

## GASOMETRÍA ARTERIAL EN RESIDENTES A GRAN ALTURA, EL ALTO – BOLIVIA 2020

### ARTERIAL BLOOD GAS ANALYSIS IN RESIDENTS AT HIGH ALTITUDE, EL ALTO, BOLIVIA 2020

Viruez-Soto J A<sup>1</sup>, Jiménez-Torres F<sup>2</sup>, Sirpa-Choquehuanca V<sup>3</sup>, Casas-Mamani R<sup>4</sup>, Medina-Vera M<sup>5</sup>, Vera-Carrasco O<sup>6</sup>

1. Jefe del Departamento de Apoyo Crítico, Docente Responsable de la Especialidad en Medicina Crítica y Terapia Intensiva del Hospital del Norte, El Alto, La Paz (Bolivia)
2. Médico Residente de la Especialidad en Medicina Crítica y Terapia Intensiva del Hospital del Norte, El Alto, La Paz (Bolivia)
3. Médico Residente de la Especialidad en Medicina Crítica y Terapia Intensiva del Hospital del Norte, El Alto, La Paz (Bolivia)
4. Médico Residente de la Especialidad en Medicina Crítica y Terapia Intensiva del Hospital del Norte, El Alto, La Paz (Bolivia)
5. Médico Residente de la Especialidad en Medicina Crítica y Terapia Intensiva del Hospital del Norte, El Alto, La Paz (Bolivia)
6. Médico especialista en Medicina Crítica y Terapia Intensiva, Docente Emérito de la Facultad de Medicina de la Universidad Mayor de San Andrés, La Paz (Bolivia)

**Autor responsable de correspondencia:** Dr. Antonio Viruez Soto, Avenida Juan Pablo II, No 220, Zona Rio Seco, El Alto, La Paz (Bolivia), Celular 591+78804139, email antonioviruez@hotmail.com

**RECIBIDO:** 09/03/2020

**ACEPTADO:** 20/06/2020

### RESUMEN

**INTRODUCCIÓN:** La presión barométrica determina la presión parcial de los gases tanto en el medio ambiente como a nivel alveolar pulmonar, por lo que, para una determinada presión barométrica, la presión de oxígeno y dióxido de carbono es distinta.

**OBJETIVO:** El objetivo del presente es caracterizar los valores de gasometría arterial en residentes adultos sanos a muy alta altitud en la ciudad de El Alto.

**METODOLOGÍA:** Estudio serie de casos, realizado durante la gestión 2019 en 22 (73%) mujeres y 8 varones (27%), con una media de edad de 36.07 años. El estudio contó con la aprobación del Comité de Ética Hospitalario.

**RESULTADOS:** A 4082 metros sobre el nivel del mar, el pH tiende hacia la alcalosis (7.43) así como la PaO<sub>2</sub> es menor (58.69mmHg), el valor de PaCO<sub>2</sub> (26.14mmHg) es menor correspondiente a una ciudad con mayor altitud, el valor de bicarbonato sérico (20.14mmol/L) se encuentra disminuido en compensación a la disminución de la PaCO<sub>2</sub> y el valor de la SatO<sub>2</sub>% (91.7%) es menor al reportado a nivel del mar. Hay que destacar que el índice PaO<sub>2</sub>/FiO<sub>2</sub> no concuerda con el cálculo realizado según la fórmula propuesta dentro de la definición de los "Criterios de Berlín". Se evidencia también que, en la muestra si bien la correlación entre la PaO<sub>2</sub> y la SatO<sub>2</sub>% resulta como alta, no resulta perfectamente lineal.

**CONCLUSIÓN:** Resulta imperativo precisar las características propias a la fisiología correspondientes a cada altitud, buscando aplicar parámetros propios como los de la gasometría arterial para el tratamiento de las enfermedades prevalentes en cada región, así como desarrollar investigaciones específicas a gran altura, ensayar posibilidades y documentarlas.

