

<https://doi.org/10.5232/ricyde2021.06502>

## Valores de referencia para las pruebas de Cooper y de 20m de ida y vuelta en población residente en altitud elevada

### Reference values for Cooper and Shuttle Run Tests in population living at high altitude

Isabel Adriana Sánchez-Rojas<sup>1</sup>; Darío Mendoza Romero<sup>1</sup>; Yenni Paola Argüello-Gutiérrez<sup>1</sup>;  
Laura Elizabeth Castro-Jiménez<sup>1</sup>; Héctor Reynaldo Triana-Reina<sup>1</sup>; Esteban Abdel Pérez-Cebrenos<sup>2</sup>;  
Jorge L. Petro<sup>3,4</sup>, y Diego A. Bonilla<sup>3,4</sup>

1. Grupo de Investigación Ciencias Aplicadas al Ejercicio, Deporte y Salud - GICAEDS, Universidad Santo Tomás, 205070 Bogotá, Colombia
2. Grupo de Investigación Ciencias Aplicadas al Ejercicio, Deporte y Salud - GICAEDS; USTA & UABC, México
3. Research Division, Dynamical Business & Science Society — DBSS International SAS, Bogotá 110861, Colombia
4. Grupo de Investigación en Ciencias de la Actividad Física, el Deporte y la Salud – GICAFA, Facultad de Educación y Ciencias Humanas, Universidad de Córdoba, Montería, Colombia

#### Resumen

El objetivo del estudio fue reportar los valores de referencia para el  $VO_{2max}$  indirecto obtenido en las pruebas de Cooper Run Test (CRT) y Shuttle Run Test (SRT-20m) en población adulta entrenada que reside a una altitud entre los 2600 y 3700 msnm. Un total de 614 sujetos físicamente activos (118 mujeres, 496 hombres;  $20.2 \pm 2.3$  años;  $65.3 \pm 10.3$  kg;  $169.1 \pm 7.8$  cm;  $22.7 \pm 2.8$  kg·m<sup>-2</sup>) residentes en la ciudad de Bogotá, o municipios del área metropolitana, participaron en este estudio de tipo descriptivo transversal. Se establecieron los percentiles de  $VO_{2max}$  para las pruebas CRT y SRT-20m en la población de estudio, resaltando que los registros obtenidos en el SRT-20m fueron mayores que CRT. Los valores de  $VO_{2max}$  en los sujetos que habitan a <3000 msnm fueron menores en comparación con los residentes a 3001 – 4000 msnm ( $p=0.01$ ); asimismo, las mujeres reportaron un menor nivel de aptitud física cardiorrespiratoria (AFC) que los hombres ( $p<0.01$ ). En conclusión, estos valores reportados pueden ser empleados para la evaluación de la AFC de poblaciones con características similares. Por otra parte, las variaciones encontradas en los valores de  $VO_{2max}$  podrían estar asociadas a variantes genéticas (e.g. polimorfismos) o a las adaptaciones propias del entrenamiento (e.g., especificidad del entrenamiento, técnica de carrera); no obstante, se requiere más investigación sobre estos aspectos en este tipo de población.

**Palabras clave:** consumo de oxígeno; altitud; aptitud física.

#### Abstract

The aim of this study was to report the reference values for indirect  $VO_{2max}$  obtained in the Cooper Run Test (CRT) and Shuttle Run Test (SRT-20m) in trained young population residing at high altitude, between 2600 and 3700 meters above sea level (masl). A total of 614 physically active subjects (118 women, 496 men;  $20.2 \pm 2.3$  years;  $65.3 \pm 10.3$  kg;  $169.1 \pm 7.8$  cm;  $22.7 \pm 2.8$  kg·m<sup>-2</sup>) residing in Bogotá, or municipalities of the metropolitan area, participated in this cross-sectional study. The  $VO_{2max}$  percentiles were established for the CRT and SRT-20m tests in the study population, highlighting that the records obtained in the SRT-20m were higher than CRT.  $VO_{2max}$  values in subjects living at <3000 masl were lower compared to those living at 3001 – 4000 masl ( $p=0.01$ ); likewise, women showed a lower level of cardiorespiratory fitness (CRF) than men ( $p<0.01$ ). In conclusion, these reported values can be used for the evaluation of the CRF of populations with similar characteristics. On the other hand, the variations found in  $VO_{2max}$  values might be associated to genetic variants (e.g. polymorphisms) or to training adaptations (e.g., training specificity, running technique); however, more research is required on these aspects in this type of population.

**Key words:** oxygen consumption; altitude; physical performance.

Correspondencia/correspondence: Isabel Adriana Sánchez-Rojas  
Grupo de Investigación Ciencias Aplicadas al Ejercicio, Deporte y Salud - GICAEDS, Universidad Santo Tomás, 205070 Bogotá, Colombia  
Email: isabel.sanchez@usantotomas.edu.co

## Introducción

En la actualidad, la aptitud física cardiorrespiratoria (AFC) representa uno de los indicadores que permite comprender el comportamiento fisiológico de los sistemas biológicos que inciden en el rendimiento físico de la población físicamente activa. Existen diversas formas de monitorear los cambios en la AFC bien sea mediante la aplicación de pruebas de laboratorio (e.g., ergoespirometría) o pruebas de campo (e.g, Cooper), las cuales permiten determinar directamente o estimar el consumo máximo de oxígeno ( $VO_{2m\acute{a}x}$ ), respectivamente. El  $VO_{2m\acute{a}x}$  se define generalmente como la mayor cantidad de oxígeno inspirado que podría ser transportado y metabolizado por un sujeto durante la realización de un esfuerzo físico (Cano, Ibacache, Miranda, Opazo, y Rojas, 2018), lo cual representa la diferencia que existe entre el oxígeno inhalado y el exhalado (Barbany, 2012). De acuerdo con Duperly, Forero, Jimenez-Mora, Lobelo, Mendivil, y Serrato (2020), el  $VO_{2m\acute{a}x}$  es una variable válida para determinar la AFC al considerar que su cuantificación es objetiva y reproducible cuando se aplican pruebas directas en el laboratorio, en donde las condiciones metodológicas pueden ser controladas y contribuyen a reducir el sesgo en la información obtenida. Sin embargo, cuando la medición de este parámetro implica la evaluación de grandes grupos poblacionales, las pruebas de campo se convierten en un elemento clave que facilitan su estimación (Artero y col., 2014). De esta manera, existen diversas pruebas que permiten la estimación del  $VO_{2m\acute{a}x}$ , aunque es necesario tener en cuenta aspectos metodológicos al momento de hacer la elección del test, tales como: i) la población a quien va a aplicarse, ii) la validez y precisión, iii) confiabilidad y iv) reproducibilidad. En este sentido, el *Cooper Run Test* - CRT (Cooper, 1968) y el *Shuttle Run Test* - SRT-20m (Léger y Lambert, 1982) son dos de las pruebas de campo más utilizadas para estimar el  $VO_{2m\acute{a}x}$  en adultos (Penry, Wilcox, y Yun, 2011).

