

Chapter 13 / Capítulo 13

*Electrolyte and Internal Environment Imbalances in
Emergencies (Spanish Edition)*

ISBN: 978-9915-9680-0-1

DOI: 10.62486/978-9915-9680-0-1.ch13

©2025 The authors. This is an open access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution (CC BY) 4.0 License.

Arterial Blood Gas Analysis in High-Altitude Residents

Gasometría arterial en residentes a gran altura

Antonio Viruez-Soto¹ 

¹Hospital del Norte. La Paz, Bolivia.

GASOMETRÍA ARTERIAL EN LA ALTITUD

Los valores de gasometría arterial considerados como “normales” para ciudades entre 3500-5800 metros sobre el nivel del mar (a Muy Alta Altitud), que deben ser considerados, se encuentran en la tabla 1.

Tabla 1. Valores de gasometría arterial a muy alta altitud.

Variable/Valor	Promedio	DE	Límite inferior	Límite superior	Mujeres	Varones
pH	7,431	0,04	7,39	7,47	7,429	7,434
PaO ₂	58,69	8,55	50,14	67,24	58,93	58,01
PaCO ₂	26,14	2,89	23,25	29,03	26,74	24,51
HCO ₃	20,14	1,95	18,19	22,09	20,34	18,59
SatO ₂ %	91,70	2,85	88,86	94,55	91,50	92,26
ctHb (g/dl)	16,25	1,98	14,27	18,23	16,35	15,99
p50c (mmHg)	28,68	3,28	25,40	31,95	29,33	26,88
ctO ₂ c (Vol %)	20,43	2,74	17,69	23,17	20,19	19,84
Lactato (mmol/L)	1,82	0,82	1,04	2,68	1,69	1,84
FO ₂ HB (%)	90,73	3,07	87,65	93,80	90,49	91,39
FCOHB (%)	0,63	0,70	0,08	1,33	0,50	0,96
FHHb (%)	7,05	3,64	3,42	10,69	7,48	5,88
FMetHB (%)	1,32	0,26	1,06	1,58	1,38	1,15
Sodio (mEq/L)	139	5,70	133,20	144,60	140	137
Potasio (mEq/L)	3,9	0,68	3,19	4,55	3,6	4,6
Cloro (mEq/L)	111	5,92	105,12	116,95	111	110
iCa (mmol/L)	0,98	0,22	0,76	1,21	1,02	0,88
Glucemia (mg/dL)	106,47	12,64	93,82	119,11	106,95	105,13
Anion gap (mmol/L)	11,6	2,16	9,44	13,76	11,6	11,5
Anion gap s/K (mmol/L)	7,7	2,17	5,56	9,90	8,0	6,9
mOsm (mmol/Kg)	283,7	11,52	272,20	295,23	285,4	279,1

SaO ₂ /FiO ₂	436,7	13,56	423,13	450,24	435,7	439,3
PaO ₂ /FiO ₂	279,5	40,71	236,79	320,21	283,2	278,9
cBase (mmol/L)	-5,1	1,82	-6,96	-3,32	--5,0	-6,5

DE: Desviación estándar, SataO₂ %: Saturación de oxígeno arterial, ctHb: Hemoglobina total calculada, p50c: Presión parcial de oxígeno necesaria para alcanzar una saturación de hemoglobina del 50 %, ctO₂c: Contenido arterial de oxígeno calculado, FO₂Hb: Fracción de oxihemoglobina, FCO₂Hb: Fracción de carboxihemoglobina, FHHb: Fracción de hemoglobina disfuncional (dishemoglobina), FMetHB: Fracción de metahemoglobina, iCa: Calcio iónico, Anión gap s/K: Hiato aniónico sin potasio, cBase: Exceso o déficit de base.

Los valores de presión parcial arterial de oxígeno y dióxido de carbono se encuentran por debajo de los reportados a nivel del mar, así como el bicarbonato sérico, el cual también se encuentra disminuido en compensación a la disminución del PaCO₂, ya que, para un equilibrio acido-base “toda compensación respiratoria, conlleva a una respuesta metabólica”. La gasometría arterial es una de las pruebas más aplicadas en Medicina Aguda, además de Emergenciología, Medicina Interna, Neumología, Cardiología y otras especialidades. La diferencia entre la SatpO₂ % de la gasometría y la oximetría de pulso no es mayor del 5 %, sin embargo, si esta última es mayor al 5 % considerar anemia grave, metahemoglobina, carboxihemoglobina o hemoglobina glucosilada elevada (HbA1c). El exceso de heparina se asocia a valores bajos de PCO₂ y bicarbonato. Si la muestra permanece en la jeringa, el consumo de oxígeno (por ejemplo, en pacientes con leucemia) y la producción de CO₂ continúan, sin embargo, la presencia de burbujas en la muestra se asocia a un incremento en la PaO₂ y disminución en la PaCO₂. Por todo lo anterior, lo ideal es contar con un gasómetro en la misma sala de Cuidados Críticos.

