

Nomograma de Sigaard-Andersen modificado para 2240 metros de altura

DR. BONFIGLIO R. MUÑOZ BOJALIL *
DR. EDUARDO J. ORTIZ RODRÍGUEZ **
DR. DAVID RODRÍGUEZ REYNAGA ***
M.C. JORGE GARCÍA PEÑA ****
Q.F.B. BENITA G. VILLALPANDO *****
DR. GUILLERMO S. DÍAZ MEJÍA *****

LA altitud produce efectos diversos tanto en el medio ambiente como en los seres vivos ^{1,2}. Entre tales efectos se encuentra la reducción de la presión barométrica conforme se asciende, lo cual provoca disminución de las presiones parciales de los gases, sin que exista alteración en su concentración porcentual en los primeros diez kilómetros de altura sobre el nivel del mar ³.

Según la ecuación del aire alveolar ⁴:

$$\begin{aligned} & \text{Presión parcial} \\ & \text{de un gas} \\ & \\ & \text{(concentración} \\ & \text{porcentual)} \\ & \times \text{(presión barométrica)} \end{aligned} =$$

$pp_{\%} = \text{por ciento (PB)}$.

Como la concentración porcentual del oxígeno en el medio ambiente (FIO_2), es de 20.93 ⁴, la presión de este gas en el medio ambiente a nivel del mar es de:

$$ppO_2 = (.2093) (760) = 159.06 \text{ torr} \\ (1 \text{ mm.Hg.} = 1 \text{ torr})$$

En la ciudad de México, con 584 torr de presión barométrica:

$$ppO_2 = (.2093) (584) = 122.23 \text{ torr.}$$

A su paso por las vías aéreas, el aire atmosférico se calienta y humidifica, por lo que se mezcla con 47 torr de vapor de agua que se produce a 37-38°C ⁵. Por lo que, cuando se quiera obtener la presión parcial de cualquier gas a nivel traqueal,

* Jefe del Servicio de Fisiología, Hospital de Enfermedades del Tórax, Centro Médico Nacional, I.M.S.S.

** Neumólogo, Hospital de Enfermedades del Tórax, Centro Médico Nacional, I.M.S.S.

*** Fisiólogo, Hospital de Enfermedades del Tórax, Centro Médico Nacional, I.M.S.S.

**** Maestro en Ciencias, Biomatemáticas, Jefatura de Investigación, Centro Médico Nacional, I.M.S.S.

***** Del Hospital de Enfermedades del Tórax, Centro Médico Nacional, I.M.S.S.

***** Jefe del Departamento de Apoyo Técnico, Jefatura de Enseñanza e Investigación, I.M.S.S.

debe restarse la presión de vapor de agua a la presión barométrica ambiente.

$$\begin{aligned} \text{ppO}_2 (\text{tráquea}) &= (\text{PB} - \text{pH}_2\text{O}) \text{FIO}_2, \\ \text{ppO}_2\text{T} &= (584 - 47) (.2093) = 537 \\ &\times 0.2093 = 112.39 \text{ torr.} \end{aligned}$$

Por otra parte, en los alveolos, un sujeto sano elimina no más del 6 por ciento de CO_2 ⁵, por lo cual la PACO_2 a nivel del mar es de:

$$\text{PACO}_2 = (760 - 47) (0.06) = 42.78 \text{ torr}$$

En la ciudad de México:

$$\text{PACO}_2 = (584 - 47) (0.06) = 32.22 \text{ torr.}$$

Como está bien demostrado, por la gran difusibilidad del CO_2 a través de la membrana alveolo-capilar, así como por la secreción prácticamente nula de este gas a la luz de los alveolos, en sujetos sanos la PACO_2 es igual o no existen diferencias significativas con la presión parcial del CO_2 en sangre arterial (PaCO_2), mientras que el oxígeno, por su menor difusibilidad a través de la membrana alveolo-capilar así como por la existencia de cortos circuitos anatómicos^{4,5}, forma una diferencia de presión de aproximadamente 10 torr entre el alveolo (PAO_2) y la sangre arterial (PaO_2)⁴.

Por otra parte, el pH se mantiene igual a nivel del mar y a 2240 metros de altitud⁶.

Los valores normales a nivel del mar son⁷:

$$\begin{aligned} \text{PaO}_2 &= 100 \pm 10 \text{ torr} \\ \text{PaCO}_2 &= 40 \pm 4 \text{ torr} \\ \text{pH} &= 7.40 \pm 0.04 \text{ unidades.} \end{aligned}$$

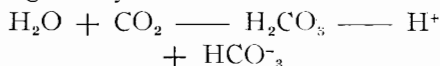
De esta manera, los sujetos que habitan a 2240 metros de altitud viven en hipoxemia e hipocapnia crónicas, en relación con los que viven a nivel del mar.

Con respecto al equilibrio ácido-base, la

fórmula de Henderson-Hasselbach establece que:

$$\text{pH} = \text{pK} + \text{Log.} \frac{\text{Sal}}{\text{Acido}}$$

El ácido implicado es el carbónico, y la sal el bicarbonato, ya que el ácido proviene de la hidratación del CO_2 y se disocia en hidrogenión y bicarbonato:



La pK mide, en última instancia, la disociación del ácido carbónico de manera logarítmica, y en el 95 por ciento varía entre 6.08 y 6.13⁸, por lo cual también se acepta como valor promedio el de 6.1.

