

Interpretación de los gases arteriales en Bogotá (2.640 msnm) basada en el nomograma de Siggaard-Andersen. Una propuesta para facilitar y unificar la lectura

Interpretation of arterial blood gases in Bogota (2640 meters above sea level) based on the Siggaard-Andersen nomogram
A proposal for simplifying and unifying reading

JAVIER IVÁN LASSO APRÁEZ, MD.

Resumen

La interpretación de las gasimetrías arteriales siempre debe hacerse a la luz de la historia clínica. Sin embargo, existen casos que plantean dudas durante la interpretación. Recientemente, Maldonado y colaboradores dieron a conocer los valores normales de gases arteriales en Bogotá (2.640 msnm).

Tras revisar el desarrollo y la interpretación del nomograma de Siggaard-Andersen en esta revisión, se propone el empleo del nomograma modificado para la altura de 2.000-2.999 msnm, como una ayuda gráfica sencilla para la unificación en la interpretación de las gasimetrías arteriales en la práctica clínica diaria.

Palabras clave: *gases arteriales, nomograma de Siggaard-Andersen, altura, estados ácido-base.*

Abstract

Interpretation of arterial blood gases should always be done in the light of the clinical history. However, there are cases that pose doubts during interpretation. Recently, Maldonado, Gonzalez et al. published the normal values of arterial blood gases in Bogota (2640 meters above sea level).

After reviewing the development and interpretation of the Siggaard-Andersen nomogram, we propose to use the nomogram as modified for altitudes from 2000 to 2999 meters above sea level, as a simple graphic aid for unifying and interpreting arterial blood gases in everyday clinical practice.

Keywords: *arterial blood gases, Siggaard-Andersen nomogram, altitude, acid-base states.*

Introducción

A medida que ascendemos sobre el nivel del mar la presión barométrica disminuye y en consecuencia también lo hacen la presión inspirada de oxígeno (PiO_2) y la presión arterial de oxígeno (PaO_2). La hipoxemia aumenta la ventilación minuto (VE) disminuyendo la presión arterial de dióxido de carbono ($PaCO_2$). Esta respuesta a la hipoxia aguda del ascenso tiene tres fases. Una inicial de hiperventilación aguda de aproximadamente diez minutos, durante la cual la $PaCO_2$ disminuye levemente; una segunda, cuyo mecanismo no es claro, en la cual la respuesta ventilatoria disminuye

Internista, Neumólogo. Unidad de Neumología. Hospital Universitario San Ignacio. Pontificia Universidad Javeriana.

Correspondencia: Correo electrónico: jilasso.husi@javeriana.edu.co

Recibido: 12-02-2014. Aceptado: 22-04-2014.

aproximadamente durante quince minutos haciendo que la PaCO₂ aumente nuevamente, y una tercera fase prolongada, conocida como *aclimatización*, en la cual la hiperventilación se mantiene llevando a un estado de hipocapnia crónica con lo cual se restaura la normoxemia.

La respuesta renal neta a la hipocapnia crónica es un aumento de la excreción de bicarbonato. Todos estos ajustes explican las diferencias en los valores normales de los gases arteriales según la altura respecto a los valores normales sobre el nivel del mar.

Estudios de valores normales en Bogotá

Bogotá está situada en la cordillera Oriental de los Andes a 2.640 metros sobre el nivel del mar (msnm) y es la tercera capital más alta de América del Sur después de La Paz, Bolivia (3.600 m) y Quito, Ecuador (2.800 m). En 1982, Restrepo y colaboradores (1), y en 1984, Acevedo y Solarte (2), publicaron los valores normales de gasimetría arterial para Bogotá, los cuales desde entonces se toman como referencia para la interpretación de las gasimetrías arteriales en diferentes escuelas.

En 1972, Caro y Pacheco (3) y en 1980 Osorio (4), también publicaron resultados de sus investigaciones, que muestran diferencias que pueden hacer

difícil la interpretación dependiendo de los valores que se acojan como referencia. Estas diferencias pueden atribuirse a la metodología empleada y a la variabilidad de las máquinas de análisis.

En 2013, Maldonado y González dieron a conocer los resultados del trabajo más reciente de valores normales de gasimetría arterial en Bogotá (tabla 1). Este incluyó 374 adultos sanos, 55% mujeres, entre 18 y 83 años de edad, residentes en Bogotá por más de diez años, nacidos por encima de los 2.000 msnm, no fumadores y con espirometría normal (5).

El valor promedio del pH fue 7,43±0,02 e igual para hombres y mujeres. La PaO₂ y la saturación arterial de oxígeno (SaO₂) disminuyeron y la diferencia alvéolo-arterial de oxígeno P(A-a)O₂ y la PaCO₂ aumentaron con la edad. En comparación con los hombres, la PaO₂ fue significativamente más baja en mujeres mayores de 50 años y la PaCO₂ fue significativamente más baja en mujeres menores de 40 años; los autores atribuyen este último aspecto a una ventilación alveolar (V_A) más alta relacionada con la actividad hormonal que disminuye con la edad en las mujeres.

En la tabla 2 se establece una comparación de los resultados de estos estudios.

Tabla 1. Valores normales en Bogotá (Maldonado, González y cols.)

pH	7,43 ± 0,02 [7,39 – 7,47]			Hombres
PaCO ₂	33,5 ± 2,6 [28,3 – 38,7]			
HCO ₃	21,9 ± 1,4 [19,1 – 24,7]			
PaO ₂	67,3 ± 4,3	66,2 ± 4,9	63,3 ± 4,7	
P(A-a)O ₂	8,7 ± 4,5	10,2 ± 4,7	12,2 ± 4,8	
SaO ₂	93,3 ± 1,3	92,9 ± 1,6	91,7 ± 2,0	
pH	7,43 ± 0,02 [7,39 – 7,47]			Mujeres
PaCO ₂	31,1 ± 2,4 [26,3 – 35,9]	34,6 ± 2,6 [29,4 – 39,8]		
HCO ₃	20,6 ± 1,3 [18,0 – 23,2]	22,6 ± 1,5 [19,6 – 25,6]		
PaO ₂	68,5 ± 4,7	64,6 ± 4,8	60,1 ± 5,5	
D(A-a)O ₂	9,9 ± 4,6	12,1 ± 4,5	15,2 ± 4,8	
SaO ₂	93,7 ± 1,5	92 ± 1,8	90,1 ± 2,9	
Edad, años	18 - 39	40 - 59	≥ 60	

Tabla 2. Comparación de resultados de estudios de gases arteriales en Bogotá.

