

https://doi.org/10.24245/rev_hematol.v22i3.5819

Concentraciones hormonales, hierro, hemoglobina, hematócrito y recuento corregido de reticulocitos en deportistas que entrenan a 2600 metros sobre el nivel del mar

Hormonal, iron, hemoglobin, hematocrit levels and corrected reticulocyte count in athletes who train at 2600 meters above sea level.

Maritza Angarita-Merchán,¹ Milena R Buitrago-Jiménez,¹ Julieth J Jerez-Flechas,¹ Ángela J Tibatá-Molina,¹ Camilo Camargo-Puerto,^{1,2} Shirley G Cruz-Rubio¹

Resumen

ANTECEDENTES: El entrenamiento a medianas y altas alturas tiene un alto impacto en el desempeño del deportista debido a la exposición continua a la hipoxia, generando un proceso compensatorio por medio del aumento de la población eritroide.

OBJETIVO: Asociar la variable eritropoyetina con la concentración de hemoglobina, hematócrito, hierro, testosterona, hormona de crecimiento y el recuento de reticulocitos en deportistas que entrenan a una altura de 2600 metros sobre el nivel del mar.

MATERIALES Y MÉTODOS: Estudio cuantitativo y cuasi experimental con diseño *pre-test* y *post-test* de un solo grupo, efectuado en 2019 en deportistas de la categoría sub-15 de un equipo profesional de fútbol, por medio de un muestro no probabilístico por conveniencia a partir de los criterios de inclusión y exclusión.

RESULTADOS: Se incluyeron 23 sujetos. Las concentraciones hormonales, el hierro, la hemoglobina, el hematócrito y el recuento corregido de reticulocitos tuvieron un incremento estadísticamente significativo en la posintervención a partir del aumento proporcional de la eritropoyetina.

CONCLUSIONES: La eritropoyetina influye notablemente en la hemoglobina, glóbulos rojos, hierro, reticulocitos y demás hormonas, formando así un complejo sinérgico que junto con el entrenamiento en medianas alturas influye notablemente en la respuesta medular del deportista traducido a la resistencia, fuerza y velocidad del mismo.

PALABRAS CLAVE: Atletas; eritropoyetina; hierro; índices de eritrocitos; recuento de reticulocitos; testosterona.

Abstract

BACKGROUND: Training at medium and high altitudes has a high impact on the athlete's performance due to continuous exposure to hypoxia, generating a compensatory process through the increase in the erythroid population.

OBJECTIVE: To associate the variable erythropoietin with the concentration of hemoglobin, hematocrit, iron, testosterone, growth hormone and the reticulocyte count in athletes who train at a height of 2600 meters above sea level.

MATERIALS AND METHODS: Quantitative and quasi-experimental study with a pre-test and post-test design of a single group, carried out in 2019 in athletes of the sub-15

¹ Programa Bacteriología y Laboratorio clínico, Facultad Ciencias de la Salud, Universidad de Boyacá, Colombia.

² Corporación Deportiva Patriotas Fútbol Club, Boyacá, Colombia.

Recibido: 8 de junio 2021

Aceptado: 25 de octubre 2021

Correspondencia

Maritza Angarita Merchán
mangarita@uniboyaca.edu.co

Este artículo debe citarse como: Angarita-Merchán M, Buitrago-Jiménez MR, Jerez-Flechas JJ, Tibatá-Molina AJ, Camargo-Puerto C, Cruz-Rubio SG. Concentraciones hormonales, hierro, hemoglobina, hematócrito y recuento corregido de reticulocitos en deportistas que entrenan a 2600 metros sobre el nivel del mar. Hematol Méx 2021; 22 (3): 135-142.

category of a professional soccer team, by means of a non-probabilistic sampling for convenience based on the inclusion and exclusion criteria.

RESULTS: Twenty-three subjects were included. Hormone concentrations, iron, hemoglobin, hematocrit and the corrected reticulocyte count had a statistically significant increase in the post-intervention from the proportional increase in erythropoietin.