El CRT consiste en recorrer la mayor distancia posible durante 12 minutos, tratando de mantener una velocidad constante (Cooper, 1968). En la actualidad sigue siendo utilizada en diversas poblaciones para evaluar el  $VO_{2m\acute{a}x}$  de una forma indirecta; no obstante, fue creada con la finalidad de analizar, valorar y establecer un indicador de AFC en reclutas de la fuerza aérea norteamericana. Precisamente, varias investigaciones han evaluado la validez y confiabilidad del CRT en otras poblaciones encontrando óptimos resultados; por ejemplo, Alvero-Cruz, Carnero, y Giráldez (2017) demostraron una alta precisión y confiabilidad en corredores de larga distancia. De hecho, en comparación con otras pruebas submáximas, como el test de Rockport (Kline et al. 1987), Sánchez (2017) encontró que el CRT mostró valores significativos de validez al momento de evaluar la AFC. Estos resultados concuerdan con el trabajo previo de Bandyopadhyay (2015), quien concluye que esta prueba puede ser adecuada siempre que se controlen aspectos como la velocidad de carrera, el tiempo, los factores medioambientales y aspectos emocionales del participante. Por otro lado, la estimación del  $VO_{2m\acute{a}x}$  empleando el SRT-20m, el cual se basa en las ecuaciones planteadas por Léger y Lambert (1982), es una de las prácticas más comunes al momento de evaluar diferentes poblaciones, en varias etapas del ciclo vital y en diversas disciplinas deportivas debido a los cambios en el ritmo y velocidad que requiere (Duperly y col., 2020; García y Secchi, 2014). Algunas investigaciones han mostrado una alta correlación entre el SRT-20m y los valores obtenidos mediante pruebas de laboratorio; por lo tanto, se le considera una prueba válida y reproducible para usarse en diversos grupos poblacionales (Jódar, 2003; Becerra y Martínez, 2017).

Estudios anteriores han indicado que variables medioambientales, como la altitud, genera variaciones en los valores del  $VO_{2m\acute{a}x}$ ; por ejemplo, se ha reportado una reducción del 10% entre los 1000 – 1500 metros sobre el nivel del mar (msnm), lo cual se ha asociado con una disminución considerable en los valores de la saturación arterial de oxígeno a pesar de la óptima función hepática y eritropoyética (Garber, Lobelo, y Sajuria, 2014; Buskirk y Squires, 1982; Terrados, 1994). Por otra parte, adultos que habitan en altitudes elevadas presentan diferencias importantes a nivel de su AFC si consideramos que un ambiente hipóxico *per se* incrementa la capacidad buffer del músculo esquelético y la eficiencia mecánica (Gore, Hahn, Aughey, Martin, Ashenden, y Clark, 2001). De esta manera, pese a que estas pruebas han sido empleadas para estimar la AFC en diversos sujetos, resulta pertinente establecer valores de referencia en poblaciones cuyas condiciones medioambientales son diferentes, sobre todo si se tiene en cuenta que el  $VO_{2m\acute{a}x}$  varía dependiendo de la altitud; cuanto más cercano al nivel del mar mayor será el nivel de rendimiento de los sujetos, esto debido a la mayor presión parcial de oxígeno ( $PO_2$ ) existente en el aire, mientras que a una mayor altitud el desempeño de los sujetos tiende a disminuir por la baja  $PO_2$  (i.e., donde se requiera una alta demanda de la capacidad de resistencia). Ahora bien, la frecuencia cardiaca incrementa en respuesta a la altitud, aunque luego tiende a bajar a medida que se van produciendo las adaptaciones correspondientes (Grover, Weil, y Reeves, 1986), pero se debe considerar que variables como el estado físico, psicológico y condiciones del medio ambiente influyen este tipo de respuesta fisiológica creando variaciones en los resultados (Mercado, Sánchez, y Gutiérrez, 2018; Sánchez, 2018). Aunque estudios observacionales han documentado que la frecuencia cardiaca en reposo estaría mínimamente influenciada por la altitud de residencia (Mejía, Cárdenas, Benites-Gamboa, Miñan-Tapia, Torres-Riveros, Paz, y Rojas-Camayo, 2019), se requieren más estudios que permitan determinar valores de referencia de indicadores de la AFC en estos tipos de población. En este sentido, la mayoría de los estudios en adultos, que han aplicado las pruebas de campo (e.g., CRT y SRT-20m), han sido desarrollados en poblaciones que habitan en altitudes bajas. Considerando lo anterior, el objetivo del presente estudio es reportar los valores de referencia del  $VO_{2m\acute{a}x}$  estimado a partir de las pruebas de CRT y SRT-20m de población de adultos jóvenes que reside a una altitud elevada (i.e., >2600 msnm), esperando aportar registros específicos a las características de esta muestra para la evaluación de la AFC y, en cierta medida, brindar información que incentive a la formulación de estudios que busquen construir o validar resultados empleando estas pruebas en distintas poblaciones.

## Método

### *Participantes*

Este estudio de tipo descriptivo transversal contó con la participación de un total de 614 sujetos físicamente activos (118 mujeres, 496 hombres;  $20.2 \pm 2.3$  años;  $65.3 \pm 10.3$  kg;  $169.1 \pm 7.8$  cm;  $22.7 \pm 2.8$  kg·m<sup>-2</sup>) que fueron considerados como potencialmente elegibles (muestreo no probabilístico por conveniencia). La selección de sujetos fue basada en los siguientes criterios de inclusión: i) ser mayores de edad; ii) ser residentes en la ciudad de Bogotá, o municipios del área metropolitana por encima de los 2600 msnm; iii) ser físicamente activos o practicantes de alguna disciplina deportiva por un tiempo no menor a un año; y iv) no tener ningún tipo de antecedente o restricción médica que imposibilite la participación durante la ejecución de las pruebas físicas. Se excluyeron participantes no nacidos en Bogotá o municipios del área metropolitana y aquellos cuya evaluación reflejara un estilo de vida sedentario. Todos los participantes de este estudio fueron estudiantes universitarios activos de 2<sup>do</sup> a 8<sup>vo</sup> semestre del pregrado de Cultura Física, Recreación y Deporte de la Universidad Santo Tomás.