**PALABRAS CLAVE:** Gasometría arterial, residente, muy alta altitud.

## ABSTRACT

**INTRODUCTION:** Barometric pressure determines the partial pressure of gases both in the environment and at the pulmonary alveolar level, so for a given barometric pressure, the pressure of oxygen and carbon dioxide is different. The objective of this paper is to characterize arterial blood gas values in healthy adult residents at very high altitude in the city of El Alto.

**METHODOLOGY:** Case series study, carried out during 2019; 22 volunteers (73% women and 8 men (27%), mean age 36.07 years are included. The study was approved by the Hospital Bioethics Committee.

**RESULTS:** At 4082 meter above sea level, pH tends towards alkalosis (7.43) as well as  $\text{PaO}_2$  is lower (58.69mmHg), the value of  $\text{PaCO}_2$  (26.14mmHg) is lower corresponding to a city with higher altitude, the value of serum bicarbonate (20.14mmol/L) is lower in compensation at the decrease in  $\text{PaCO}_2$  and the value of  $\text{SatO}_2\%$  (91.7%) is lower than that reported at sea level. The  $\text{PaO}_2/\text{FiO}_2$  index does not match the calculation made according to the proposed formula within the definition of the "Berlin Criteria". It is also evident that, although the correlation between  $\text{PaO}_2$  and  $\text{SatO}_2\%$  is high, it is not perfectly linear.

**CONCLUSION:** It is imperative to precise the characteristics corresponding to the physiology corresponding to each altitude, looking forward to apply these parameters, such as those of arterial blood gas, in the treatment of prevalent diseases for each region, and so as develop specific studies at high altitude, also testing and reporting them.

**KEY WORDS:** Arterial blood gas analysis, resident, very high altitude.

## INTRODUCCIÓN

Como se encuentra muy bien descrito en la literatura, la presión barométrica es la referente fisiológica fundamental para los cambios en la gasometría arterial a cualquier nivel de altitud como la presión parcial de los gases tanto en el medio ambiente y a nivel alveolar pulmonar.

Por lo que, para una determinada presión barométrica, la presión de oxígeno ( $\text{O}_2$ ) y dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) será distinta, sin que eso signifique, por comparación, que a latitudes y altitudes diferentes, los sujetos que viven por encima de los 2500 metros sobre el nivel del mar (m.s.n.m.) se encuentren en un estado relativo de hipoxia. Dichos parámetros requieren un importante análisis, ya que la composición del aire, es porcentualmente el mismo, tanto a nivel del mar como en la punta del Illimani (montaña nevada cerca de la ciudad de La Paz-Bolivia) o el Huayna Potosí (montaña nevada cerca de la

ciudad de El Alto, La Paz-Bolivia), lo que varía indudablemente es la presión barométrica y por ende la presión parcial de los gases.<sup>1,2,3</sup> La ciudad de La Paz, se encuentra a 3577 m.s.n.m. y la ciudad de El Alto a 4082 m.s.n.m., habiéndose ya descrito los valores considerados como normales de gasometría arterial, para la ciudad de La Paz en dos reconocidas ocasiones así como su comparación con valores a nivel del mar, descripción que se encuentran en el Cuadro N° 1. Se puede evidenciar que tanto los valores de presión parcial de oxígeno y dióxido de carbono se encuentran por debajo de los encontrados a nivel del mar, así como el bicarbonato sérico, el cual también se encuentra disminuido en compensación a la disminución del  $\text{PaCO}_2$ , ya que, para un equilibrio ácido base "toda compensación respiratoria, conlleva a una respuesta metabólica".<sup>7,8</sup>

La clasificación actual según nivel de altitud se muestra en el Cuadro N° 2.

