estas variables; el trabajo realizado proviene de la ecuación $W=F/L$ la unidad de fuerza es el newton y la de distancia es el metro, por lo tanto, la unidad de trabajo es N/m.

Para pronosticar la eficiencia delta en la ciudad de Toluca, se encontró que las variables más útiles son: Tensión arterial sistólica y VO_2 max R. En este sentido lo reportado por (Coyle, 1995, pp 25-63) nos guía para describir esta correlación.

En el volcán Nevado de Toluca, las variables recomendadas para pronosticar la eficiencia delta son: la frecuencia cardiaca y el VO_2 max R como lo estudiaron (Pugh, 1967, pp 619-646; Clausen, 1977, pp779-815).

CONCLUSIONES

Una vez expuestos y analizados los resultados obtenidos, concluimos que:

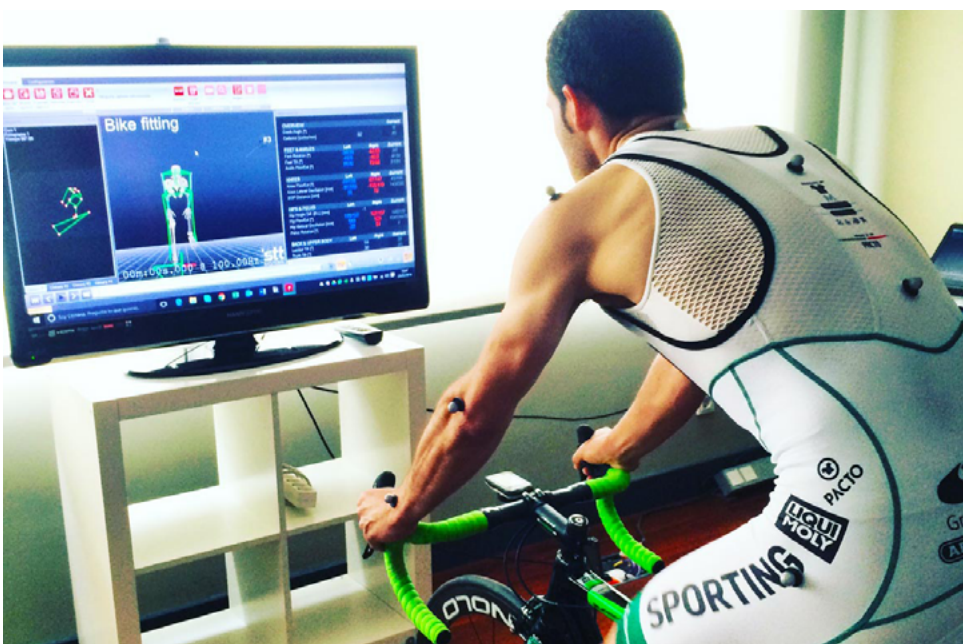
1. Se observó una disminución estadísticamente significativa sobre la eficiencia delta y el costo energético cuando los atletas fueron estudiados en el volcán Nevado de Toluca.
2. Debido a lo anterior, consideramos que se ha verificado nuestra hipótesis en el sentido de que la mayor altitud disminuye ambas variables (la eficiencia delta y el costo energético), por lo cual interpretamos como la aceptación de nuestra hipótesis.
3. En este estudio no se pudo calcular la eficiencia delta utilizando la ecuación de regresión lineal: $(y = a + bx)$ porque las variables trabajo realizado y gasto energético resultaron fuertemente correlacionadas. Por ello se optó por calcularla por la fórmula propuesta por (Coyle, et al, 1992, pp 782-8) aplicando el 60% al VO₂ max R del deportista.
4. La frecuencia cardiaca y respiratoria aumentaron con la exposición a la altitud lo cual coincide con (Clausen, 1977, pp 779-815).

Principales aportaciones y recomendaciones de la investigación.

Poner a disposición del equipo interdisciplinario y de los implicados en las Ciencias del Ejercicio y del Deporte los resultados de esta investigación para orientar y considerar su utilidad al momento de planificar entrenamientos o campamentos en altitud, pueden ayudar a establecer una intensidad apropiada de las sesiones de entrenamiento, y los datos que se obtengan pueden ser útiles en la evaluación de la respuesta a nuevos planes de entrenamiento.

Se recomienda establecer una línea de investigación para estudiar las modificaciones y adaptaciones del organismo al realizar ejercicio en altitud, ofrecer asesoría a deportistas, sedentarios y público en general que decidan entrenar en altitud.

