

Luis Efrén Santos-Martínez^{1a}

Resumen

La hipoxia asociada a la altitud se conoce como *hipoxia hipobárica* y está relacionada con la disminución de la presión barométrica y la presión inspirada de oxígeno; conforme estos disminuyen, la hipoxia incrementa. Los habitantes de lugares con gran altitud se aclimatan-adaptan con cambios morfológicos, fisiológicos y genéticos por generaciones. Hay grandes diferencias entre la gran altitud, la altitud moderada y el nivel del mar. Las características de los habitantes de lugares con altitud moderada se han considerado similares a las de aquellos que viven al nivel del mar. Sin embargo, la hipoxia hipobárica está presente y la oxigenación es menor que al nivel del mar, además de que todavía se desconoce qué otros cambios puede haber por efecto de la hipoxia hipobárica en esta altitud.

Abstract

Hypoxia associated with altitude is known as *hypobaric hypoxia* and it is related to the decrease in barometric pressure and inspired oxygen pressure; as they decrease, hypoxia increases. High altitude inhabitants acclimatise-adapt with morphological, physiological and genetic changes over generations. There are major differences between high altitude, moderate altitude and sea level. The characteristics of inhabitants of places with moderate altitude have been considered similar to those who live at sea level. However, hypobaric hypoxia is present and oxygenation is lower than at sea level, and it is still unknown what other changes may be caused by hypobaric hypoxia at this altitude.

¹Secretaría de Salud, Instituto Nacional de Cardiología Ignacio Chávez, Departamento de Terapia Intensiva Posquirúrgica Cardiovascular. Ciudad de México, México

ORCID: [0000-0002-2866-3047^a](https://orcid.org/0000-0002-2866-3047)

Palabras clave

Altitud
Gasometría Arterial
Oxigenación
Hipoxia
Población Residente

Keywords

Altitude
Blood Gas Analysis
Oxygenation
Hypoxia
Resident Population

La *hipoxia* de la altitud es un mecanismo de hipoxemia no tan conocido como las alteraciones de la ventilación/perfusión, la hipoventilación, el cortocircuito intracardiaco e intrapulmonar y la difusión a través de la membrana alveolo-capilar. Este tipo de hipoxia se debe a la disminución de la presión atmosférica (P_{Atm}), de la presión barométrica (PB) y la reducción de la presión inspirada de oxígeno que ocurre en la altura. Esta hipoxemia es un mecanismo fisiológico conocido como *hipoxia hipobárica* (HH).¹

La HH se instaura conforme se asciende en altitud. Los primeros días el organismo se aclimata por una serie de respuestas fisiológicas a la hipoxia. Con mayor tiempo en la altitud, se adapta a vivir en esas condiciones de hipoxia. Este proceso de adaptación puede ocurrir a lo largo de miles de años y numerosas generaciones.²

Se estima que los habitantes permanentes de la gran altitud (> 2500 metros sobre el nivel del mar, MSNM) son

Comunicación con:

Luis Efrén Santos Martínez

 luis.santos@cardiologia.org.mx

 55 4881 5135

Cómo citar este artículo: Santos-Martínez LE. Consideraciones sobre la hipoxia y la altitud. Rev Med Inst Mex Seguro Soc. 2025;63(5):e6725. doi: 10.5281/zenodo.16748358

alrededor de 81.6 millones. Estos realizan sus actividades diarias prácticamente sin dificultad. Aunque sus respuestas fisiológicas de adaptación a la altitud difieren, los pobladores del Tibet (3656 MSNM) exhiben mayor saturación arterial de oxígeno (SaO_2), menor hemoglobina (HB) y mayor capacidad ventilatoria (adaptación genotípica) si se comparan con pobladores de América Latina como los quechuas y los aymaras (> 2500 MSNM) que, a pesar del largo tiempo de habitar en la gran altitud, aún están en proceso de adaptación. Su perfil clínico es de menor SaO_2 , mayor HB, aumento de la presión pulmonar, de la resistencia vascular pulmonar con hipertrofia del ventrículo derecho y de los volúmenes pulmonares (adaptación fenotípica).³