	Caro, Pacheco 1972	Osorio, 1980	Restrepo, 1982	Acevedo, Solarte 1984	Maldonado, González 2013
PaCO ₂	36	29	30,5	29,5 28,61 – 30,38	33,5 31,1 – 34,6
pH	7,39	7,41	7,45	7,38 7,36 – 7,39	7,43 7,39 – 7,47
HCO ₃	21	18	21,5	16,9 16,28 – 17,52	21,9 20,6 – 22,6
PaO ₂	65	70	69,2	66,7	67,3 – 63,3 68,5 – 60,1
SaO ₂	91	93,5	93,8	92,9	93,3 – 91,7 93,7 – 90,1
P(A-a)O ₂	-	2,02	3,0	6,9	-
R	-	0,79	0,83	0,84	-

Nomograma de Siggaard-Andersen

En 1960, Siggaard-Andersen (6), ideó un nomograma para facilitar la interpretación de los trastornos ácido base sobre el nivel del mar. Este nomograma interseca los valores de pH, PaCO₂, bicarbonato (HCO₃⁻) y base exceso extracelular (BE_{ecf}), lo que en la actualidad se conoce como *diferencia de concentración de hidrogeniones titulables* (THID, del inglés *Titratable Hydrogen Ion concentration Difference*) término acuñado por el mismo Siggaard-Andersen (figura 1) (7). El cambio de denominación se hizo porque el término base exceso es ambiguo, no siempre es un exceso y no indica directamente que el componente químico relevante es el ión hidrógeno. Numéricamente el THID es la misma BE_{ecf} pero con signo opuesto. Un THID positivo indica acidosis metabólica y un THID negativo muestra alcalosis metabólica.

El concepto de base exceso, que en adelante se llamará THID, sirve para determinar si un trastorno ácido-base es primariamente respiratorio o tiene componente metabólico de acidosis o alcalosis. El rango normal para esta consideración es +5 a -5; un valor mayor a +5 significa acidosis metabólica y un valor menor a -5 indica alcalosis metabólica. Este cálculo se hace con la ecuación de Van-Slyke, que incluye entre sus variable el HCO₃⁻, valor que cambia con la altura.

El punto de intersección de estas cuatro variables puede caer en uno de ocho grupos de estados ácido-base:

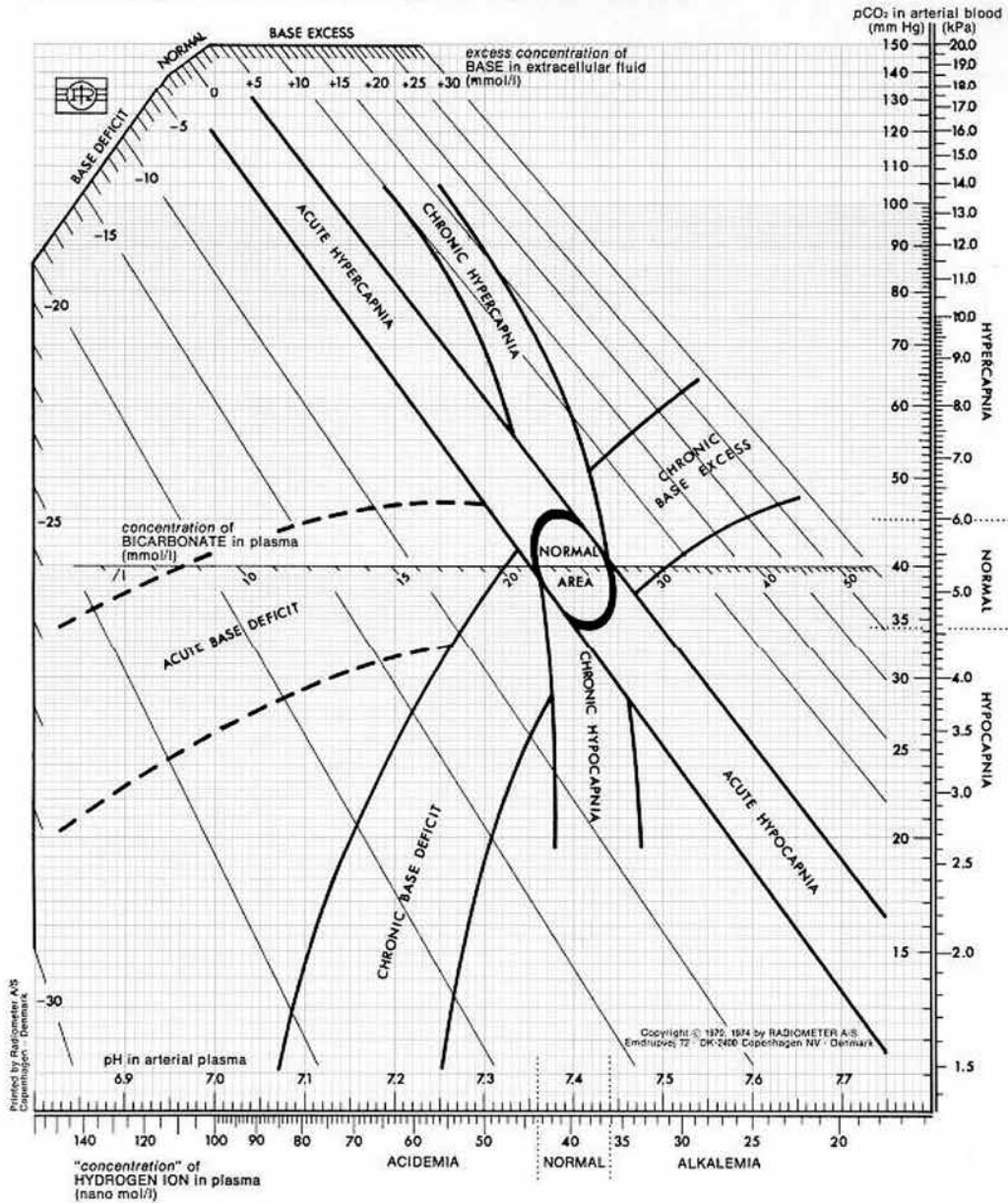
- 1- Normal.
- 2- Exceso agudo de hidrogeniones (acidosis metabólica aguda).
- 3- Exceso crónico de hidrogeniones (acidosis metabólica crónica).
- 4- Hipocapnia aguda (alcalosis respiratoria aguda).
- 5- Hipocapnia crónica (alcalosis respiratoria crónica).
- 6- Hipercapnia aguda (acidosis respiratoria aguda).
- 7- Hipercapnia crónica (acidosis respiratoria crónica).
- 8- Déficit crónico de hidrogeniones (alcalosis metabólica crónica).