Realizar investigaciones con atletas de otros deportes, para tener parámetros fisiológicos bioquímicos y físicos de diferentes disciplinas deportivas; la instalación de un laboratorio de fisiología y bioquímica del ejercicio en altitud, con el fin de generar estudios y compararlos con los de otras partes del mundo, así como, acercar y tener acceso a la tecnología en estos centros de entrenamiento en altitud, facilitar y promover la elaboración de estudios de investigación en este ámbito.



REFERENCIAS

- 1.- American College of Sports Medicine. (2000). Manual de Consulta para el Control y la Prescripción de ejercicio. Barcelona, España. Paidotribo.
- 2.- Asmussen, E; Nielsen, M. (1985) Cardiac output during muscular work and its regulation. *Physiol Rev* 35: 778-89.
- 3.- Astrand, P. (1984) Principles in ergometry and their implications in sports practice. *Sport Med* 1: 1-5.
- 4.- Astrand, P. (1986) Fisiología del Trabajo Físico. Buenos Aires, Argentina. Panamericana.
- 5.- Bert, P. (1878) La pression Barométrique. París, Francia. Masson et cie.
- 6.- Blomquist, G; Saltin, B. (1983) Cardiovascular adaptations to physical training. *Ann Rev Physiol* 45: 169-189.
- 7.- Bourdillon, N; Mollard, P; Letournel, M; Richalet, P. (2009) Interaction between hypoxia and training on NIRS-signal during exercise: contribution of a mathematical model. *Respir Physiol Neurobiol.* 169 (1): 50-61.
- 8.- Clausen, P. (1977) Effects of physical training on cardiovascular adjustments to exercise in man. *Physiol Rev.* 57: 779-815.
- 9.- Coyle, E; Hemmert, M; Coggan, A. (1986) Effects of detraining on cardiovascular responses to exercise: Role of blood volumen. *J Appl Physiol*, 60: 95.
- 10.- Coyle, F; Sidossis, S; Horowitz, F; Beltz, D. (1992) Cycling efficiency is related to the percentage of type muscle fibers. *Med Sci Sports Exerc.* 24 (7): 782-8.
- 11.- Hegsted, M. (1974). Energy needs and energy utilization. *Nutr Rev.* 32:32.
- 12.- Mc Daniel, J; Durstine, L; Mano, A; Martin, C. (2002). Determinants of metabolic cost during submaximal cycling. *J Appl Physiol.* 93 (3): 823-8.
- 13.- Mollard, P; Woorons, X; Letournell, M; Cornolo, J; Lamberto, C; Beaudry, M; Richalet, P. (2007). Role of maximal heart rate and arterial O₂ saturation on the decrement of VO₂ max In moderate acute hypoxia in trained an untrained men. *Int J Sports Med.* 28 (3): 186-92.
- 14.- Pugh, E. (1967) Athletes at altitude. *J Physiol.* 192: 619-646.
- 15.- Richalet, P. (2012) Altitude and the cardiovascular system. *Presse Med.* Jun; 41: 683- 43.
- 16.- Robergs, A; Quintana, R; Parker, L; Frankel, C. (1998) Multiple variables explain the variability in the decrement in VO₂ max during acute hypobaric hypoxia. *Med Sci Sports Exerc.* 30 (6): 869-79.
- 17.- Santalla, A; Naranjo, J; Terrados, N. (2009) Muscle Efficiency Improves Over Time in World-Class Cyclist. *Med Sci Sports Exerc.* 41: (5):1096-1101.
- 18.- Shepard, R. (1988). Altitud. En Dirix, A; Knuttgen, H; Tittel, K. eds. Libro Olímpico de la Medicina Deportiva. Barcelona, España. Doyma.
- 19.- Wagner, D. (2010) The physiological basis of reduced VO₂ max In Operation Everest II. *Alto Med Biol.* 11 (3): 209-15.
- 20.- Wehrlin, P; Hallen, J. (2006) Linear decrease in VO₂ max And performance with increasing altitude in endurance athletes. *Eur J Appl Physiol.* 96 (4):404-12,
- 21.- West, J. (1986) Bases Fisiológicas de la Práctica Médica. Buenos Aires, Argentina, pp 645-744.

APÉNDICE A

Carta de consentimiento informado

A Quien Corresponda:

Yo _____ declaro libre y voluntariamente que acepto participar en la investigación: Altitud, Eficiencia Delta y Costo Energético durante Ejercicio Incremental en Ciclistas Aficionados, que se realizará en el Centro de Atención Médica Integral en Actividad Física y Deporte en la ciudad de Toluca y volcán Nevado de Toluca, cuyo objetivo es: Analizar la influencia de la altitud sobre la eficiencia delta y costo energético.