Gasometría venosa central en la altitud

Los valores respectivos de gasometría venosa central a Muy Alta Altitud, se encuentran en la tabla 2.

Tabla 2. Diferencias entre los valores de gasometría arterial y venosa central a muy alta altitud			
Variable	Muestra Arterial	Muestra Venosa Central	Diferencia de medias
Saturación de oxihemoglobina (%)	91,7	62,25 (61,5-63)	(-) 29,45
pH	7,431	7,44 (7,37-7,46)	(+) 0,009
pO ₂ (mmHg)	58,69	41,92 (39-48)	(-) 16,77
pCO ₂ (mmHg)	26,14	29,5 (25-32)	(+) 3,36
HCO ₃ (mmol/L)	20,14	21,17 (19-23)	(+) 1,03
Sodio (mEq/L)	139	138 (135-143)	(-) 1
Potasio (mEq/L)	3,9	4,1 (3,4-5)	(+) 0,2
Cloro (mEq/L)	111	113 (98-116)	(+) 2
Calcio iónico (mmol/L)	0,98	0,97 (0,7-1,14)	(-) 0,01

A nivel de la costa, se considera un valor normal de saturación venosa central de oxígeno (SvcO₂) entre 65-75 % (media 70 %), 5 % menor que la saturación venosa mixta de oxígeno (SvmO₂ o SvO₂), lo cual, evidentemente no se corresponde a Muy Alta Altitud, con un valor de SvcO₂ de 62,25 %, coligiendo entonces una SvmO₂ 67,25 %. Una baja SvcO₂ puede asociarse a un bajo gasto cardiaco (hipodinamia), anemia, hipoxia, hipermetabolismo (hipertiroidismo, fiebre, convulsiones). Para fines prácticos, además de ser útil para el cálculo de variables derivadas del metabolismo del oxígeno en nuestro organismo (extracción de oxígeno, depuración de lactato y otros), una gasometría venosa central también es útil para interpretar el equilibrio acido-base tomando en cuenta como principios fundamentales el pH, pCO₂ y HCO₃.

Gasometría venosa periférica en la altitud

Si bien la gasometría arterial es el estudio realizado con más frecuencia en la Unidad de Cuidados Intensivos (UCI o UTI) por ser esencial para el manejo del paciente en estado crítico, tiene dos objetivos, el primero es evaluar el estado ácido base mediante el pH (bicarbonato y pCO_2) y el segundo el estado respiratorio (mediante el pO_2 , pCO_2), sin embargo conlleva riesgo de lesión nerviosa, hemorragia arterial, hematoma, disección, fístula arterial, pseudoaneurisma, trombosis, siendo también más dolorosa, por lo que se sugiere considerar la gasometría venosa periférica (GVP), que conlleva menor riesgo de complicaciones y es menos dolorosa, podría orientar sobre estos valores, especialmente en Medicina Aguda (Emergencia, Anestesiología y Cuidados Críticos), lógicamente, excepto se requiera una gasometría de origen arterial para la evaluación del estado respiratorio o gasometría venosa central para la evaluación del Delta de PCO_2 ($DPCO_2$), extracción tisular de oxígeno (EO_2) y otros. Por lo que, la GVP puede servir para estimar el estado ácido base en relación a la gasometría arterial, destacando el pH (con coeficiente de correlación $r=0,92$ con un promedio de diferencia de 0,04), el bicarbonato sérico y el lactato. En la tabla 3 se indican los valores de gasometría venosa periférica a Muy Alta Altitud, de referencia.

Tabla 3. Valores de gasometría venosa periférica a muy alta altitud			
Variable/Gasometría	Arterial	Venosa Central	Venosa Periférica
pH	7,43	7,44	7,37
pO_2 (mmHg)	58,69	41,92	36,15
pCO_2 (mmHg)	26,14	29,5	35,78
HCO_3 (mmol/L)	20,14	21,17	20,11
SatO ₂ (%)	92	62,25	59
Sodio (mEq/L)	139	138	138
Potasio (mEq/L)	3,9	4,1	4,14
Cloro (mEq/L)	111	113	104
Calcio (mmol/L)	0,98	0,97	0,97
Dónde: pO_2 : Presión parcial de oxígeno; pCO_2 : Presión parcial de dióxido de carbono, HCO_3 : Bicarbonato sérico; SatpO ₂ : Saturación periférica de oxihemoglobina.			