El nomograma original de Siggaard-Andersen no es aplicable a los valores de gasimetría arterial diferentes a los determinados en el nivel del mar. Para la altura de Bogotá los valores normales caerían en el área de la hipocapnia crónica.

Modificaciones del nomograma según la altura

En 2005, Zubieta-Calleja del Instituto de Patología de la Alta Altitud de la Paz, en Bolivia, y en 2010, Paulev del Instituto Panum de Fisiología

SIGGAARD-ANDERSEN ACID-BASE CHART



Tomada de The blood gas handbook app (Radiometer Medical ApS).

Figura 1. Nomograma original de Siggaard-Andersen.

En el eje X se grafica el valor del pH y la concentración de hidrogeniones [H⁺] en nmol/L. En el eje Y se grafica la PaCO₂ en mm de Hg y en kPa. El eje X' grafica el valor del bicarbonato plasmático. En la esquina superior izquierda se grafica el valor de la base exceso o THID, a partir de la cual se fugan líneas paralelas a 45° que cortan con el eje X'. La intersección de estas cuatro variables determina los ocho grupos de estados ácido-base primarios.

Médica de la Universidad de Copenhagen, en Dinamarca, revisaron los aspectos esenciales para el diagnóstico de los desórdenes ácido-base en la altura y se preguntaron si más de 200 millones de personas sanas residentes en la altura, realmente sufren de un trastorno ácido-base crónico (8, 9).

Ellos se respondieron este interrogante haciendo una modificación al nomograma de Siggaard-Andersen para tres rangos de altura: 2.000 a 2.999, 3.000 a 3.999 y 4.000 a 5.000 msnm. El complejo procedimiento matemático empleado para tal modificación, el cual incluyó ecuaciones de regresión lineal

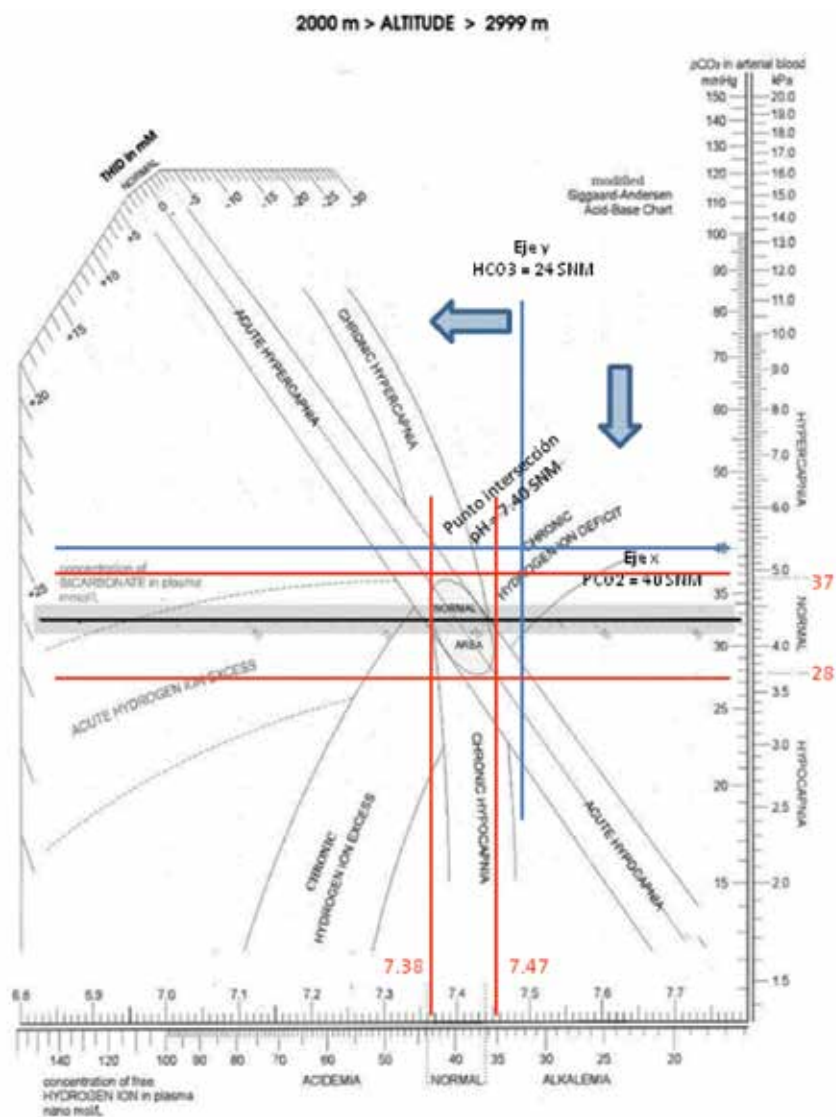


Figura 2. Nomograma de Siggaard-Andersen modificado para 2.000 a 2.999 msnm.