**Cuadro 1. Gasometría arterial a 3 577 m s.n.m. en la ciudad de La Paz, comparada con el nivel del mar**

VARIABLES	Ciudad de La Paz (IBBA, 1997) <sup>4</sup>	Ciudad de La Paz (Vera-Carrasco O, 1991) <sup>5</sup>	Nivel del Mar (SEPAR, 1998) <sup>6</sup>
pH	7.35 – 7.45	7.28 – 7.43	7.25 – 7.45
PaO <sub>2</sub> (mmHg)	60mmHg	55.9	90mmHg
PaCO <sub>2</sub> (mmHg)	30mmHg	28.8mmHg	40mmHg
HCO <sub>3</sub> (mmol/L)	19-22mmol/L	10-22mmol/L	22 – 27mmol/L
Déficit o exceso de bases (BE)	0 +/- 5	0 +/- 7	2 +/- 2
Saturación de oxihemoglobina (%)	90-93%	86%	96%
Índice de Kirby (PaO <sub>2</sub> /FIO <sub>2</sub> )	200	200	300

IBBA: Instituto Boliviano de Biología de la Altura, SEPAR: Sociedad Española de Neumología y Cirugía Tórácica.  
PaO<sub>2</sub>: Presión parcial arterial de oxígeno, PaCO<sub>2</sub>: Presión parcial arterial de dióxido de carbono, HCO<sub>3</sub>: Bicarbonato sérico.

**Cuadro 2. Clasificación del nivel de altitud según metros sobre el nivel del mar.<sup>9,10</sup>**

NIVEL DE ALTITUD	METROS SOBRE EL NIVEL DEL MAR	PRESIÓN BAROMÉTRICA APROXIMADA (mmHg)
Baja altitud	0 – 1 499	635 – 760
Altitud intermedia o moderada	1 500 – 2 500	561 – 634
Alta Altitud	2 500 – 3 500	494 – 560
Muy alta altitud	3 500 – 5 800	364 – 493
Altitud Extrema	> 5 800	268 – 363
Zona "muerta"	> 8 000	< 267

El 24 de abril de 2015 se inauguró la Unidad de Cuidados Críticos Adultos del Hospital del Norte, el primer Hospital de 3er nivel de complejidad en la ciudad de El Alto,<sup>11</sup> lo cual conlleva inevitablemente a la necesidad inherente de describir los parámetros fisiológicos propios de la población que atiende, por lo que el objetivo del presente trabajo es caracterizar los valores de gasometría arterial en residentes adultos sanos a 4082 metros sobre el nivel del mar.

## METODOLOGÍA

Estudio de serie de casos, llevado a cabo durante la gestión 2019. Se incluyen 22 (73%) mujeres y 8 varones (27%); con una media de edad de 36.07 años (rango de 15 años, valor mínimo 28 años y valor máximo 43 años). Se realizó muestreo por conveniencia teniendo como población objetivo a residentes adultos sanos de muy alta altitud de la ciudad de El Alto a 4082 m s. n. m., con una presión barométrica de 464 mmHg. Se definió como adulto sano a aquel individuo no fumador, mayor de 20 años, que no recibe medicación alguna, sin antecedentes ni síntomas de enfermedad

cardiovascular, pulmonar o hematológica;<sup>12</sup> por otra parte, se consideró como residente a la persona que vivía y trabajaba, durante el estudio en la ciudad de El Alto, durante al menos los últimos 6 meses. Para la toma de muestra de sangre en arteria radial de extremidad superior no dominante, se utilizaron jeringas exclusivas para toma de muestra de gasometría Care Fusion, las muestras fueron procesadas en un equipo Radiometer ABL800 Flex (Brønshøj, Dinamarca). La toma de las muestras fue realizada por los investigadores principales. Para el análisis de los datos se utilizó estadística descriptiva y la creación de una base de datos en el programa SPSS 18. El estudio contó con la aprobación del Comité de Ética Hospitalario.

## RESULTADOS

En el Cuadro 3 se evidencian los resultados obtenidos a partir del procesamiento en el gasómetro mencionado, realizando además la comparación entre el subgrupo de mujeres y el subgrupo de varones mediante t de Student, considerándose un valor estadísticamente significativo < 0.05.

Cuadro 3. Características gasométricas de la población estudiada.