CONCLUSIONS: Erythropoietin notably influences hemoglobin, red blood cells, iron, reticulocytes and other hormones, thus forming a synergistic complex that, together with training at medium heights, notably influences the athlete's spinal response, translated into resistance, strength and speed of the athlete.

KEYWORDS: Athletes; Erythropoietin; Iron; Erythrocyte indices; Reticulocyte count; Testosterone.

ANTECEDENTES

El entrenamiento a medianas o altas alturas es de gran importancia debido a la exposición a hipoxia, que es generada por la disminución de la presión atmosférica que ocurre en estos sitios geográficos, causando cambios fisiológicos debido a la estimulación de los precursores eritroides, para que así se active la eritropoyesis, proceso que mejora la oxigenación tisular y disminuye la fatiga muscular.¹

Este proceso requiere una regulación compleja, por lo que necesita la interacción entre diferentes células y hormonas, proceso que se realiza en la médula ósea,² lugar donde se producen y se maduran las células, encontrando en las últimas células para salida a circulación, los reticulocitos.³ Por otro lado, es elemental mencionar las hormonas que intervienen en este proceso, encontrando principalmente la eritropoyetina, que actúa en la inhibición de apoptosis de los eritroblastos, lo que conlleva al incremento de la cantidad de glóbulos rojos, por tanto, en las concentraciones de hemoglobina y, por consiguiente, del hematócrito, lo que causa que haya mayor transporte de oxígeno.⁴

Asimismo, está la testosterona, hormona que genera fuerza, resistencia muscular y retención de nitrógeno, influyendo en la velocidad del deportista; también está la hormona de crecimiento que inhibe la glucosa y favorece el consumo de grasa generando mayor fuerza física y rendimiento deportivo.⁵ Asimismo, la hematopoyesis necesita factores hematopoyéticos, linfopoyéticos y un aporte adecuado de minerales, como hierro, cobre y varias vitaminas, las más importantes son el ácido fólico, la vitamina B₁₂, el ácido ascórbico y el hierro.⁶

El hierro es un elemento esencial para procesos fisiológicos del organismo, como el metabolismo y formación de hemoglobina y procesos inflamatorios locales y sistémicos;⁷ la dieta normal de este mineral contiene aproximadamente 10 a 20 mg de hierro, de los que se absorben entre 1 y 2 mg/día.⁸ Con todo lo anterior se demuestra que el ejercicio con estímulos naturales puede generar mejores resultados y de esta manera eliminar la utilización de dopantes.⁹ El objetivo de este trabajo es asociar la variable eritropoyetina con la concentración de hemoglobina, hematócrito, hierro, testosterona, hormona de crecimiento y el recuento de reticulocitos en deportistas que

entrenan a una altura de 2600 metros sobre el nivel del mar.

MATERIALES Y MÉTODOS

Estudio cuantitativo y cuasi experimental (diseño *pre-test-post-test* de un solo grupo), corte longitudinal y muestreo no probabilístico por conveniencia o intencional, constituido por deportistas de un Club Deportivo de Fútbol categoría sub-15, con entrenamiento semanal de 8 horas a una altura de 2600 metros sobre el nivel del mar (msnm), todos ellos del sexo masculino, que aceptaron la participación en el proyecto por medio del consentimiento y asentimiento informado. Asimismo, se excluyeron todos los participantes que hubieran sido transfundidos en los últimos tres meses, padecieran asma o enfermedad renal crónica, ser mujer y los que no aceptaran la participación en el estudio; este proyecto contó con el aval del comité de bioética de la Universidad de Boyacá memorando 034-2019, 035-2019 y 037-2019, 24 de mayo de 2019.

En el primer momento se socializó el estudio firmando el consentimiento y asentimiento libre e informado, posterior a esto, se realizó la primera toma de muestra por venopunción bajo estrictas normas de bioseguridad, durante el siguiente mes los deportistas realizaron un entrenamiento estricto tres veces a la semana y consumieron diariamente un suplemento dietario proporcionado por el estudio, que contenía 10 mg de hierro al día. Posterior al mes, se tomó la segunda muestra por venopunción bajo las mismas condiciones.