Todos los pobladores de la gran altitud viven en condiciones hipóxicas en relación con su PB. Han desarrollado cambios fisiológicos y genéticos durante el proceso de aclimatación-adaptación y estos han sido ampliamente informados.⁴ Entre esas adaptaciones, se incluyen cambios en la oxigenación, en la circulación sanguínea y pulmonar, cambios en la morfología y estructura corporal, mayor perímetro torácico con incremento de los volúmenes y capacidades pulmonares; asimismo, a nivel hematológico hay una mayor producción de eritropoyetina y hemoglobina; a nivel renal hay una disminución del flujo sanguíneo y plasmático renal, microalbuminuria y modificación del equilibrio ácido-base; el volumen sanguíneo es mayor pero con disminución del volumen plasmático. La función cerebral se deteriora y hay remodelado capilar como efecto de la vasoconstricción sostenida por la hipoxia. El sistema neuro-endócrino-inmunológico también se ve alterado. En relación con lo gineco-obstétrico hay retraso en la maduración folicular, ovulación e incluso del embarazo. Se obtienen recién nacidos con menor peso por disminución del flujo arterial útero-placentario y limitación del crecimiento intrauterino. El estradiol, la progesterona y la prolactina disminuyen mientras que la testosterona incrementa, entre otros grandes cambios descritos.⁴

La disminución de la oxigenación como efecto de la HH en la gran altitud es de los efectos más conocidos. En El Alto, Bolivia,⁵ (4150 MSNM) la presión arterial de oxígeno (PaO_2) normal es de 58.7 ± 8.6 mmHg, para una PB (364-493) y una fracción inspirada de oxígeno (FiO_2) de 21%. Al usar estos valores, se complica el diagnóstico y el tratamiento de entidades como el síndrome de dificultad respiratoria del adulto (SDRA) que utiliza valores obtenidos al nivel del mar.⁶

Estos cambios no parecen ser iguales a los que suceden en una menor altitud, como los que podrían ocurrir en la altitud moderada (1500-2500 MSNM), donde no hay efectos relacionados con el ejercicio y las características de sus pobladores parecieran no ser diferentes de las de aquellos que viven al nivel del mar. Este concepto de «igualdad con

poblaciones a nivel del mar» parece provenir desde las observaciones del fisiólogo mexicano Daniel Vergara Lope Escobar (1865-1938), quien estudió en el altiplano mexicano algunos mecanismos de adaptación a la altura que, de acuerdo con su consideración, protegían contra la «Anoxiemia Barométrica» presente en la altitud y eran causales de deterioro de la supervivencia y del desarrollo intelectual según la fisiología francesa. Las conclusiones de Vergara Lope fueron que a la altura del Valle de México no había diferencias con la altura. Cabe señalar que con sus aportaciones de la altura el doctor Vergara Lope funda las bases de la fisiología mexicana.⁷

Este concepto de la poca relevancia de la altura en las diferencias de la población con respecto a la altitud moderada permeó por años en el área médica y es parte del origen de este concepto de no diferencias entre los habitantes del nivel del mar y los de la altitud moderada; en la actualidad, en la práctica clínica los valores gasométricos de oxigenación obtenidos al nivel del mar son tomados como patrón de referencia en la altitud moderada.

Sin embargo, la HH también opera en la altitud moderada (1500-2500 MSNM). Dada la PB disminuida (587), los valores de la PaO_2 normales a la altura de la Ciudad de México (2240 MSNM, PB 587 y FiO_2 21%) han sido informados entre 60 y 70 mmHg por diversos autores,⁸ en contraste con los obtenidos a nivel del mar (0 MSNM, PB 760 mmHg, FiO_2 21%), que son de 80 a 100 mmHg. Es claro que los valores son diferentes.

También en la altitud moderada hay diferencias con los valores para categorizar el SDRA o para el momento de iniciar tratamiento con oxígeno suplementario en sujetos con enfermedad pulmonar obstructiva crónica (EPOC),⁹ obesidad mórbida o la hipertensión pulmonar.