Los participantes asistieron de forma voluntaria al estudio y se realizó la selección en relación con los criterios de inclusión mencionados anteriormente. La estandarización empleada tuvo en cuenta las siguientes recomendaciones dadas a los participantes, con la finalidad de evitar sesgos en la obtención de los datos: con relación a los hábitos diarios de alimentación, se les indicó a los participantes que no debían haber ingerido alimentos cuatro horas previas a la medición, ni haber consumido alcohol o café 8 horas previas a la medición de la masa corporal; de igual manera se informa que no debían haber consumido medicamentos corticoides o diuréticos 8 días antes. En cuanto a los hábitos de ejercicio físico, se insistió en la no realización de este, 24 horas antes de asistir a la prueba además de sugerir el vaciamiento vesical previo a la toma de los datos. Para llevar a cabo la presente investigación, se contó con el respaldo del comité de ética de la Universidad Manuela Beltrán con número de referencia CEI-1705228-27 en el marco de acuerdo de Docencia- Investigación con la Universidad Santo Tomás de Bogotá, Colombia. Cada participante fue notificado sobre el objetivo del estudio, se le hizo entrega de un consentimiento informado libre y claro que tuvo en cuenta las directrices éticas y normativas de la declaración de Helsinki (Asociación Médica Mundial, 2002), la cual establece normativas éticas y rigurosas referentes a los procesos investigativos en seres humanos, y la resolución 8430 de 1993, donde se indican las normas científicas, técnicas y administrativas para la investigación en salud y con seres humanos para Colombia, determinando que el nivel de riesgo para los participantes era mínimo.

#### *Antropometría*

Las variables antropométricas reportadas fueron la masa corporal (kg), estatura (m) y el índice de masa corporal ( $\text{kg}\cdot\text{m}^{-2}$ ). Los datos referentes a la masa corporal fueron obtenidos mediante el uso de la báscula Tanita® SC 331S (Tanita Corporation of America, Inc., Illinois, USA). En cuanto a la valoración de la estatura, se utilizó el estadiómetro portátil SECA® 213 (Medical Scales and Measuring Systems, Hamburgo, Alemania).

#### *Estimación del $\text{VO}_{2\text{máx}}$*

Los valores estimados del  $\text{VO}_{2\text{máx}}$  se derivaron de dos pruebas de campo; el CRT y el SRT-20m. El protocolo de CRT fue realizado en una pista de atletismo (400 m), la cual fue marcada cada 100 m con la finalidad de obtener la distancia real que realizaba cada sujeto durante los 12 minutos que dura la prueba (Cooper, 1970). Los participantes fueron citados en horas de la mañana (entre 8–10 AM, GMT-5), horarios en los cuales la exposición a la luz solar no fuera tan intensa como para reducir el rendimiento físico de cada sujeto y así evitar sesgos en los resultados. Para la estimación del  $\text{VO}_{2\text{máx}}$  ( $\text{mL}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$ ) fue utilizada la ecuación  $22.351 \times \text{distancia (km)} - 11.288$  propuesta por Cooper (1968) y validada por Penry, Wilcox, y Yun (2011). Por otro lado, la aplicación del SRT-20m se realizó en la misma franja horaria, pero con ocho días de diferencia posteriores a la aplicación del CRT, con el fin de dar espacio a la recuperación muscular del participante. Esta prueba se realizó en un campo abierto con una superficie plana y estable donde se instalaron dos conos con una distancia de 20 metros de separación entre ellos. Los participantes se colocaron a la par de uno de estos conos y recorrieron la distancia antes mencionada en ida y vuelta; la velocidad inicial fue de  $8.5 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$  y el ritmo de carrera se incrementaba  $0.5 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$  cada minuto, indicándose con un sonido previamente explicado a los individuos. El test finalizó una vez que el participante no lograra seguir el ritmo de velocidad indicado por el audio durante el periodo de dos vueltas seguidas. Una vez finalizada la prueba se procedió a la estimación del  $\text{VO}_{2\text{máx}}$  ( $\text{mL}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$ ) usando la ecuación  $5.857 \times \text{velocidad (km/h)} - 19.458$ , planteada por Léger y Lambert (1982). Las pruebas físicas fueron llevadas a cabo en las instalaciones del Campus San Alberto Magno de la

Universidad Santo Tomás (Bogotá, Colombia) bajo la supervisión de investigadores en Ciencias de la Actividad Física con experiencia previa en la aplicación de este tipo de pruebas.

### *Análisis estadístico*

Los datos son presentados como media y desviación estándar (DE). Se reportan los percentiles que dan cuenta del nivel de rendimiento de los participantes en el estudio. Se aplicó un factor de corrección de la altitud de 1.11 para ajustar los resultados del VO<sub>2</sub>máx en relación con la altitud de la ciudad de Bogotá y el área metropolitana (Ramírez y col., 2016). Posteriormente, se llevó a cabo una comparación de los valores obtenidos al agrupar por sexo y por altitud (2001 – 3000 msnm y 3001 – 4000 msnm) con la prueba de Kruskal-Wallis aplicando ajuste de Bonferroni. La normalidad de los datos se evaluó con la prueba de Kolmogorov-Smirnov con la corrección de Lilliefors, y la homocedasticidad con la prueba de Levene. El nivel de significancia asumido fue de 0.05 para todas las pruebas. Se empleó el software IBM SPSS® versión 25 (IBM Corp., Armonk, NY, USA) para el análisis estadístico de los datos (Licencia Universidad Santo Tomás - Bogotá, Colombia).

## **Resultados**

Los datos reportados en este estudio fueron obtenidos del total de los participantes potencialmente elegibles (118 mujeres y 496 hombres), los cuales cumplieron con los criterios de inclusión y completaron las pruebas físicas de manera exitosa. La Tabla 1 muestra las características descriptivas de la población evaluada y clasificada según altitud a la que residen.