La eritropoyetina, la testosterona y la hormona de crecimiento se analizaron por medio de la técnica ELISA tipo sándwich,¹⁰ derivado de un cuadro hemático automatizado se obtuvo el hematócrito, la hemoglobina y el recuento corregido de reticulocitos,¹¹ por su parte, la de-

terminación de la concentración sérica de hierro se realizó por espectrofotometría.

Los datos se registraron en el programa Excel versión 2013 y se analizaron por medio del programa estadístico SPSS versión 21.0; el análisis bivariado se obtuvo de la distribución de la normalidad de las variables numéricas evaluadas con la prueba Shapiro-Wilk,¹² atendiendo que la población fue menor a 50 participantes.

Para determinar la significación estadística según la normalidad de las variables analizadas se realizó estudio estadístico de Pearson y Spearman, para lo cual cada biomarcador tuvo un nivel de significación de $p < 0.05$.¹³

RESULTADOS

Se incluyeron 23 deportistas con promedio de edad de 15 años, todos ellos estudiantes de básica secundaria, la procedencia era de diferentes departamentos de Colombia distribuida así: Valle del Cauca ($n = 2$), Santander ($n = 3$), Cundinamarca ($n = 5$) y Boyacá ($n = 13$). Las variables medidas en pre y posintervención fueron: hemoglobina, hematócrito, eritropoyetina, hierro sérico, recuento corregido de reticulocitos, mientras que se evaluaron las concentraciones hormonales de testosterona y hormona de crecimiento. **Cuadro 1**

En el análisis de las variables se evidencia un incremento significativo de las variables evaluadas posintervención (II) en comparación con la preintervención (I). A continuación, se presenta el análisis de las variables con mayor relevancia y significación en el estudio realizado.

La concentración de eritropoyetina posintervención tuvo incremento de 1.7 mU/mL. Asimismo, se incrementó el promedio del porcentaje de hematócrito posintervención de 1.84% entre la primera y la segunda intervención. En rela-

Cuadro 1. Características de las variables pre y posintervención

	Media	Desviación estándar	IC 95%	Mediana	Mínimo	Máximo
Hemoglobina I	16.54	0.78	16.20-16. 88	16.60	15.10	17.70
Hemoglobina II	17.10	0.94	16.69-17. 51	17.20	15.10	19.0
Hematócrito I	48.18	2.55	47.07-49. 28	48.60	42.50	51.30
Hematócrito II	50.03	3.31	48.58-52. 47	50.40	42.80	57.80
Eritropoyetina I	3.9	2.21	2.94-4. 85	3.30	0.30	7.80
Eritropoyetina II	5.77	2.10	4.86-6. 68	5.70	1.50	9.30
HC I	2.22	3.69	0.62-3.82	0.40	0.20	15.0
HC II	3.65	4.59	1.66-5.64	1.50	0.20	18.70
Testosterona I	0.45	0.10	0.41-0.49	0.43	0.27	0.76
Testosterona II	0.52	0.13	0.46-0.93	0.49	0.33	0.91
Hierro_sérico I (µg/dL)	56.69	19.68	48.17-65.20	54.30	26.90	104.30
Hierro sérico II (µg/dL)	57.07	17.17	49.64-64.50	54.40	21.30	86.30
RRC I (%)	0.99	0.67	0.70-1.28	0.80	0.20	3.40
RRC II (%)	1.91	0.82	1.55-2.27	1.90	0.60	3.50

I: preintervención; II: posintervención; HC: hormona de crecimiento; IC95%: índice de confiabilidad.

ción con la hemoglobina también se evidenció incremento del 1.36% en comparación con la posintervención.

Por otro lado, se evidenció disminución del promedio del recuento RBC posintervención de aproximadamente 0.0483 millones/ μ L y, en consecuencia, la mediana de la variable RBC se convirtió en heterogénea con una variación de percentil 75 a percentil 50, respectivamente con una desviación estándar de 0. Asimismo, se observó incremento en la variable de reticulocitos corregidos del 0.9191%.