Sobre el nomograma de Siggaard-Andersen para 2.000–2.999 m, en color azul, el eje X representa el valor de PaCO_2 sobre el nivel del mar (40) y el eje Y el valor del HCO_3^- sobre el nivel del mar (24). El punto donde se cortan las dos líneas sería el valor del pH (7.40). Las flechas azules muestran el desplazamiento en bloque hacia abajo y hacia la izquierda de los ocho grupos de estados ácido-base para la altura, en este caso, de Bogotá. En color rojo se intersecan las líneas verticales (límites de pH) y las líneas horizontales (límites de PaCO_2), delimitando el área de normalidad.

y cambios de la ecuación de Van-Slyke, está fuera del enfoque principal de este artículo, pero puede ser consultado (8, 9).

El nomograma de nuestro interés, 2.000 a 2.999 msnm, muestra un desplazamiento hacia abajo y hacia la izquierda de las ocho áreas que representan los estados ácido-base primarios, de tal manera que

el área normal queda sobre el área de la hipocapnia crónica del nomograma original.

Al intersecar los valores normales de pH, PaCO_2 y HCO_3^- del trabajo de Maldonado y González, se observa que éstos caen confiablemente dentro del área *normal* del nomograma para 2.000–2.999 msnm (figura 2).

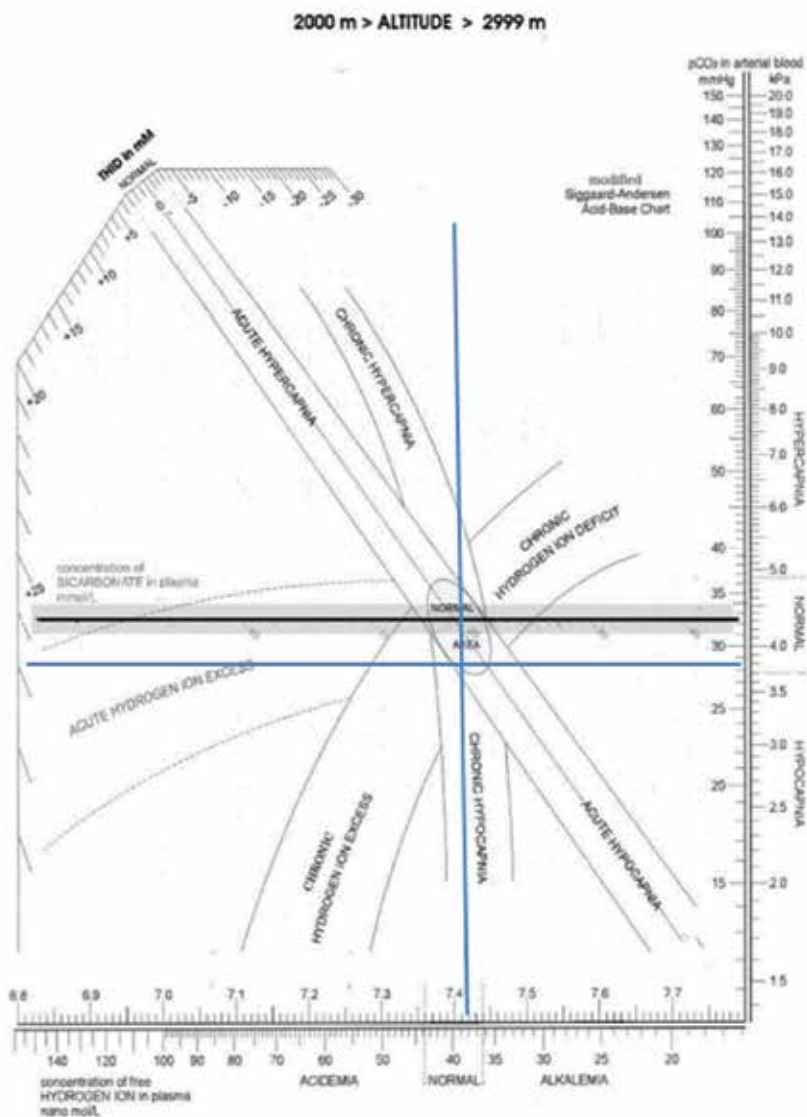


Figura 3. Equilibrio ácido-base. Hipoxemia.

La intersección de la vertical ($\text{pH } 7,42$) con la horizontal ($\text{PaCO}_2 \text{ } 28,9$) cae sobre el área normal del nomograma. No hay trastorno ácido base. Hipoxemia. Los valores de pH , PaCO_2 y HCO_3^- están dentro de los rangos normales para hombres mayores de 60 años según el estudio de Maldonado y González (tabla 1).

Propuesta

La interpretación de la gasimetría arterial en la práctica clínica diaria puede ser difícil y es factible que dos lecturas del mismo examen sean diferentes, variabilidad interobservador e intraobservador.

Dado que el nomograma de Siggaard-Andersen *modificado* para la altura por Zubieta-Calleja y Pauliev se ajusta a los valores normales para Bogotá, en

esta revisión se propone su uso como una ayuda para la interpretación de los trastornos ácido-base primarios más frecuentes encontrados en la práctica clínica diaria.

A continuación se presentarán algunos ejemplos de muestras de sangre arterial tomadas en la práctica clínica para poner a prueba el nomograma modificado.