Estoy consciente de que los procedimientos, pruebas y tratamientos, para lograr los objetivos mencionados consistirán en: Historia clínica completa, toma de electrocardiograma en reposo, someterse a una prueba de esfuerzo aplicada por un médico especialista.

Los riesgos en mi persona serían: Alteraciones cardiovasculares durante la prueba de esfuerzo, estado de fatiga general durante la ergometría, enfermedad de mal de montaña.

Entiendo que del presente estudio se derivarán los siguientes beneficios: Prevención o retardo de la aparición de mal de montaña en deportistas, mejoría del rendimiento deportivo de los atletas que entrenen o compitan en altitud.

La aplicación de los resultados de esta investigación como fuente de consulta para todos los implicados en el ámbito de las Ciencias del Ejercicio y del Deporte.

También puedo solicitar información acerca de los riesgos y beneficios de mi participación en este estudio. Es de mi conocimiento que seré libre de retirarme de la presente investigación en el momento que así lo desee.

Nombre _____ Firma _____
Dirección _____ Fecha _____

Testigo _____ Dirección _____
Testigo _____ Dirección _____

Basado en la declaración de la 18ª. Asamblea Mundial, Helsinki, Finlandia, 1964 y, revisado por la 29ª Asamblea Médica Mundial, Tokio, Japón, 1975.

Reglamento de la Ley General de Salud en Materia de Investigación para la Salud, Secretaría de Salud, 1987 (Título Segundo, Capítulo I, Título Tercero, Capítulo II).

APÉNDICE B

Formato II Historia Clínica.

Ficha de identificación.

Fecha _____ Médico examinador _____
Día mes año

Lugar de estudio _____

1) Datos generales:

Nombre del deportista _____

Apellido paterno materno nombre (s)

Edad _____ años. Fecha de nacimiento _____

Lugar de nacimiento _____ Día mes año
Residencia _____

II) Antecedentes heredofamiliares:

Familiar	01) Masc	01) Viva	Edad	Deporte	Enfermedades.
	02) Fem.	02) Finado	Años	01) Recreativo	02) Competitivo

Padre _____
Madre _____
Hermanos _____

01) HAS 03) Cardiopatías 05) D.D. 07) Alergia 09) Convulsivos.
02) IAM 04) AVC 06) Nefropatías 08) Venereos.

III) Antecedentes personales no patológicos:

Toxicomanías.	Cantidad	Alcoholismo	Cantidad mL/día
01) Cigarros	01) Ocasional	01) Cerveza	01) Ocasional
02) Pipa	02) 1 a 3	02) Vino	02) 500 a 1,000
03) Marihuana	03) Más de 3	03) Licor	03) Más de 1,000

IV) Antecedentes personales patológicos: Coloque sobre la línea las claves.

01) Alergia. 08) Asma 14) Hemorragias
02) Exantemáticas. 09) Amigdalitis de repetición. 15) Anemia
03) Hepatitis 10) Tuberculosis 16) Nefropatías
04) Tifoidea 11) Cardiopatía 17) Ansiedad
05) Fiebre reumática 12) H.A.S. 18) Depresión
06) Venéreas 13) D.M. 19) Epilepsia
07) Parasitosis. 20) Insomnio

Quirúrgicos _____ Cirugía _____ Fecha _____ Complicación _____

01) Sí _____ Fecha _____ Complicación _____

Especifique causas _____

Lesiones del sistema músculo-esquelético:

Región _____ Tejido _____ Incapacidad _____ Durante actividad _____

01) Cabeza 01) Óseo 01) Temporal 01) Deportiva

02) Cuello 02) Blando 02) Permanente 02) No deportiva

03) Tórax

04) Miembros pélvicos.

05) Miembros torácicos.

06) Genitales.

Estado de salud por aparatos y sistemas, anote las claves sobre la columna:

- | | | | |
|--------------------|----------------------|--------------------|-------------------|
| 01) Rinitis. | 10) Parasitosis. | 19) Expectorcación | 28) Hemorragias. |
| 02) Otagia | 11) Palpitaciones | 20) Asma | 29) Equimosis |
| 03) Otorrea | 12) Dolor precordial | 21) Disuria | 30) Anemia |
| 04) Hipoacusia | 13) Disnea | 22) Litiasis. | 31) Cefalea |
| 05) Acúfenos. | 14) Soplos cardíacos | 23) Venéreas | 32) Diplopia |
| 06) Mareos | 15) Sinusitis | 24) Prurito | 33) Fosfenos |
| 07) Pirosis. | 16) Faringitis | 25) Poliuria | 34) Convulsiones. |
| 08) Diarreas. | 17) Amigdalitis | 26) Polifagia | |
| 09) Estreñimiento. | 18) Tos frecuente | 27) Polidipsia | |

Exploración física general.