En cuanto a las hormonas evaluadas se observó aumento del promedio de la concentración de la hormona de crecimiento posintervención de 1.43 ng/mL. Se identificó incremento del promedio de la concentración de testosterona posintervención de 0.073 ng al día, asimismo, un comportamiento homogéneo de la población respecto a las medianas de concentración de la

testosterona expresada en los percentiles, sin desviación estándar notable. La distribución de la normalidad de las variables numéricas evaluadas se realizó con el estadístico Shapiro-Wilk como se muestra en el **Cuadro 2**, atendiendo a que la población fue menor de 50 participantes, donde se observa el valor estadístico de las variables, la estimación de los valores globales de

Cuadro 2. Prueba de normalidad

	Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.
Hemoglobina II	0.944	23	0.215
Eritropoyetina II	0.972	23	0.738
Hormona de crecimiento II	0.755	23	0.000
Testosterona II	0.924	23	0.081
Hematócrito II	0.955	23	0.366
Reticulocitos II	0.965	23	0.562
Hierro II	0.957	23	0.413

la investigación¹⁴ y la significación estadística, con valores de $p > 0.05$.

A partir de los resultados obtenidos, se determinó que respecto a las variables hemoglobina, eritropoyetina, testosterona y hematócrito pre y posintervención existe una distribución normal, por lo que se aplicó el estadístico de Pearson.

Cuadro 3

Sin embargo, para la hormona de crecimiento, que tuvo ausencia de normalidad, se realizó el estadístico de Spearman, como puede observarse en el **Cuadro 4**, por otra parte, la variable hierro sérico, aunque mostró aumento en el promedio, estadísticamente no fue significativa debido a que se mantuvo la concentración sérica en las muestras analizadas; de igual forma, el RRC tuvo una fluctuación de promedios; sin embargo, sin significación estadística. Lo obtenido anteriormente puede correlacionarse con el aporte dietario, la exposición a la hipoxia y el entrenamiento físico.

DISCUSIÓN

Los resultados obtenidos permiten evidenciar que con los estímulos anteriormente mencionados se incrementaron de forma estadísticamente significativa la concentración de hemoglobina y el porcentaje de hematócrito, lo que evidencia una mayor tasa de eritropoyesis y producción de hormonas,¹⁵ que coincide con diferentes estudios. Respecto a la hemoglobina y al hematócrito, que aumentaron significativamente, es importante establecer que siguen manteniéndose dentro de la variabilidad biológica de un deportista de 15 años, tal como lo estableció Orrego,¹⁶ que indican que los valores de estas variables no pueden ser mayores a 18 g/dL y a 50%, respectivamente, debido a que podría llegar a considerarse dopaje, lo que coincide con los resultados obtenidos, logrando un incremento sin llegar a exceder los límites establecidos.

Calero y colaboradores mencionan la importancia de los entrenamientos deportivos bajo una

Cuadro 3. Correlación de Pearson para variables con comportamiento normal

Correlaciones						
	Eritropoyetina II	Hemoglobina II	Testosterona II	Hematócrito II	Reticulocitos II	Hierro II
Correlación de Pearson	1	0.131	-0.037	0.265	0.133	0.124
Sig. (bilateral)		0.552	0.868	0.222	0.545	0.574
N		23	23	23	0.23	23

Cuadro 4. Correlación de Spearman para variable anormal

		Eritropoyetina II	Hormona de crecimiento II
Eritropoyetina	Coeficiente de correlación	1.000	0.021
	Sig. (bilateral)	0.0	0.925
	N	23	23
Hormona de crecimiento II	Coeficiente de correlación	0.021	1.000
	Sig. (bilateral)	0.925	
	N	23	23

condición de hipoxia, porque éstos mejoran diversos parámetros sanguíneos, en donde hay una producción endógena de eritropoyetina estimulando la hematopoyesis y sus precursores con el fin de aumentar la oxigenación de los tejidos;¹⁷ es recomendable realizar entrenamientos más intensos a mayor altura para de esta forma aumentar la fuerza y la resistencia del deportista.³