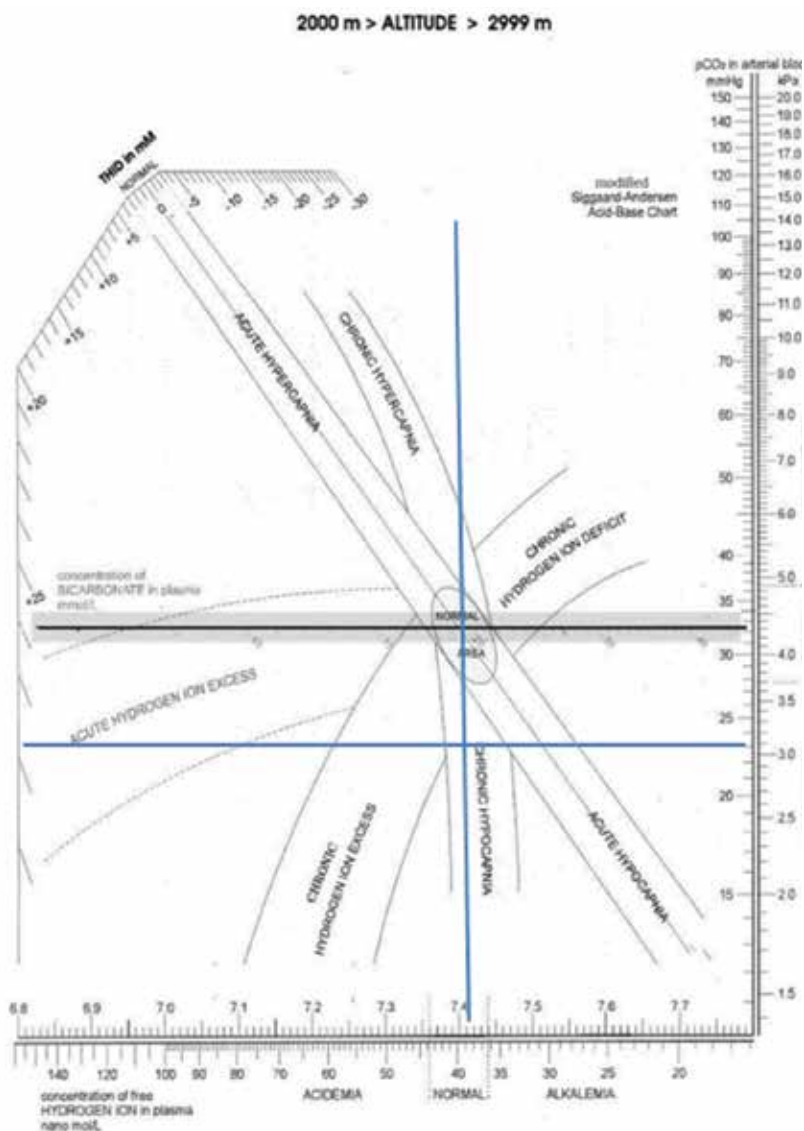


Figura 4. Alcalosis respiratoria (área de hipocapnia crónica). Hipoxemia.

La intersección de la vertical (pH 7,41) con la horizontal (PaCO_2 22,9) cae sobre el área de hipocapnia crónica del nomograma. Alcalosis respiratoria crónica. Hipoxemia. El valor de pH está en rango normal; el valor de la PaCO_2 está por debajo del límite inferior normal para mujeres mayores de 60 años y el valor de HCO_3^- está disminuido secundariamente como respuesta compensatoria renal (tabla 1).

Ejemplo 1

Hombre de 84 años. pH 7,42. PCO_2 28,9. PO_2 55. HCO_3 18,7.

Interpretación: equilibrio ácido base (área normal). Hipoxemia (figura 3).

Ejemplo 2

Mujer de 67 años. pH 7,41. PCO_2 22,9. PO_2 43. HCO_3 14,6.

Interpretación: alcalosis respiratoria (área de hipocapnia crónica). Hipoxemia (figura 4).