Variable / Valor	Total (n = 30)	DE	Límite inferior	Límite superior	Mujeres (n=22)	Varones (n=8)	p
pH	7.431	0.04	7.39	7.47	7.429	7.434	0.78
PaO <sub>2</sub>	58.69	8.55	50.14	67.24	58.93	58.01	0.80
PaCO <sub>2</sub>	26.14	2.89	23.25	29.03	26.74	24.51	0.06
HCO <sub>3</sub>	20.14	1.95	18.19	22.09	20.34	18.59	0.36
SatO <sub>2</sub> %	91.70	2.85	88.86	94.55	91.50	92.26	0.53
ctHb (g/dL)	16.25	1.98	14.27	18.23	16.35	15.99	0.67
p50c (mmHg)	28.68	3.28	25.40	31.95	29.33	26.88	0.07
ctO <sub>2</sub> c (Vol%)	20.43	2.74	17.69	23.17	20.19	19.84	0.83
Lactato (mmol/L)	1.82	0.82	1.04	2.68	1.69	1.84	0.15
FO <sub>2</sub> HB (%)	90.73	3.07	87.65	93.80	90.49	91.39	0.49
FCOHB (%)	0.63	0.70	-0.08	1.33	0.50	0.96	0.12
FHHb (%)	7.05	3.64	3.42	10.69	7.48	5.88	0.29
FMetHB (%)	1.32	0.26	1.06	1.58	1.38	1.15	0.06
Sodio (mEq/L)	139	5.70	133.20	144.60	140	137	0.19
Potasio (mEq/L)	3.9	0.68	3.19	4.55	3.6	4.6	0.09
Cloro (mEq/L)	111	5.92	105.12	116.95	111	110	0.62
iCa (mmol/L)	0.98	0.22	0.76	1.21	1.02	0.88	0.12
Glucemia (mg/dL)	106.47	12.64	93.82	119.11	106.95	105.13	0.73
Anion gap (mmol/L)	11.6	2.16	9.44	13.76	11.6	11.5	0.91
Anion gap s/K (mmol/L)	7.7	2.17	5.56	9.90	8.0	6.9	0.22
mOsm (mmol/Kg)	283.7	11.52	272.20	295.23	285.4	279.1	0.19
SaO <sub>2</sub> /FiO <sub>2</sub>	436.7	13.56	423.13	450.24	435.7	439.3	0.53
PaO <sub>2</sub> /FIO <sub>2</sub>	279.5	40.71	236.79	320.21	283.2	278.9	0.80
cBase (mmol/L)	-5.1	1.82	-6.96	-3.32	-5.0	-6.5	0.53

Dónde: DE: Desviación estándar, ctHb: Hemoglobina total calculada, p50c: Presión parcial de oxígeno necesaria para alcanzar una saturación de hemoglobina del 50%, ctO<sub>2</sub>c: Contenido arterial de oxígeno calculado, FO<sub>2</sub>HB: Fracción de oxihemoglobina, FCOHB: Fracción de carboxihemoglobina, FHHb: Fracción de hemoglobina disfuncional (dishemoglobina), FMetHB: Fracción de metahemoglobina, iCa: Calcio iónico, Anion gap s/K: Hiato aniónico sin potasio, cBase: Exceso o déficit de base.

En las Figuras 1, 2 y 3 se evidencia la correlación entre PaO<sub>2</sub> y SatO<sub>2</sub>%, edad y PaO<sub>2</sub>/FiO<sub>2</sub> y

finalmente edad y contenido arterial de oxígeno, respectivamente

Figura 1. Coeficiente de correlación r de Pearson entre la presión parcial arterial de oxígeno y la saturación de oxihemoglobina, con valor 0.72.

Correlación PaO<sub>2</sub> y SatO<sub>2</sub>%.