Tabla 1. Características antropométricas de la población

Altitud	Variable	Hombre			Mujer			Total			Valor P
		n	Media	DE	n	Media	DE	n	Media	DE	
De 2001 a 3000 msnm	Edad	447	20.09	2.16	97	19.62	2.00	544	20.01	2.14	0.049*
	Masa corporal (kg)	447	67.90	9.81	97	57.82	8.63	544	66.10	10.35	<0.01*
	Estatura (m)	447	1.72	0.06	97	1.59	0.06	544	1.70	0.08	<0.01*
De 3001 a 4000 msnm	Edad	49	21.41	3.16	21	22.67	3.50	70	21.79	3.29	0.144
	Masa corporal (kg)	49	60.18	7.86	21	56.76	9.28	70	59.16	8.39	0.119
	Estatura (m)	49	1.70	0.06	21	1.58	0.05	70	1.66	0.08	<0.01
Total	Edad	496	20.22	2.31	118	20.16	2.60	614	20.21	2.36	0.809
	Masa corporal (kg)	496	67.14	9.90	118	57.63	8.72	614	65.31	10.38	<0.01*
	Estatura (m)	496	1.72	0.06	118	1.59	0.06	614	1.69	0.08	<0.01*

DE, desviación estándar; msnm, metros sobre el nivel del mar; Valor p, corresponde al valor de la prueba de Kruskal-Wallis aplicando ajuste de Bonferroni; \*, diferencia estadísticamente significativa a un p <0.05.

En la Tabla 2, se presentan los percentiles de cada una de las pruebas realizadas en conjunto con las variables metodológicas que permiten determinar la clasificación de la AFC de los participantes; además, en las últimas dos filas se muestran los valores de VO<sub>2</sub>máx ajustado (factor de corrección = 1.11) tanto para CRT como SRT-20m.

Tabla 2. Percentiles para las pruebas de CRT y SRT-20m (n=614)

Variable	Sexo	Mín.	Percentiles									Máx.
			10	20	30	40	50	60	70	80	90	
Distancia recorrida (m)	Hombre	1000.00	1692.50	1900.00	2000.00	2200.00	2300.00	2400.00	2450.00	2600.00	2800.00	3600.00
	Mujer	1000.00	1595.00	1886.00	2000.00	2064.00	2185.50	2252.20	2400.00	2467.20	2800.00	3200.00
CRT VO <sub>2máx</sub>	Hombre	11.06	28.94	33.41	35.65	38.30	42.35	42.35	44.59	46.82	51.29	69.18
	Mujer	11.40	22.63	24.47	27.83	30.87	33.41	33.93	37.26	40.12	43.49	60.24
Etapa SRT-20m	Hombre	2.00	5.00	6.00	7.00	7.50	8.00	8.00	9.00	10.00	11.00	14.00
	Mujer	1.00	2.00	4.00	4.00	5.00	6.00	6.00	7.00	8.00	9.00	10.00
Velocidad Final SRT-20m (km·h <sup>-1</sup> )	Hombre	9.00	10.50	11.00	11.50	11.50	12.00	12.00	12.50	13.00	13.50	17.00
	Mujer	8.50	9.00	10.00	10.00	10.50	11.00	11.00	11.50	12.00	12.50	13.00
SRT-20m VO <sub>2máx</sub>	Hombre	33.26	42.04	44.97	47.90	47.90	50.83	50.83	53.75	56.68	59.61	80.11
	Mujer	30.33	33.26	39.11	39.11	42.04	44.97	44.97	47.90	50.83	53.75	56.68
CRT VO <sub>2máx</sub> Ajustado	Hombre	12.28	32.13	37.09	39.57	42.52	47.01	47.01	49.49	51.98	56.94	76.78
	Mujer	12.65	25.12	27.17	30.89	34.26	37.09	37.67	41.36	44.53	48.28	66.86
SRT-20m VO <sub>2máx</sub> Ajustado	Hombre	36.91	46.66	49.92	53.17	53.17	56.42	56.42	59.67	62.92	66.17	88.92
	Mujer	33.66	36.91	43.41	43.41	46.66	49.92	49.92	53.17	56.42	59.67	62.92

Los valores de VO<sub>2máx</sub> y VO<sub>2máx</sub> Ajustado se expresan en mL·kg<sup>-1</sup>·min<sup>-1</sup>. Elaboración propia.

Los resultados obtenidos muestran valores promedio de VO<sub>2máx</sub> indirecto más altos para los hombres que las mujeres tanto en el CRT (42.35 mL·kg<sup>-1</sup>·min<sup>-1</sup> vs 33.41 mL·kg<sup>-1</sup>·min<sup>-1</sup>) como para el SRT-20m (50.83 mL·kg<sup>-1</sup>·min<sup>-1</sup> vs 44.97 mL·kg<sup>-1</sup>·min<sup>-1</sup>). De hecho, los valores obtenidos para el SRT-20m fueron mayores en comparación con aquellos estimados por el CRT, aunque ambos presentaron un incremento promedio de 4.5 puntos al aplicar el factor de corrección propuesto por Ramírez y col. (2016).

En lo que respecta a la prueba de CRT, se presentó diferencia significativa en los valores de distancia y VO<sub>2máx</sub> entre sexos tanto a 2001 – 3000 msnm (p<0.01) como a 3001 – 4000 msnm (p=0.001) (Figura 1). Además, las mujeres que residen a 3001 – 4000 msnm mostraron valores significativamente inferiores de VO<sub>2máx</sub> con respecto a los datos de mujeres y hombres a 2001 – 3000 msnm (p=0.03 y p<0.01, respectivamente).