Signos vitales: F.R. _____/min. Pulso _____/min. T.A. _____ mm Hg. Temperatura _____

Exploración por regiones: 01) Normal 02) Alteraciones especificar

Cabeza _____

Ojos _____

Nariz _____

Boca _____

Cuello _____

Tórax _____

Área precordial _____

Abdomen _____

Genitales _____

	Miembros torácicos	Miembros pélvicos
Simetría _____	_____	_____
Movilidad _____	_____	_____
Pulsos _____	_____	_____
R. O. T. _____	_____	_____
Sensibilidad _____	_____	_____
Fuerza _____	_____	_____
Muscular _____	1 2 3 4 5	1 2 3 4 5

Padecimiento actual _____

Diagnósticos _____

Observaciones _____

APÉNDICE C

Altitud, Eficiencia Delta y Costo Energético durante Ejercicio Incremental en Ciclistas Aficionados.

Formato para captura de variables.

Nombre _____ Edad _____ P e s o
_____ Número progresivo en la investigación _____ Prueba: Toluca _____ Nevado
Frecuencia cardiaca máxima = 210 menos la edad = _____ Frecuencia cardiaca al
80% _____ Frecuencia cardiaca al 90% _____ Frecuencia cardiaca de reposo
_____ Frecuencia cardiaca basal _____ Frecuencia
respiratoria de reposo _____ Temperatura corporal de reposo _____
Tensión arterial diastólica de reposo _____ Tensión arterial sistólica de reposo

Cálculo de la eficiencia delta:

Como la inversa de la inclinación en la regresión lineal ($y = ax + b$)

Donde:

Y = Energía gastada (Kcal por minuto-1)

x = Índice de trabajo realizado (kcal por minuto-1) éste se calculará como sigue: Índice de trabajo realizado = 69.7 [(Watt) (kcal-1 por minuto-1)]

Estos cálculos se efectuarán al final de la segunda etapa de la ergometría (100 watt) y la segunda toma se hará al presentarse la máxima capacidad de potencia, cuando el cociente respiratorio es igual a 1.0 lo que ocurre entre 300 y 350 watt de carga para el deportista.

Otra opción para el cálculo de la eficiencia delta será la propuesta por (Coyle) aplicando el 60% al VO2max relativo obtenido por el deportista.

Cálculo del costo de la energía:

Se aplicará la siguiente ecuación de regresión:

Costo (kcal por minuto-1) = $VO_2 (1.2341 RER + 3.8124)$

Para éste cálculo se usarán los promedios de los valores medidos los últimos 30 segundos de cada etapa de la ergometría.

APÉNDICE D

Altitud, Eficiencia Delta y Costo Energético durante
Ejercicio Incremental en Ciclistas Aficionados.

Grupo de alimento	Cantidad
Jugo de naranja	300 ml
Cereal integral	10 cucharadas soperas.
Leche entera	250 mL
Pan integral con mermelada de fresa.	Dos rebanadas.
Papaya y plátano picados	Un vaso de 300 ml
Te de manzanilla	A libre demanda.

APÉNDICE E

Altitud, Eficiencia Delta y Costo Energético durante Ejercicio Incremental en Ciclistas Aficionados.

Formato para ergometría en cicloergómetro.
Protocolo de Astrand.

Fecha de elaboración _____ Edad _____
Nombre del deportista _____
Lugar de la prueba: Toluca _____ Volcán Nevado de Toluca _____
F.C. de reposo _____ T.A. de reposo _____ F.R. de reposo _____
Temperatura corporal de reposo _____ F.C. máxima _____ F.C. 80% _____
Hora de inicio _____ Hora de finalización _____

Etapa	Minuto	Watt	r.p.m.	F.C.	T.A.
1	1 a 3	50	60		
2	4 a 6	100	60		
3	7 a 9	150	60		
4	10 a 12	200	60		
5	13 a 15	250	60		
6	16 a 18	300	60		
7	19 a 21	350	60		
8	22 a 24	400	60		

Se suspende la prueba por _____
Al minuto _____ y segundos _____ de la _____ etapa.

Recuperación

Minuto	F.C.	T.A.	Observaciones.
1			
3			
5			

Resultado:

Consumo máximo de oxígeno absoluto _____
Consumo máximo de oxígeno relativo _____
Observaciones _____