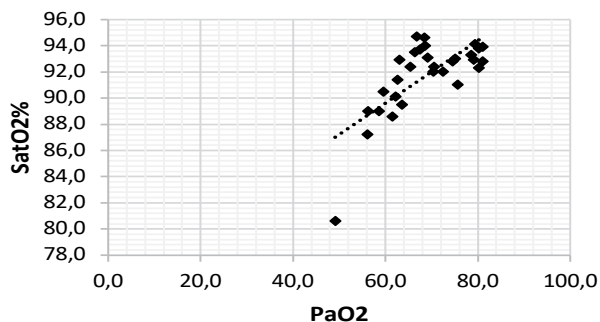
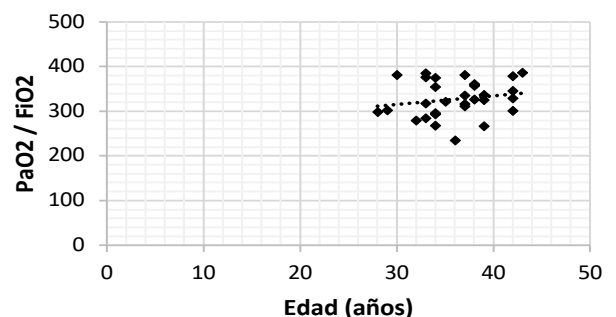
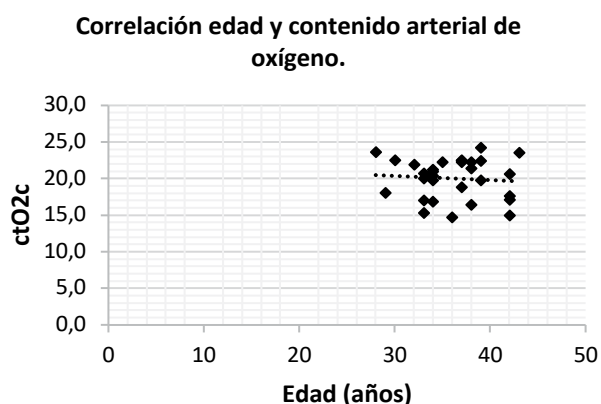


Figura 2. Coeficiente de correlación r de Pearson entre la edad y el índice presión parcial arterial de oxígeno/fracción inspiratoria de oxígeno, con valor 0.19.

Correlación edad y PaO<sub>2</sub>/FiO<sub>2</sub>.



**Figura 3. Coeficiente de correlación r de Pearson entre la edad y el contenido arterial de oxígeno, con valor -0.08.**



## DISCUSIÓN

A nivel mundial más de 140 millones de personas residen en la altura por lo que, evaluarlos con parámetros del nivel del mar llevaría a conclusiones erróneas y recomendaciones inadecuadas.<sup>12</sup> El presente estudio incluye adultos sanos residentes en “edad productiva/laboral” lo cual evidentemente es de interés para la sociedad en su conjunto. En concordancia con lo reportado en estudios previos, los valores más frecuentemente utilizados en el análisis de la gasometría arterial confirman que a muy alta altitud el pH tiende hacia la alcalosis así como la  $\text{PaO}_2$  es menor, el valor de  $\text{PaCO}_2$  es menor a los dos estudios referidos en la literatura correspondiente a una ciudad con mayor altitud, el valor de bicarbonato sérico se encuentra disminuido en compensación a la disminución de la  $\text{PaCO}_2$  y el valor de la  $\text{SatO}_2\%$  es menor al reportado a nivel del mar. En cuanto a un parámetro muy

utilizado en medicina intensiva, destacar que el índice  $\text{PaO}_2/\text{FiO}_2$  no concuerda con el cálculo realizado según la fórmula propuesta dentro de la definición de los “Criterios de Berlín”<sup>13</sup> para ajustar los límites de distrés respiratorio agudo, en concordancia con Jibaja M.<sup>14,15</sup> Se evidencia también que en la muestra, si bien la correlación entre la  $\text{PaO}_2$  y la  $\text{SatO}_2\%$  resulta como alta, no resulta perfectamente lineal; ya que, como es conocido algunas otras variables como la temperatura, estado ácido-base, hidratación o humedad relativa del ambiente pueden influir en dicha correlación. Finalmente, correlacionando la edad tanto con el índice  $\text{PaO}_2/\text{FiO}_2$  así como con el contenido de oxígeno arterial, prácticamente no existe correlación en ambos casos, probablemente debido a los diferentes hábitos de cada persona en relación a ejercicio físico, hábitos alimenticios y otros.

## CONCLUSIÓN

La gasometría arterial en la altura debe ser interpretada con suma precaución. En este trabajo proporcionamos información valiosa para alcanzar un manejo más cercano a la realidad fisiológica del paciente residente a muy alta altitud. Resulta imperativo describir las características propias de la fisiología a cada latitud, buscando aplicar parámetros propios de la gasometría arterial y del estado ácido base para el tratamiento de las enfermedades prevalentes en cada región y en particular, a diferentes niveles de altitud.