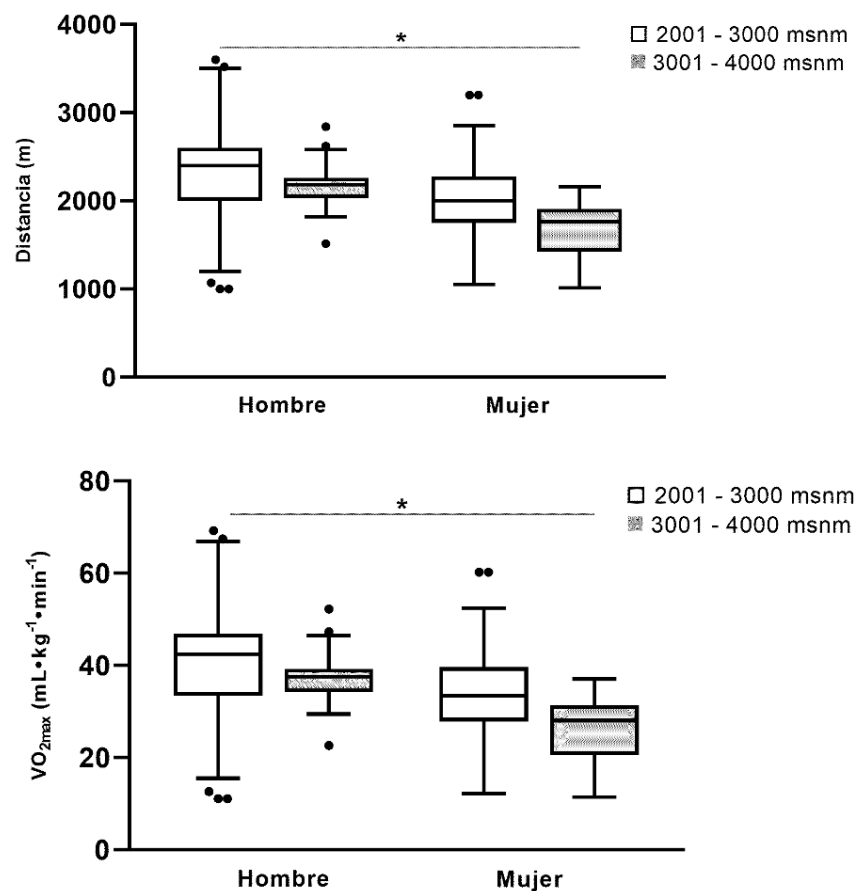


Figura 1. Distancia recorrida y consumo máximo de oxígeno indirecto por CRT. Elaboración propia.

Con respecto a la prueba de SRT-20m, se encontró diferencia significativa en los valores de VO<sub>2</sub>máx entre sexos a 2001 – 3000 msnm ( $p < 0.01$ ); sin embargo, no hubo diferencia entre hombres y mujeres que residen a 3001 – 4000 msnm ( $p = 0.073$ ) (Figura 2). Adicionalmente, las mujeres que residen a mayores altitudes presentaron valores significativamente inferiores de VO<sub>2</sub>máx en comparación con mujeres y hombres que habitan los 2001 – 3000 msnm ( $p < 0.01$  para ambas comparaciones). Los hombres que residen a 3001 – 4000 msnm también mostraron valores inferiores comparados con aquellos que viven a 2001 – 3000 msnm ( $p < 0.01$ ).

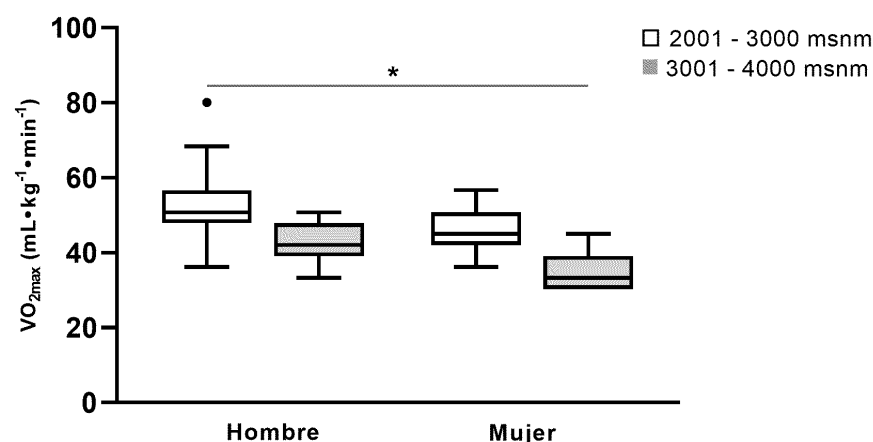


Figura 2. Consumo máximo de oxígeno indirecto por SRT-20m. Elaboración propia.

## Discusión

Aunque los datos y valores de referencia existentes para el CRT y SRT-20m han permitido determinar la AFC en diversas poblaciones, aún existen vacíos en la información sobre las variaciones que tendría el  $VO_{2m\acute{a}x}$  en poblaciones que residen en altitudes elevadas (i.e., >2000 msnm). De hecho, teniendo en cuenta los estudios de Terrados (1994) y Bernal y Cruz (2014), la clasificación de la altitud obedece a factores como la temperatura, la humedad relativa, la resistencia del aire, entre otras características ambientales, por lo que se propone una categorización respecto a los msnm. Se considera como altitud elevada aquellas ubicaciones que se sitúan entre los 2000 hasta los 5000 msnm (aunque dentro de esta clasificación se encuentra la gran altitud, >3500 msnm), en los cuales se ha observado que se pueden presentar modificaciones fisiológicas importantes tanto en estado de reposo como durante el esfuerzo físico (Sinex y Chapman, 2015). En este sentido, este estudio analizó la distribución de los valores del  $VO_{2m\acute{a}x}$  indirecto en población que reside en altitud elevada de manera tal que los resultados obtenidos permiten reportar los valores de referencia para el  $VO_{2m\acute{a}x}$  estimado a partir de las pruebas de CRT y SRT-20m en población que reside a más de 2600 msnm, lo cual contribuye a una mejor interpretación de los datos ya existentes al considerar las características morfofuncionales y ambientales (i.e., altitud de residencia) de los sujetos físicamente activos.

En cuanto a los valores del  $VO_{2m\acute{a}x}$  y distancia recorrida para el CRT, los resultados obtenidos en hombres y mujeres reflejan que la media general ubica a los participantes en un nivel promedio-bueno tal como se esperaría en sujetos físicamente activos (Das, 2013; Lovecchio, Merati, Guasti, Casolo, y Eid, 2013). De manera similar, al comparar los datos obtenidos para el SRT-20m los valores arrojados por la población sujeto de estudio se encuentran dentro de los estándares promedio (Ernesto, Martins da Silva, Pereira, y Melo, 2015; García, Ramos, y Aguirre, 2016). Lo anterior podría explicarse si se tiene en cuenta que el CRT evalúa la AFC al valorar la cantidad de trabajo total realizado en un tiempo determinado, mientras que el SRT-20m toma como variables de análisis la velocidad y el tiempo (siendo la velocidad una determinante básica de la potencia) (Rius, y Safont, 2018; Castelli-Correia de Campos, Ribeiro da Luz, Luarte-Rocha, Nogueira, Labrador-Roca y Gorla, 2019; Morales, Sánchez, y Mendoza, 2020).