Las alteraciones de la oxigenación, la hiperventilación, la disminución de la presión arterial de dióxido de carbono y el incremento de la hemoglobina en un 10% > a nivel del mar, son los cambios informados que están relacionados con esta altitud; sin embargo, la información es escasa y los trabajos tienen más de 40 años de publicados (excepto los de intercambio gaseoso). El desconocimiento de características normales en esta población de la altitud es enorme. En diversas características se asume ser igual a otras poblaciones como las del nivel del mar, pero no se ha demostrado. Sería deseable que cada población de diferentes altitudes informara sus valores normales y con esto se conociera mejor la conformación corporal normal y su fisiología de acuerdo con la altitud.

Una alta proporción de la población que habita en una menor altitud viaja a la gran altitud por diversos motivos: turismo, trabajo, rescate o por causas militares. Estos usual-

mente no tienen tiempo para aclimatarse o pierden la adaptación. El aclimatarse-adaptarse bien a la altitud depende de la frecuencia de ascenso, velocidad, severidad y tiempo de exposición, además de su genética. Una mala aclimatación-adaptación puede ocurrir en una condición aguda, la cual se manifiesta por edema pulmonar o cerebral, y en forma crónica por eritrocitosis excesiva o mal de montaña crónico y la hipertensión pulmonar.³

Los pobladores de la República Mexicana son numerosos y están en constante movimiento hacia otras altitudes; por ende, podrían estar en riesgo de alguna complicación derivada de la altitud. Es tiempo de caracterizar los cambios morfológicos y fisiológicos normales que ocurren con la altitud moderada.

Referencias

1. Petersson J, Glenn RW. Gas Exchange in the Lung. *Semin Respir Crit Care Med* 2023; 44:555-68. doi:10.1055/s-0043-1770060
2. Murillo JC, Salinas SC, López MJJ, et al. Función ventricular derecha en residentes nativos a gran altura. *J Health Med Sci*. 2020;6(2):113-22.
3. Santos-Martínez LE, Gómez-Tejeda RA, Murillo-Jauregui CX, et al. Exposición crónica a la altitud. Características clínicas y diagnóstico. *Arch Cardiol Mex*. 2021;91(4):500-7. doi: 10.24875/ACM.20000447
4. Vizcarra-Vizcarra CA, Pérez-Quispe EC, Pilco-Prado LE, et al. Fisiología de altura. ¿Afecta la altura a la homeostasis? *Rev Cuerpo Med HNAAA*. 2024;16(4):1-22. doi: 10.35434/rcmhnaaa.2023.164.1866
5. Viruez-Soto JA, Jiménez-Torres F, Sirpa-Choquehuanca V, et al. Gasometría arterial en residentes a gran altura, El Alto – Bolivia 2020. *Cuad Hosp Clin*. 2020;61(1):38-43.
6. Matthay MA, Arabi Y, Arroliga AC, et al. A New global definition of acute respiratory distress syndrome. *Am J Respir Crit Care Med*. 2024;209(1):37-47. doi: 10.1164/rccm.202303-0558WS
7. Perez-Padilla JR. Adaptation to moderate altitude hypoxemia: The example of the valley of Mexico. *Rev Invest Clin*. 2022;74(1):4-15. doi: 10.24875/RIC.21000159
8. Santos-Martínez LE, Arias-Jiménez A, Quevedo-Paredes J, et al. Caracterización de los parámetros del intercambio gaseoso en la ciudad de México. *Rev Med Inst Mex Seguro Soc*. 2021;59(6):473-81. Disponible en: <https://docs.bvsalud.org/biblioref/2022/02/1354772/4106-28306-1-pb-06-03.pdf>
9. Sandot A, Bunel V, Mal H. Indications of home oxygen therapy for patients with COPD or ILD. *Rev Mal Respir*. 2024;41(10):751-61. doi: 10.1016/j.rmr.2024.10.004