Esta información resulta muy útil ya que permite conocer y orientar el manejo de pacientes residentes en la altitud, reconociendo que la gasometría venosa periférica en residentes permanentes adultos sanos muestra un nivel más bajo de pH relacionado al transporte de dióxido de carbono desde los tejidos como producto del metabolismo. Sin embargo, el bicarbonato sérico es similar a la muestra arterial. Como es de esperarse los valores de oxemia son muy bajos al tratarse de sangre venosa.

Gasometría arterial en embarazo normoevolutivo a muy alta altitud

En ciudades entre 3500 - 5800 metros sobre el nivel del mar, deben considerarse los valores normales del tabla 4.

Gasometría venosa periférica en embarazo normoevolutivo en la altitud

Los valores de gasometría venosa periférica en embarazo normo evolutivo a Muy Alta Altitud, en comparación a otros grupos, se encuentran presentes en el tabla 5.

Esta información resulta muy útil para la mujer embarazada en estado crítico, ya que permite conocer y orientar el manejo de pacientes residentes en la altitud, reconociendo que la gasometría venosa periférica en gestantes residentes permanentes sanas muestra un nivel

más alto de pH relacionado a estado de gestación (progesterona como estimulante respiratorio a nivel bulbar y útero gestante), encontrándose también cierta disminución compensatoria en el bicarbonato sérico. Como es de esperarse los valores de oxemia son muy bajos al tratarse de sangre venosa.

Tabla 4. Valores normales de gasometría arterial en embarazo normoevolutivo a muy alta altitud.

Variable/Valor	Total	DE	Límite inferior	Límite superior
pH	7,452	0,02	7,432	7,472
PaO ₂	65,22	7,22	58,0	72,40
PaCO ₂	24,35	2,51	21,8	26,9
HCO ₃	20,13	1,14	18,99	21,27
SatO ₂ %	90,41	2,56	87,85	92,97
ctHb (g/dl)	14,39	3,0	11,39	17,40
p50c (mmHg)	29,11	0,90	28,21	30,0
ctO ₂ c (Vol %)	18,01	3,7	14,31	21,71
Lactato (mmol/L)	1,32	0,4	0,92	1,72
FO ₂ HB (%)	89,23	2,46	86,77	91,69
FCOHB (%)	0,01	0,24	0,23	0,25
FHHb (%)	9,47	2,54	6,93	12,01
FMetHB (%)	1,28	0,27	1,01	1,55
Sodio (mEq/L)	139	4	135	143
Potasio (mEq/L)	3,84	0,43	3,41	4,27
Cloro (mEq/L)	112	3	109	115
iCa (mmol/L)	1,12	0,16	0,96	1,28
Glucemia (mg/dL)	90,13	14,47	75,66	104,6
Anion gap (mmol/L)	11,01	3,71	7,30	14,72
Anion gap s/K (mmol/L)	7,17	3,71	3,46	10,88
mOsm (mmol/Kg)	283,07	8,79	274,28	291,86
SaO ₂ /FiO ₂	430,51	12,18	418,33	442,69
PaO ₂ /FiO ₂	310,59	34,28	276,31	344,87
cBase (mmol/L)	-6,37	1,48	-7,85	-4,89

Dónde: DE: Desviación estándar, SataO₂ %: Saturación de oxígeno arterial, ctHb: Hemoglobina total calculada, p50c: Presión parcial de oxígeno necesaria para alcanzar una saturación de hemoglobina del 50 %, ctO₂c: Contenido arterial de oxígeno calculado, FO₂HB: Fracción de oxihemoglobina, FCOHB: Fracción de carboxihemoglobina, FHHb: Fracción de hemoglobina disfuncional (dishemoglobina), FMetHB: Fracción de metahemoglobina, iCa: Calcio iónico, Anión gap s/K: Hiato aniónico sin potasio, cBase: Exceso o déficit de base.

Tabla 5. Valores de gasometría venosa periférica en embarazo normoevolutivo a muy alta altitud

Variable/ Gasometría	Arterial (no gestante)	Venosa Central (no gestante)	Venosa Periférica (no gestante)	Arterial en Embarazo Normoevolutivo	Venosa Periférica en Embarazo Normoevolutivo
pH	7,43	7,44	7,37	7,45	7,41
pO ₂ (mmHg)	58,69	41,92	36,15	65,22	40,09
pCO ₂ (mmHg)	26,14	29,5	35,78	24,35	26,25
HCO ₃ (mmol/L)	20,14	21,17	20,11	20,13	18,24
Sat (%)	92	62	59	90	62

BIBLIOGRAFÍA

Viruez-Soto JA, Gutiérrez-Beltrán J, Prieto-Jemio JL, Auza-Santivañez JC, Briones-Garduño JC, Díaz de León-Ponce MA. *Manual de medicina aguda a muy alta altitud*. La Paz (Bolivia): Nexo Editores; 2024.