Si se observan los valores del  $VO_{2m\acute{a}x}$  ajustado, al utilizar el factor de corrección por altura para Bogotá reportado por Ramírez y col. (2016), se evidencia un incremento en los valores promedio alcanzando niveles óptimos de AFC, lo cual concuerda parcialmente con las hipótesis de trabajo que resaltan ventajas de las altitudes elevadas sobre el rendimiento físico, aunque claramente se requiere más investigación al respecto (Płoszczyca, Langfort, y Czuba, 2018). No obstante, al considerar la reducción del  $VO_{2m\acute{a}x}$  en individuos que residen en altitudes superiores a los 3000 msnm, entran en contexto múltiples explicaciones desde el orden fisiológico y funcional. En primer lugar, desde la capilaridad pulmonar del estudio de Taylor, Coffman, Summerfield, Issa, Kasak, y Johnson (2016), en el cual se evaluaron variables de consumo de oxígeno, difusión de monóxido de carbono y el volumen de sangre capilar pulmonar en siete sujetos adultos sanos; luego de estar aclimatados y entrenados en diferentes lugares con niveles de altitud diferencial, se encontró que el reclutamiento y la distensión capilar es limitada aún en sujetos que se encuentran aclimatados, siendo la expansión de la vascularización pulmonar un factor determinante que favorece una adecuada conductancia de la membrana alvéolo-capilar a la vez que garantiza una adecuada difusión del monóxido de carbono. En segundo lugar, debemos tener en cuenta que la capacidad de perfusión muscular no es proporcional a la totalidad de la masa muscular de los sujetos; por ejemplo, Angermann, Hoppeler, Wittwer, Däpp, Howald, y Vogt (2006) analizaron este aspecto en siete sujetos



esquiadores nórdicos al evaluar mediante biopsia muscular del deltoides los cambios a nivel de la densidad muscular así como la existencia de cambios en la vascularización pre y posterior a trabajos de resistencia en una altitud 3100 msnm. Los resultados encontrados por estos autores sugieren que durante esfuerzos máximos la musculatura más pequeña presenta menor suministro de oxígeno afectando no solo el reclutamiento muscular sino también propiciando una notable reducción del  $VO_{2máx}$ , lo cual tras el análisis de las biopsias musculares denotó cambios en la densidad y volumen mitocondrial propio de musculatura periférica. Adicionalmente, los autores afirmaron que la masa muscular activada es otro elemento que predispone a tener un menor o mayor  $VO_{2máx}$ , por lo que en sujetos sedentarios una disminución de la masa muscular conduce a menor potencia cardiorrespiratoria con reducciones importantes en la AFC.

Otros aspectos estarían relacionados con la incidencia de la altitud sobre el suministro de oxígeno a los tejidos, la utilización del oxígeno por parte de estos, la densidad del aire, así como la respuesta celular. En cuanto a esta última, se ha descrito el efecto del factor inducible por la hipoxia (HIF), el cual en procesos adaptativos que responden a un ambiente deficiente en oxígeno incrementa la actividad glucolítica y disminuye el metabolismo oxidativo. Murray, Montgomery, Feelisch, Grocott, y Martin (2018) señalan que el HIF está relacionado con los procesos de adaptación de los sujetos que residen en altitudes elevadas puesto que es un regulador importante de la eritropoyesis, media las elevaciones del lactato en sangre y reduce la capacidad oxidativa al atenuar la captación de ácidos grasos desde el torrente sanguíneo, lo cual en conjunto podría afectar el rendimiento físico (Nalbandian y Takeda, 2016). Adicionalmente, la presencia de ciertas variantes genéticas de los sujetos que habitan a altitudes elevadas podría modular la acción del HIF, por lo que las respuestas metabólicas y celulares serían óptimas y producto de la adaptación en este tipo de población; por ejemplo, estudios en individuos como los sherpas que habitan en el Tíbet (Beall, 2007), ubicado a una altura promedio de 4900 msnm, han reflejado que los mecanismos moleculares que reducen el estrés oxidativo podrían estar asociados a una menor expresión del receptor alfa activado por proliferador de peroxisomas (PPAR- $\alpha$ ), el cual es un receptor nuclear que tiene la capacidad de acoplarse con gran variedad de regiones del ADN y actuar como un factor de transcripción que regula la expresión de genes relacionados con el metabolismo de los ácidos grasos, favoreciendo así una mejor utilización de los mismos, una menor reducción en la concentración de ATP y una óptima utilización de oxígeno en estas poblaciones. Ahora bien, de acuerdo con los resultados obtenidos en esta investigación, las mujeres que residen a altitudes más elevadas (e.g., 3001 – 4000 msnm) presentan una menor AFC al compararse con hombres y mujeres que habitan entre los 2001 – 3000 msnm. Esta diferencia significativa podría explicarse parcialmente por las diferencias en la concentración sérica de testosterona si tenemos en cuenta los documentados efectos eritrogénicos de la testosterona (Gabrielsen, 2017). No obstante, considerando que a una mayor altitud los hombres también mostraron valores significativamente inferiores de  $VO_{2máx}$  indirecto obtenido por el SRT-20m comparados con aquellos que residen a 2001 – 3000 msnm (Figura 2), se requieren más investigaciones que permitan comprender el efecto sexo-dependiente en poblaciones que residen en diferentes altitudes.

Finalmente, este estudio tiene varias limitaciones que se deben mencionar. Pese a que se trabajó con una muestra que cumplió ciertos criterios de inclusión, se requiere realizar una selección representativa y ampliar el número de sujetos participantes a fin de ser más asertivos con los márgenes de referencia y puntos de corte.

## Conclusiones

Los valores promedio del  $VO_{2\text{máx}}$  indirecto obtenido por el CRT en población físicamente activa que habita a una altitud elevada se encuentran por debajo de los rangos de referencia, lo que podría estar asociado a las implicaciones metodológicas que tiene la misma prueba y que deben tenerse en cuenta al momento de analizar los resultados. Por el contrario, los resultados de la estimación del  $VO_{2\text{máx}}$  por medio del SRT-20m se encontraron en la categoría promedio que coincide con los rangos de referencia ya existentes; no obstante, al aplicar el factor de corrección para la altitud de Bogotá, se observó un incremento en el  $VO_{2\text{máx}}$ , lo cual indica la incidencia que tiene la altura sobre el rendimiento físico de los sujetos. Finalmente, las variaciones significativas en el  $VO_{2\text{máx}}$  estimado en altitudes por encima de los 3000 msnm evidenciaron reducciones importantes en la AFC de los participantes, lo cual podría estar relacionado con variables fisiológicas de adaptación con predominio genético, metabólico y celular; por lo tanto, se requiere el desarrollo de futuras investigaciones en este campo para tener una mejor comprensión de los fenómenos que ocurren a altitudes elevadas y muy elevadas.