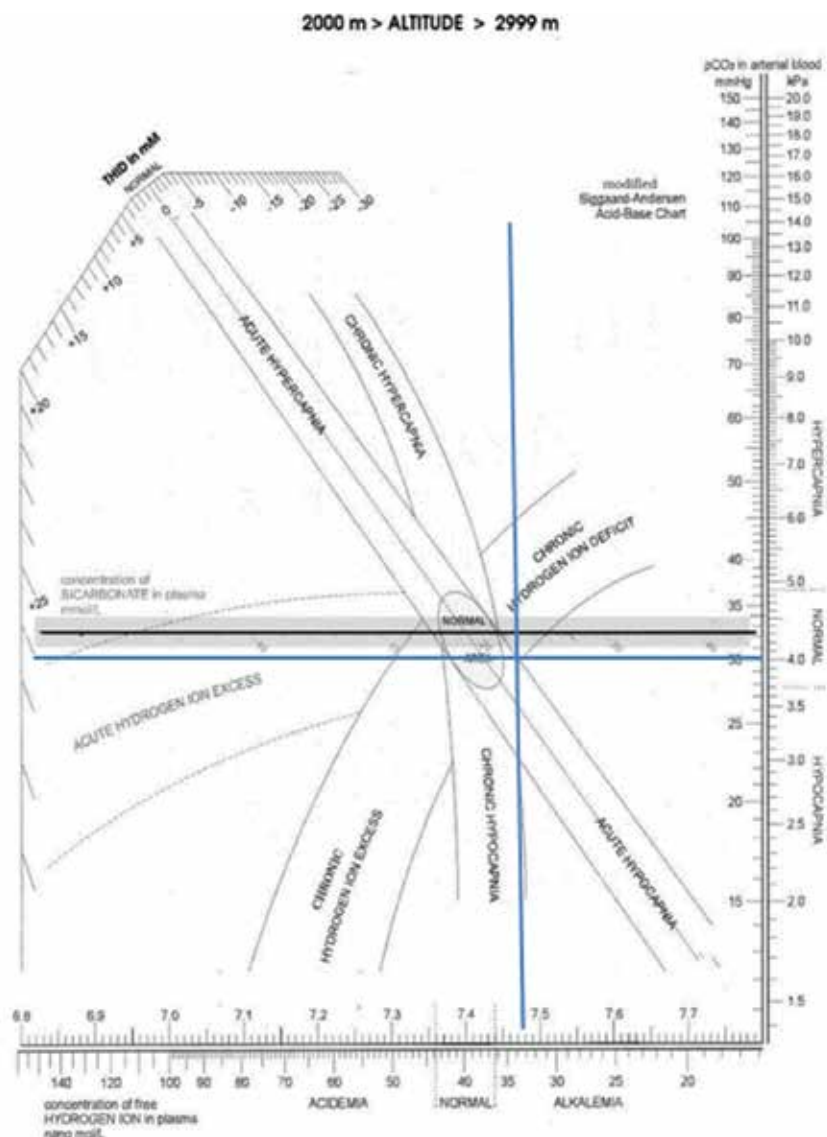


Figura 5. Alcalemia respiratoria (área de hipocapnia aguda). Hipoxemia.

La intersección de la vertical (pH 7,48) con la horizontal (PaCO_2 30,5) cae sobre el área de hipocapnia aguda del nomograma. Alcalemia respiratoria aguda. Hipoxemia. El pH está por encima del límite superior normal del intervalo; la PaCO_2 está en el límite inferior normal del intervalo para la edad y sexo y el HCO_3^- es normal. El estudio de Maldonado y González encontró que en mujeres mayores de 50 años la PaCO_2 esperada tiende a ser más alta que en mujeres jóvenes (tabla 1).

Ejemplo 3

Mujer de 82 años. pH 7,48. PCO_2 30,5. PO_2 53. HCO_3 23,1.

Interpretación: alcalemia respiratoria (área de hipocapnia aguda). Hipoxemia (figura 5).

Ejemplo 4

Hombre de 40 años. pH 7,51. PCO_2 17,7. PO_2 75. HCO_3 14,3.

Interpretación: alcalemia respiratoria crónica agudizada. Sin hipoxemia (figura 6).

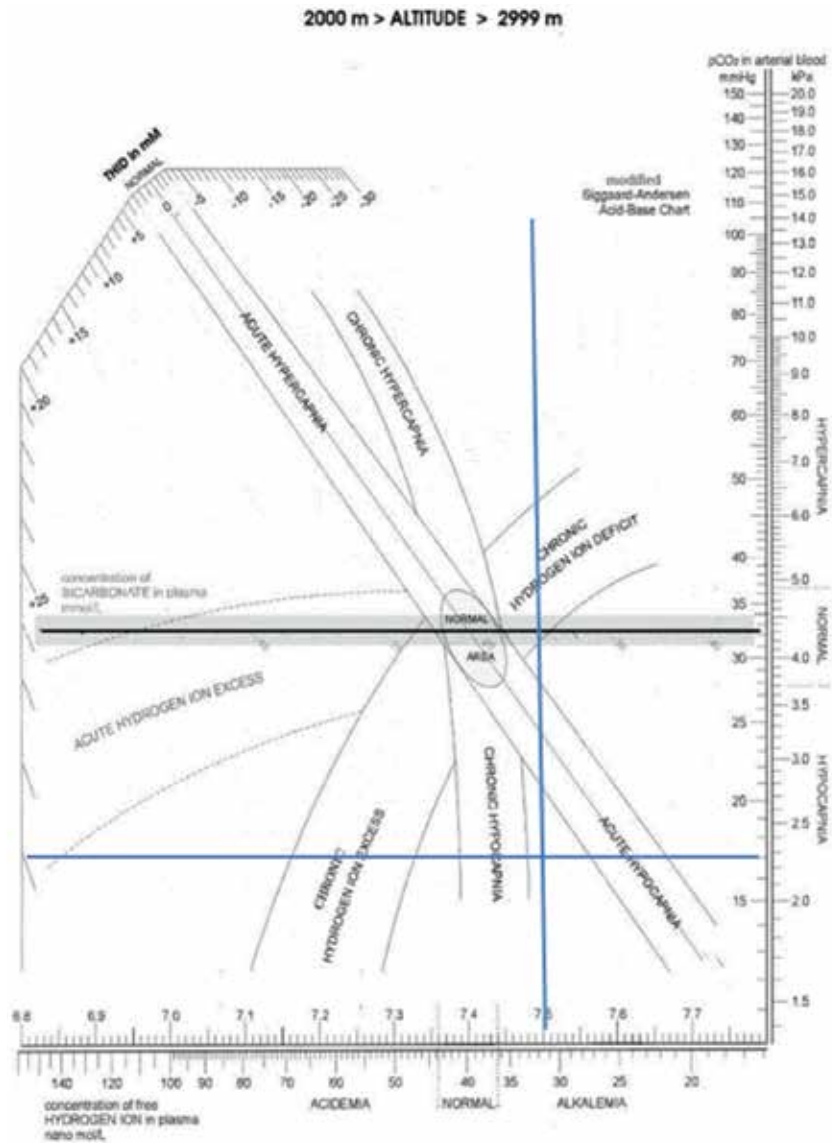


Figura 6. Alcalemia respiratoria. Sin hipoxemia.

La intersección de la vertical (pH 7,51) con la horizontal (PaCO_2 17,7) cae entre las áreas de la hipocapnia aguda y crónica. Más cercana al área de la cronicidad probablemente con un componente de agudización durante la toma de la muestra. La historia clínica también hace parte de la interpretación del examen.

Ejemplo 5

La figura 7 presenta tres muestras de sangre arterial de estados ácido-base respiratorios.