A pesar de ello, Bernal y su grupo demostraron que la eritropoyetina no aumenta en los nativos en altura moderada por acción del equilibrio entre formación y destrucción de eritrocitos.¹⁸ Asimismo, Castro y Edwards evaluaron el efecto de la testosterona en dos momentos, en el calentamiento y en la competencia, en donde se encontró aumento significativo de esta variable, influenciado indirectamente por la altura, relacionando la oxigenación de los tejidos con la generación de la energía y con la fuerza muscular.¹⁹

También se ha demostrado que los precursores eritroides influyen directamente en la producción de testosterona y hormona de crecimiento; por la regeneración ósea, muscular y la remodelación del sistema nervioso.²⁰ Estudios como el publicado por Orrego demuestran que el entrenamiento en resistencia produce adaptaciones a nivel sanguíneo y hormonal que se traducen en la resistencia del individuo, estas adaptaciones incluyen el aumento de la concentración plasmática y la hipertrofia e hiperplasia de la musculatura, lo que demuestra que un deportista tiene concentraciones eritroides y hormonales elevadas en comparación con las personas que no realizan ningún tipo de actividad física.¹⁵

Para esto, se correlaciona el aporte dietario, el cual incluía hierro y vitamina B₁₂, con el incremento de la eritropoyesis, que se relaciona aumentando la perfusión sanguínea y el volumen de ésta, lo que genera un mejor transporte de oxígeno a los órganos y principalmente a

la musculatura, teniendo repercusiones en el rendimiento del deportista.²¹

De igual forma, un estudio realizado por Bernal y su grupo acerca de eritropoyetina en ciclistas con entrenamiento en diferente altura sobre el nivel del mar encontró que el comportamiento fisiológico en relación con la producción de glóbulos rojos en los deportistas no siempre aumenta debido al equilibrio que el individuo muestra entre la formación y destrucción de los eritrocitos.²² Asimismo, la disminución del hierro sérico posiblemente ocurre por el consumo de este mineral para producción medular aumentando en la médula ósea, pero disminuyendo en la sangre para incrementar el porcentaje de los reticulocitos.

Acosta y su grupo afirman que un entrenamiento en condiciones de hipoxia en alta altitud estimula la adaptación del organismo en este ambiente, porque se incrementa la producción de hemoglobina y eritrocitos, mejorando la transferencia de oxígeno que es un determinante del volumen máximo de oxígeno (VO₂ máx) en atletas que residan en altitud moderada, con lo que se mejora el rendimiento deportivo; en relación con este estudio se evidenció que se coincide con esta afirmación debido a que la médula ósea recibe estímulos y señales para interactuar con los precursores eritroides, con la biodisponibilidad de hierro, vitamina B₁₂ y ácido fólico que son proporcionados por el aporte dietario; sin embargo, en los deportistas se obtuvo un resultado significativo en la producción de reticulocitos siendo la población inmadura de los glóbulos rojos que están destinados al reemplazo de la senescencia de los eritrocitos que están en circulación y de esta manera oxigenar eficazmente los tejidos y la sangre.²³

Asimismo, Zubieta-Calleja y su grupo²⁴ demostraron que la respuesta hematológica es consistente y la concentración de glóbulos rojos y reticulocitos está directamente relacionada

con la adaptación a la altura y la nutrición por parte del individuo para tener las concentraciones suficientes de minerales y así poder generar una eritropoyesis eficaz y suficiente, además, evidenciaron que el estímulo hipóxico para la hiperactividad de la eritropoyesis no tuvo un efecto apreciable en el volumen total de glóbulos rojos hasta después de al menos tres semanas de exposición a la altura, como ocurrió en este estudio con 30 días de suplemento dietario, exposición a altura mediana (2600 msnm) y un entrenamiento físico que garantizará su rendimiento físico y aeróbico en competencia.²⁵

En los analitos hemáticos evaluados, que incluyeron eritropoyetina, hemoglobina y hematócrito se evidenció un aumento significativo respecto a la preintervención, demostrado a partir de la comparación de los promedios de los datos obtenidos; asimismo, se observa que cada deportista tuvo un incremento leve, moderado o alto en su determinación, describiendo así la capacidad de respuesta a la altura por parte del organismo de cada sujeto, lo que infiere una estrecha relación directamente proporcional entre dichas variables.