## Referencias

- Alvero-Cruz, J. R.; Giráldez García, M. A., y Carnero, E. A. (2017). Reliability and accuracy of Cooper's test in male long distance runners. *Revista Andaluza de Medicina del Deporte*, 10(2), 60-63.  
<https://doi.org/10.1016/j.ramd.2016.03.001>
- Angermann, M.; Hoppeler, H.; Wittwer, M.; Däpp, C.; Howald, H., & Vogt, M. (2006). Effect of Acute Hypoxia on Maximal Oxygen Uptake and Maximal Performance during Leg and Upper-Body Exercise in Nordic Combined Skiers. *International Journal of Sports Medicine*, 27(4), 301-306.  
<https://doi.org/10.1055/s-2005-865652>
- Artero, E. G.; Jackson, A. S.; Sui, X.; Lee, D. C.; O'Connor, D. P.; Lavie, C. J.; Church, T. S., & Blair, S. N. (2014). Longitudinal algorithms to estimate cardiorespiratory fitness: associations with nonfatal cardiovascular disease and disease-specific mortality. *Journal of the American College of Cardiology*, 63(21), 2289-2296.  
<https://doi.org/10.1016/j.jacc.2014.03.008>
- Bandyopadhyay A. (2015). Validity of Cooper's 12-minute run test for estimation of maximum oxygen uptake in male university students. *Biology of sport*, 32(1), 59-63.  
<https://doi.org/10.5604/20831862.1127283>
- Barbany, J. R. (2012). *Fisiología del ejercicio físico y del entrenamiento (Deportes)* (2.<sup>a</sup> ed., Vol. 24). Barcelona, España: Paidotribo S.L.
- Beall, C. M. (2007). Two routes to functional adaptation: Tibetan and Andean high-altitude natives. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 104(suppl 1), 8655-8660.  
<https://doi.org/10.1073/pnas.0701985104>
- Bernal-García, M., y Cruz-Rubio, S. (2014). Interacción fisiológica de la hormona eritropoyetina, relacionada con el ejercicio físico en altitud moderada y alta. *Revista Investigación En Salud Universidad De Boyacá*, 1(1), 73-96.  
<https://doi.org/10.24267/23897325.106>
- Castelli-Correia de Campos, L. F.; Ribeiro da Luz, L. M.; Luarte-Rocha, C. E.; Nogueira, C. D.; Labrador-Roca, V., & Gorla, J.I. (2019). Validation of Test Studies for the Analysis of Aerobic Power in Tetraplegic Athletes. *Apunts. Educació Física i Esports*, (135), 68-81. [https://doi.org/10.5672/apunts.2014-0983.es.\(2019/1\).135.05](https://doi.org/10.5672/apunts.2014-0983.es.(2019/1).135.05)

- Cooper, K. H. (1968). A Means of Assessing Maximal Oxygen Intake. *JAMA*, 203(3), 201. <https://doi.org/10.1001/jama.1968.03140030033008>
- Cooper, K. (1970). *Aeróbicos: ejercicios aeróbicos* (1.ª ed.). Ciudad de México: Editorial Diana, S. A.
- Das, B. (2013). Estimation of maximum oxygen uptake by evaluating cooper 12-min run test in female students of West Bengal, India. *Journal of Human Sport and Exercise*, 8(4), 1008-1014. <https://doi.org/10.4100/jhse.2013.84.11>
- Duperly, J.; Serrato, M.; Forero, N. I.; Jimenez-Mora, M. A.; Mendivil, C. O., & Lobelo, F. (2020). Validation of Maximal, Submaximal, and Nonexercise Indirect VO<sub>2</sub>max Estimations at 2600 m Altitude. *High Altitude Medicine & Biology*, 21(2), 1-9. <https://doi.org/10.1089/ham.2019.0097>
- Ernesto, C., Martins da Silva, F., Pereira, L. A., & de Melo, G. F. (2015). Cross Validation of Different Equations to Predict Aerobic Fitness by the Shuttle Run 20 Meters Test in Brazilian Students. *Journal of Exercise Physiology Online*, 18(1).
- Gabrielsen, J. S. (2017). Iron and Testosterone: Interplay and Clinical Implications. *Current Sexual Health Reports*, 9, 5-11. <https://doi.org/10.1007/s11930-017-0097-2>
- Garber, M. D.; Sajuria, M., & Lobelo, F. (2014). Geographical variation in health-related physical fitness and body composition among Chilean 8th graders: A nationally representative cross-sectional study. *PLoS One* 9(9), e108053. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0108053>
- García, A. M., Ramos, S., & Aguirre, O. D. (2016). Calidad científica de las pruebas de campo para el cálculo del VO<sub>2</sub>max. Revisión sistemática. *Revista Ciencias de la Salud*, 14(2), 247-260. <https://doi.org/10.12804/revsalud14.02.2016.09>
- García, G. C., y Secchi, J. D. (2014). Test *course navette* de 20 metros con etapas de un minuto. Una idea original que perdura hace 30 años. *Apunts Medicina de L'esport*, 49(183), 93-103. <https://doi.org/10.1016/j.apunts.2014.06.001>
- Gore, C. J.; Hahn, A. G.; Aughey, R.; Martin, D.; Ashenden, M. J., & Clark, S. A. (2001). Live high-train low increases muscle buffer capacity and submaximal cycling efficiency. *Acta Physiologica Scandinavica*, 173(3), 275-286. <http://dx.doi.org/10.1046/j.1365-201X.2001.00906.x>
- Grover, R.F.; Weil, J.V., & Reeves JT. (1986). Cardiovascular adaptation to exercise at high altitude. *Exercise and Sport Sciences Reviews*, 14, 269-302.
- Jódar Montoro, R. (2003). Revisión de artículos sobre la validez de la prueba de Course navette para determinar de manera indirecta el VO<sub>2</sub> max. *Revista Internacional de Medicina y Ciencias de la Actividad Física y el Deporte*, 3(11), 173-181. Obtenido en la web el día 23 de noviembre de 2020. Recuperado de: <http://cdeporte.rediris.es/revista/revista11/revision.htm>
- Kline, C. J.; Porcari, J. P.; Hintermeister, R.; Freedson, P. S.; Ward, A.; Mccarron, R. F., & Rippe, J. (1987). Estimation of from a one-mile track walk, gender, age and body weight. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 19, 253-259.
- Léger, L. A., & Lambert, J. (1982). A maximal multistage 20-m shuttle run test to predict VO<sub>2</sub> max. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology*, 49(1), 1- 12. <https://doi.org/10.1007/BF00428958>