Ejemplo 5

La figura 8 presenta tres muestras de sangre arterial de estados ácido-base metabólicos.

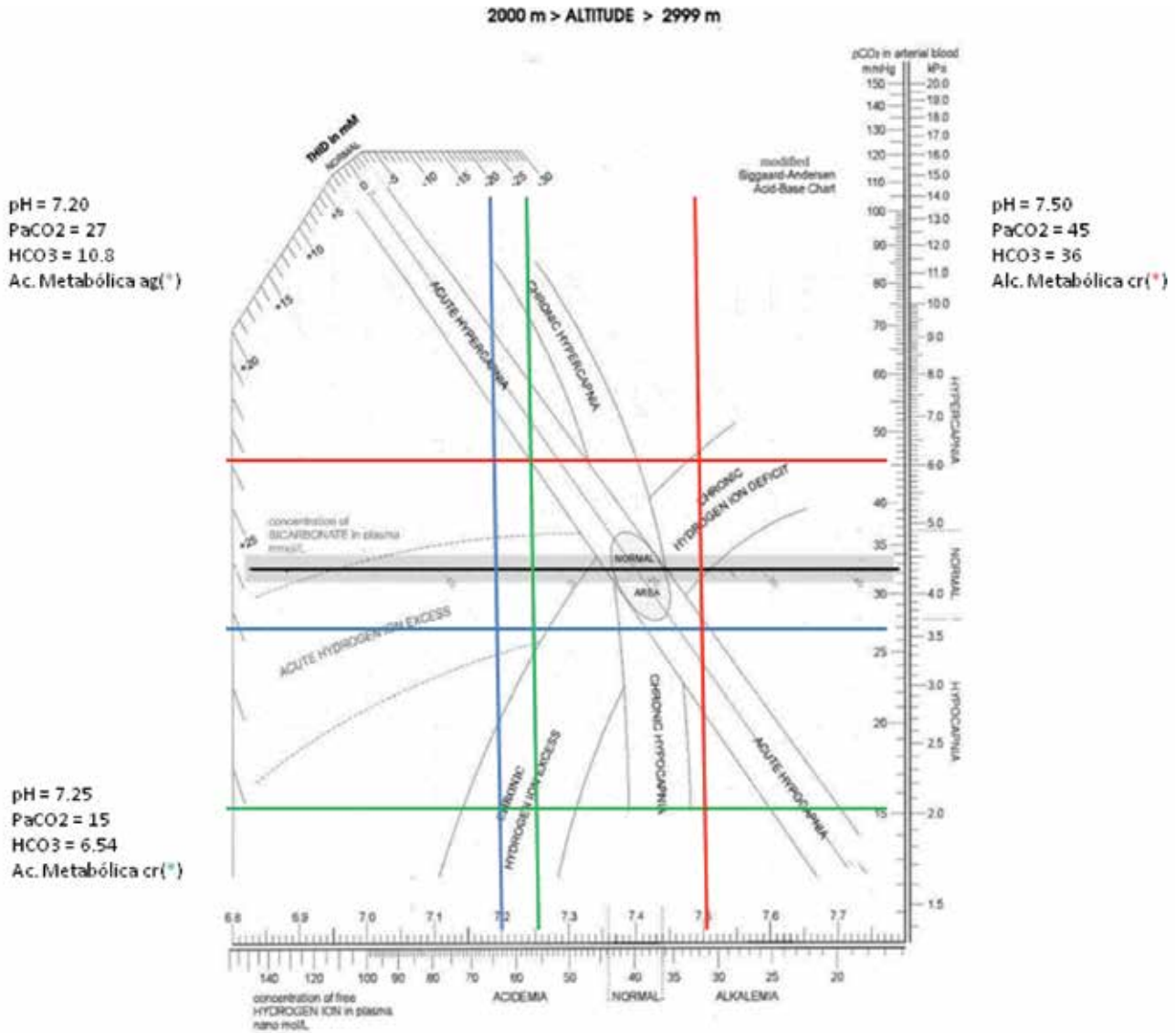


Figura 7. Ejemplos de trastornos ácido-base metabólicos.

En color azul, esquina superior izquierda. La intersección de las líneas azules cae sobre el área de exceso agudo de H⁺, lo cual corresponde a una acidemia metabólica aguda. En color verde, esquina inferior izquierda. La intersección de las líneas verdes cae sobre el área de exceso crónico de H⁺, lo cual corresponde a una acidemia metabólica crónica. En color rojo, esquina superior derecha. La intersección de las líneas rojas cae sobre el área de déficit crónico de hidrogeniones, lo cual corresponde a una alcalemia metabólica crónica.

Conclusiones

El nomograma de Siggaard-Andersen modificado para la altura de 2.000–2.999 msnm, rango en el cual está localizada Bogotá (2.640 msnm), es una ayuda gráfica sencilla para la unificación en

la interpretación de las gasimetrías arteriales de la práctica clínica diaria.

Los valores de referencia del último estudio de gases arteriales en Bogotá concuerdan con el nomograma modificado por el grupo del Instituto de