Por otro lado, con los datos obtenidos posintervención se determinó que la variable RBC disminuyó, mientras que hubo un aumento significativo en el recuento de reticulocitos corregidos, así como aumento de hierro sérico en la circulación, lo que favoreció la biodisponibilidad de este mineral que, en consecuencia, genera un incremento de la población de reticulocitos en sangre periférica para que en circulación terminen de madurar y así tener mayor masa globular, capacidad de oxigenación tisular eficaz y oportuna por medio de un método de compensación entre la senescencia de masa eritroide y la producción de los mismos.

Seguidamente, en la estadística obtenida, se demuestra que no existe correlación lineal entre las

variables analizadas (testosterona y hormona de crecimiento), demostrando que ninguna depende de la otra para su incremento; sin embargo, se ha evidenciado que el proceso de adaptación a la altitud influye directamente en el proceso de oxigenación tisular, además de la producción hormonal, que en este caso se verá reflejado específicamente en las variables medidas.

Por lo anterior se concluye que la eritropoyetina, la hemoglobina, los glóbulos rojos, el hierro, los reticulocitos y las hormonas actúan como un complejo sinérgico junto con el aporte dietario influyendo directamente en el proceso compensatorio de los precursores hematopoyéticos requiriendo hierro y vitaminas como un componente indispensable para la generación de células sanguíneas haciendo que el entrenamiento en altura se refleje en cambios morfológicos y fisiológicos de aclimatación y adaptación a la altura a mediano y largo plazo; asimismo, la activación de la eritropoyesis es un proceso multifactorial que se evidencia con el incremento de la masa globular circulante.

Por último, se considera que existe asociación entre las variables medidas debido a la significación estadística y el incremento en los precursores eritroides a partir de la hipoxia generada fisiológicamente al exponerse a una altura de 2600 m.s.n.m. que influye directamente en el proceso de hematopoyesis, generando respuesta de la médula ósea con un proceso de compensación ya que ésta se afecta por la dificultad de los glóbulos rojos para captar el oxígeno a estas alturas y, en consecuencia, se aumenta la producción de hemoglobina y reticulocitos para así mejorar la transferencia de oxígeno, lo que se refleja en el rendimiento deportivo.

REFERENCIAS

1. Vargas OC. Exercise and training at altitudes: Physiological effects and protocols. *Rev Ciencia Salud* 2014; 12: 111-126.