- Lovecchio, N.; Merati, M.; Guasti, M.; Casolo, F., & Eid, L. (2013). Cooper and Shuttle Run Test in young students: results and correlations. *Sport Science Review*, 22(3-4), 217.
- Martínez, S. y Becerra, J. (2017). Valoración de las capacidades físicas en estado hipóxico a 3450 msnm frente a 1250 msnm. Tesis para obtener el grado del Programa de Ciencias del Deporte. Universidad de Ciencias Aplicadas y Ambientales UDCA. Obtenido en la web el día 11 de noviembre de 2020. Recuperado de: <https://repository.udca.edu.co/handle/11158/802>
- Mejia, C. R.; Cárdenas, M. M.; Benites-Gamboa, D.; Miñan-Tapia, A.; Torres-Riveros, G. S.; Paz, M.; Perez, Y., & Rojas-Camayo, J. (2019). Values of heart rate at rest in children and adults living at different altitudes in the Andes. *Plos one*, 14(2), e0213014. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0213014>
- Mercado Ruíz, H. A.; Sánchez Rodríguez, D. A., y Gutiérrez, J. (2018). Comportamiento de los niveles del VO<sub>2</sub> máximo en futbolistas prejuveniles en diferentes altitudes. *Revista Digital: Actividad Física y Deporte*, 1(2). Recuperado de: <https://revistas.udca.edu.co/index.php/rdafd/article/view/306/1571>
- Miranda, C.; Ibacache, P.; Opazo, E.; Rojas, J., y Cano, M. (2018). Uso de la cinética del consumo de oxígeno para la evaluación de la capacidad cardiorrespiratoria en pacientes con obesidad. *Revista Médica de Chile*, 146, 15-21. <http://dx.doi.org/10.4067/s0034-98872018000100015>
- Morales-Urbina, A. C.; Sánchez-Rojas, I. A., y Mendoza-Romero, D. (2020). Estimación del consumo máximo de oxígeno en distintas disciplinas en jóvenes universitarios que habitan en altitud moderada. *Revista Española de Educación Física y Deportes*, 430, 59-68. Recuperado de: <https://www.reefd.es/index.php/reefd/article/view/921/756>
- Murray, A. J.; Montgomery, H. E.; Feelisch, M.; Grocott, M. P. W., & Martin, D. S. (2018). Metabolic adjustment to high-altitude hypoxia: from genetic signals to physiological implications. *Biochemical Society Transactions*, 46(3), 599-607. <https://doi.org/10.1042/bst20170502>
- Nalbandian, M., & Takeda, M. (2016). Lactate as a signaling molecule that regulates exercise-induced adaptations. *Biology*, 5(4), 38. <https://doi.org/10.3390/biology5040038>
- Penry, J. T.; Wilcox, A. R., & Yun, J. (2011). Validity and reliability analysis of Cooper's 12-minute run and the multistage shuttle run in healthy adults. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 25(3), 597-605. <https://doi:10.1519/JSC.0b013e3181cc2423>
- Płoszczyca, K.; Langfort, J., & Czuba, M. (2018). The effects of altitude training on erythropoietic response and hematological variables in adult athletes: a narrative review. *Frontiers in physiology*, 9, 375. <https://doi.org/10.3389/fphys.2018.00375>
- Ramírez-Vélez, R.; Palacios-López, A.; Prieto-Benavides, D. H.; Correa-Bautista, J. E.; Izquierdo, M.; Alonso-Martínez, A., & Lobelo, F. (2016). Normative reference values for the 20 m shuttle-run test in a population-based sample of school-aged youth in Bogota, Colombia: the FUPRECOL study. *American Journal of Human Biology*, 29(1), e22902. <https://doi.org/10.1002/ajhb.22902>
- Rius, A. S., & Safont, J. S. (2018). Noves tendències del treball de la resistència aeròbica en el currículum de Tècnic Superior en Animació d'Activitats Físiques i Esportives. *Anuari de l'Agrupació Borrianenca de Cultura*, 29, 29-40. <http://dx.doi.org/10.6035/Anuari.2018.29.4>

- Sanchez-Rojas, I. A. (2017). Análisis correlacional de la validez y confiabilidad del test de Cooper frente a las pruebas de campo convencionales, para el establecimiento de la resistencia cardiovascular. *Revista Ímpetus*, 11(2), 27-33.  
<http://dx.doi.org/10.22579/20114680.210>
- Sanchez-Rojas, I. (2018). Validación de los baremos preestablecidos del test de Cooper en población que aplica la prueba en altura. *Lúdica Pedagógica*, 27, 15-24.  
<https://doi.org/10.17227/ludica.num27-9439>
- Sinex, J. A., & Chapman, R. F. (2015). Hypoxic training methods for improving endurance exercise performance. *Journal of Sport and Health Science*, 4(4), 325- 332.  
<https://doi.org/10.1016/j.jshs.2015.07.005>
- Squires, R. W., & Buskirk, E. R. (1982). Aerobic capacity during acute exposure to simulated altitude, 914 to 2286 meters. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 14(1), 36-40.  
<https://doi.org/10.1249/00005768-198201000-00007>
- Terrados, N. (1994). El entrenamiento en altitud. *Revista Infocoes*, 96, 26-38.
- Taylor, B. J.; Coffman, K. E.; Summerfield, D. T.; Issa, A. N.; Kasak, A. J., & Johnson, B. D. (2015). Pulmonary capillary reserve and exercise capacity at high altitude in healthy humans. *European Journal of Applied Physiology*, 116(2), 427-437.  
<https://doi.org/10.1007/s00421-015-3299-1>
- World Medical Association. (2002). World Medical Association Declaration of Helsinki. Ethical principles for medical research involving human subjects. *Nurs Ethics*, 9(1), 105-109. <https://doi.org/10.1191/0969733002ne486xx>