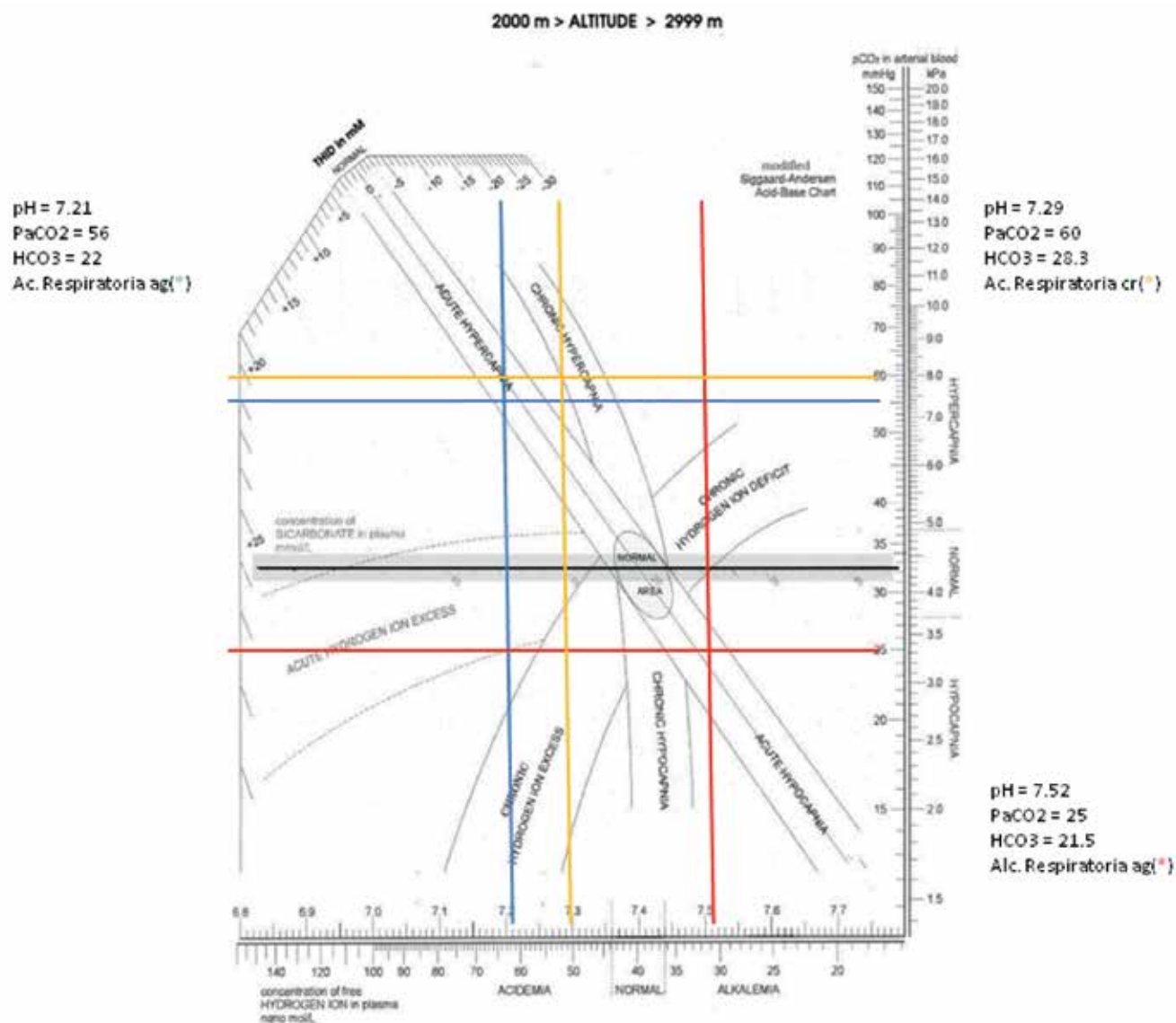


Figura 8. Ejemplos de trastornos ácido-base respiratorios.

En color azul, esquina superior izquierda. La intersección de las líneas azules cae sobre el área de hipercapnia aguda, lo cual corresponde a una acidemia respiratoria aguda. En color amarillo, esquina superior derecha. La intersección de las líneas amarillas cae sobre el área de hipercapnia crónica, lo cual corresponde a acidemia respiratoria crónica. En color rojo, esquina inferior derecha. La intersección de las líneas rojas cae sobre el área de hipocapnia aguda, lo cual corresponde a una alcalemia respiratoria aguda.

Patología de la Alta Altitud de la Paz (Bolivia) y del Instituto Panum de Fisiología Médica de la Universidad de Copenhagen (Dinamarca), razón por la cual nace esta propuesta y se pone en consideración.

La interpretación de las gasimetrías arteriales siempre debe hacerse a la luz de la historia clínica,

pero este método puede ser de gran ayuda en aquellos casos que plantean dudas durante la interpretación.

Bibliografía

1. Restrepo J, Reyes P, Vásquez P, Ardila M, Díaz-Granados B. Gasimetría arterial y alveolar en adultos sanos a nivel de Bogotá. Acta Médica Colombiana. 1982;6:461-466.

2. Acevedo LE, Solarte I. Gasimetría arterial en adultos jóvenes a nivel de Bogotá. *Acta Médica Colombiana*. 1984;1:7-14.
3. Caro J, Pacheco PM. Estudio de función respiratoria: Espirometría y gases arteriales en sujetos normales a 2.640 metros de altura, Bogotá: Temas Médicos, Tomo IV; 1972.
4. Osorio P. Gasimetría arterial normal en Bogotá. Trabajo presentado al VI Congreso Colombiano de Medicina Interna, 1980. Resúmenes VI Congreso, pág. 46 R (195).
5. Maldonado D, González-García M, Barrero M, Casas A, Torres-Duque CA. Reference values for arterial blood gases at an altitude of 2.640 meters. *Am J Respir Crit Care Med*. 2013;187:A4852.
6. Andersen OS, Engel K. A new acid-base nomogram. An improved method for the calculation of the relevant blood acid-base data. *Scand J Clin Lab Invest*. 1960;12:17-186.
7. Andersen OS. Acid-base balance. *Encyclopedia of Respiratory Medicine*. 2005;1-6.
8. Paulev PE, Zubieta-Calleja GR. Essentials in the diagnosis of acid-base disorders and their high altitude application. *J Physiol Pharmacol*. 2005;56:155-170.
9. Zubieta-Calleja GR, Zubieta-Calleja G, Zubieta-Calleja L, Ardaya-Zubieta G, Paulev PE. Do over 200 million healthy altitude residents really suffer from chronic acid-base disorders? *Ind J Clin Biochem*. 2011;26:6-65.