## CONFLICTO DE INTERESES

Los autores niegan conflictos de intereses.

## REFERENCIAS

1. Hinojosa-Campero WE. Gasometría arterial y adaptación en la altura. *Rev Méd-Cient “Luz Vida”*. 2011;2(1): 39-45.
2. Hinojosa W. *Fisiopatología Clínica. Módulos de enseñanza basados en casos problema*. 1ª ed. Bs As-Argentina: Editorial Grupo Guía; 2004.
3. Hinojosa W. *Módulo de autoinstrucción: Gasometría arterial, Interpretación Clínica*. La Paz-Bolivia: UMSA; 2005.
4. Instituto Boliviano de Biología de Altura. *Parámetros Biológicos Normales*. IBBA-VIII Juegos Deportivos Bolivarianos; 1977.
5. Vera O. Valores Normales de Gases Sanguíneos arteriales y del equilibrio ácido base en la ciudad de la Paz Bolivia. *Cuadernos*. 1991; 37(1):18-27.
6. Rodríguez-Roisin R, SEPAR. Normativa sobre la gasometría arterial. *Arch Bronconeumol* 1998;34(3): 142-53.



7. Ramirez-Sandoval Juan C, Castilla-Peón MF, Gotés-Palazuelos J, Vázquez-García JC, Wagner MP, Merelo-Arias CA, y col. Bicarbonate values for healthy residents living in cities above 1500m of altitude: a theoretical model and systematic review. *High Alt Med Biol* 2016; 1-8.
8. Paulev PE, Zubieta-Calleja GR. Essentials in the diagnosis of acid-base disorders and their high altitude application. *journal of physiology and pharmacology* 2005; 56(4): 155.170.
9. Parati G, Agostoni P, Basnyat B, Bilo G, Brugger H, Coca A, et al. Clinical recommendations for high altitude exposure of individuals with pre-existing cardiovascular conditions: A joint statement by the European Society of Cardiology, the Council on Hypertension of the European Society of Cardiology, the European Society of Hypertension, the International Society of Mountain Medicine, the Italian Society of Hypertension and the Italian Society of Mountain Medicine. *European Heart Journal* 2018; 39: 1546-1554.
10. Imray C, Booth A, Wright A, Bradwell A. Acute altitude illnesses. *BMJ* 2011; 343:d4943.
11. Viruez-Soto JA. Unidad de Cuidados Críticos Adultos-Hospital del Norte. *Revista Científica Imaraña del Hospital del Norte* 2016:32.
12. Tinoco-Solórzano A, Román-Santamaría A, Charri-Victorio J. Gasometría arterial en diferentes niveles de altitud en residentes adultos sanos en el Perú. *Horiz Med* 2017; 17(3): 6-10.
13. The ARDS Definition Task Force. Acute Respiratory Distress Syndrome: The Berlin Definition. *JAMA*. 2012; 307(23): 2526-2533.
14. Jibaja M, Ortiz-Ruiz G, García F, Garay-Fernández M, Montelongo FJ, Martínez, Viruez JA y colaboradores. Hospital Mortality and Effect of Adjusting PaO<sub>2</sub>/FiO<sub>2</sub> According to Altitude Above the Sea Level in Acclimatized Patients Undergoing Invasive Mechanical Ventilation. A Multicenter Study, *Archivos de Bronconeumología* 2019, 1-25.
15. Moina-Veloz AP, Villavicencio-Barrezueta CP. Valores De Referencia De Gasometría Arterial En Población Adulta Entre 18 Y 40 Años De Edad, Residente A 2800 metros Sobre El Nivel Del Mar, En El Hospital Eugenio Espejo, En El Periodo De Julio A Octubre del 2016” [ monografía en la internet]. Quito: Universidad Central del Ecuador; 2016 [citado 26 de febrero de 2020]. Disponible en: <http://www.dspace.uce.edu.ec/handle/25000/11417>.