2. Domínguez MD, Ramírez H, Rodríguez JC. Células madres hematopoyéticas: origen, diferenciación y función. *Rev Med Uv* 2015.
3. González A. Sangre y hematopoyesis. *Rev Histol y Biol Cel* 2012; 168-201.
4. Peralta MA, Zanguña LF, Cruz SG. Niveles de eritropoyetina y reticulocitos en residentes de bajas alturas migrantes a medianas altura. *Rev Universidad Ind Santander Salud* 2017; 49: 35-39.
5. Voss S, Robinson N, Alsayrafi M, Bourdon CP, et al. The effect of a period of intense exercise on the marker approach to detect growth hormone doping in sports. *Drug Test Anal* 2014; 6: 82-86. doi: 10.1002/dta.1666.
6. Randa HD, Laurence LB. *Farmacología de la hematopoyesis*. 2ª ed. capítulo 2. McGraw-Hill, 2015; 26-46.
7. Pereira M, Chen TD, Buang N, Olona A, et al. Acute iron deprivation reprograms human macrophage metabolism and reduces inflammation in vivo. *Cell Rep* 2019; 28: 498-511. <https://doi.org/10.1016/j.celrep.2019.06.039>.
8. Sermini CG, Acevedo MJ, Arrendo M. Biomarkers of metabolism and iron nutrition. *Rev Peru Med Exp Salud Pública* 2017; 34: 690-698.
9. Jiménez J. Motivos por los cuales los deportistas utilizan el doping en el deporte: Análisis cualitativo desde la perspectiva de deportistas, dirigentes y entrenadores deportivos costarricenses. *Rev Uni Costa Rica* 2015; 8-20.
10. Laudo C, Puigdevall V, Del Río M, Velasco A. Hormonas utilizadas como agentes ergonogénicos: Situación actual del problema. *Anales Sistema Sanitario Navarra* 2006; 29.
11. Huerta J, Cela E. Hematología práctica: Interpretación del hemograma y las pruebas de coagulación. Actualización en Pediatría 2018; 2.
12. Romero M. Pruebas de bondad de ajuste a una distribución normal. *Rev Enfermería del Trabajo* 2016; 6.
13. Fernández P, Díaz P. Significancia estadística y relevancia clínica. *Unidad de Epidemiología clínica y Bioestadística* 2011; 8.
14. Oré J. ¿Qué significan los grados de libertad? *Rev Peruana Epidemiol* 2013; 17.
15. Trompetero A, Mejía E, Serrato W, Landinés M, Rojas M. Comportamiento de la concentración de hemoglobina, el hematocrito y la saturación de oxígeno en una población universitaria en Colombia a diferentes alturas. *Nutr Hosp* 2015; 32 (5). <https://dx.doi.org/10.3305/nh.2015.32.5.9711>.
16. Orrego ML, Lucía DM, Londoño O. Valores de hematocrito y de hemoglobina en deportistas evaluados en Instituto de Deportes de Medellín (Colombia). *Acta Médica Colomb* 2007; 32 (4).
17. Calero S, Caizaluisa R, Morales F, Vera A, Moposita F. Efectos de la hipoxia en atletas paralímpicos con entrenamiento escalonado en la altura. *Rev Cuba Invest Biomed* 2017; 36 (1).
18. Bernal-García M, Cruz-Rubio S. Interacción fisiológica de la hormona eritropoyetina, relacionada con el ejercicio físico en altitud moderada y alta. *Rev Investig en Salud Univ Boyacá* 2014; 1 (1): 73.
19. Castro KV, Edwards DA. Before, during, and after: how phases of competition differentially affect testosterone, cortisol, and estradiol levels in women athletes. *Adaptive Human Behavior Physiol* 2016; 2 (1): 11-25.
20. Garvican L, Halliday L, Abbis C, Saunders P, Gore C. Altitude exposure at 1800 m increases haemoglobin mass in distance runners. *Rev Sports Science Med* 2015; 14 (2).
21. Lee E, Fragala M, Kavouras S, Queen R, Pryor J, Casa D. Biomarkers in sports and exercise: tracking health, performance, and recovery in athletes. *Rev Strength Cond* 2017; 10: 2920-293.
22. Bernal MI, Cruz SG. Eritropoyetina en ciclistas con entrenamiento en diferente altura sobre el nivel del mar. *Mov Científico* 2016; 10 (1): 8-18.
23. Acosta MR, Pérez JL, Melgarejo VM, Losada E. Cambios hematológicos en atletas que entrenan en alta altitud y residen en altitud moderada. *Salud Hist Sanid* 2017; 12 (2): 17-27.
24. Zubieta-Calleja GR, Zubieta-Castillo G, Zubieta-Calleja L. Inadequate treatment of excessive erythrocytosis/Tratamiento inadecuado en la eritrocitosis excesiva. *Acta andin* 1995; 4 (2): 123-6.
25. Correa JF, Rodríguez DF, Correa JC. Comportamiento de índices fisiológicos en un grupo de estudiantes de la Universidad Nacional de Colombia sede Bogotá, expuestos de 2600 a 3800 msnm en el páramo de Sumapaz durante un día. Estudio observacional. *Arch Med* 2015; 15 (1): 85-94.