La concentración de ácido carbónico expresada, así mismo, la concentración del CO_2 disuelto en plasma⁸.

$$\text{H}_2\text{CO}_3 = \text{PaCO}_2 \times 0.03.$$

Como la PaCO_2 promedio en la ciudad de México es de 31 torr:

$$\text{H}_2\text{CO}_3 = 31 \times 0.03 = 0.93 \text{ mEq./L.}$$

Por tanto, la fórmula de pH, a 7.41 queda:

$$7.41 = 6.1 + \text{Log.} \frac{\text{HCO}_3^-}{0.93}$$

$$7.41 - 6.1 = \text{Log.} \frac{\text{HCO}_3^-}{0.93}$$

$$1.31 = \text{Log.} \frac{\text{HCO}_3^-}{0.93}$$

Para conocer el valor de la relación, debe buscarse el antilogaritmo correspondiente:

$$\text{Antilogaritmo } 1.31 = \frac{\text{HCO}_3^-}{0.93} = 20.417$$

Despejando:

$$\text{HCO}_3^- = 20.417 \times 0.93 = 18.98 \text{ mEq./L.}$$

Al seguir este tipo de razonamiento, se buscó la concentración de bicarbonato variando el pH de 7.39 a 7.41 y la PaCO_2 de 29 a 33 torr, apreciándose variaciones de 16.96 a 20.21 mEq./L. con promedio de 18.5 mEq./L., lo cual corresponde al llamado "bicarbonato real" o "actual"¹⁰.

Cuando los datos encontrados a la altura de la ciudad de México se llevaron al nomograma lineal de Sigaard-Andersen, se observó que correspondían a un déficit de base¹¹ de 5, puesto que la PCO_2 es de 31 torr, el pH de 7.41 y los bicarbonatos de 19 mEq./L. El llamado "exceso o déficit de base" se define como "la cantidad de base (o ácido), que se requiere para restaurar el pH de la sangre completa in vitro, a 7.40, con PCO_2 de 40 torr, a 37°C de temperatura y con hemoglobina saturada al 100 por ciento⁹; a 2240 metros de altitud, la situación difiere básicamente en un punto: la PCO_2 es de 31 torr en lugar de 40 torr como acontece al nivel del mar, por lo que hay necesidad de conocer la base amortiguadora (BA) de los sujetos que viven a 2240 metros de altura.

La base amortiguadora" se da por definición y consiste en "la suma del bicarbonato (incluyendo carbamino- CO_2), y los aniones amortiguadores que no son CO_2 ". La cifra normal de BA para el nivel del mar es de 48 mEq./L., siempre y cuando se llenen los requisitos siguientes¹¹:

- Bicarbonato estándar de 24 mEq./L.
- pH de 7.40.
- Hemoglobina de 15 g. por ciento.
- Saturación de la hemoglobina superior a 90 por ciento.

e. Proteínas plasmáticas de 72 g./L.

La fórmula para encontrar la BA es⁹:

$$\text{BA} = 41.7 + 0.42 (\text{Hb.}) + \text{E.B.}$$

El factor 0.42 significa que por cada gramo de hemoglobina aumenta 0.42 mEq. la BA.

El factor 41.7 proviene de la suma del bicarbonato estándar, 24.2 mEq./L. y del poder amortiguador del plasma, 17.5 mEq./L.

Por tanto, cuando existen 15 g. de hemoglobina y no hay exceso o déficit de base, la BA es de 48 mEq./L.

Ahora bien, aceptando que el poder amortiguador del plasma equivale a 17.5 mEq./L., pero que el bicarbonato estándar es de 10 mEq./L., sin exceso o déficit de base y con 15 g. de hemoglobina, la BA a 2240 metros de altitud se plantea como proveniente de:

$$\text{BA} = 17.5 + 19 + 6.3 = 42.8 \text{ mEq./L.}$$

El factor 41.7 del nivel del mar se convierte en 36.5 para 2240 metros de altura sobre el nivel del mar.

Por otra parte, la capacidad amortiguadora del plasma verdadero es de 21.6 a nivel del mar¹², mientras que en la ciudad de México, es de 32.4, ya que el agregar CO_2 suficiente para provocar el cambio en una unidad de pH, se produjo un cambio de 32.4 mEq./L. de bicarbonato, en lugar de 21.6 que se obtiene a nivel del mar.

Para hacer tangible lo que sucede con el equilibrio ácido-base en la ciudad de México, se reconstruyó el nomograma lineal de Singer y Hasting⁹, tomando en cuenta que a 2240 metros de altitud:

- La BA normal es menor que a nivel del mar, y equivale a 42.8 mEq./L.

- b) El bicarbonato estándar es de 19 mEq./L.
- c) El pH es de 7.41.
- d) La PCO_2 es de 31 torr.
- e) La línea amortiguadora normal es de 32.4 mEq./L. de bicarbonato, por cada unidad de pH.
- f) Se expresará en gramos de hemoglobina y no en hematócrito como en el original.
- g) Se expresará como "exceso o déficit" de base y no como base amortiguadora como en el original.

El resultado de esta serie de correcciones lo damos a conocer en la figura 1.

Aceptamos que el nomograma propuesto por nosotros tiene las mismas limitaciones y las mismas variaciones del original, así como las mismas ventajas para la aplicación en los problemas ácido-base en la práctica clínica.

El objetivo de este trabajo es mostrar que a 2240 metros de altura sobre el nivel del mar, además de existir disminución de la PaO_2 y de la $PaCO_2$, la base amortiguadora y el bicarbonato estándar sufren modificaciones, que se pueden descubrir en las muestras de sangre arterial o capilar, lo cual plantea un reajuste en el nomograma lineal de Sigaard-Andersen.

MATERIAL Y MÉTODO

Se obtuvo sangre capilar de 30 individuos sanos de los aparatos cardiovascular y respiratorio (15 mujeres y 15 hombres), y de 104 enfermos (61 mujeres y 43 hombres), que se encontraban en una fase "aguda" o bien de "agudización" de un problema crónico; el total de enfermos se dividió en siete subgrupos:

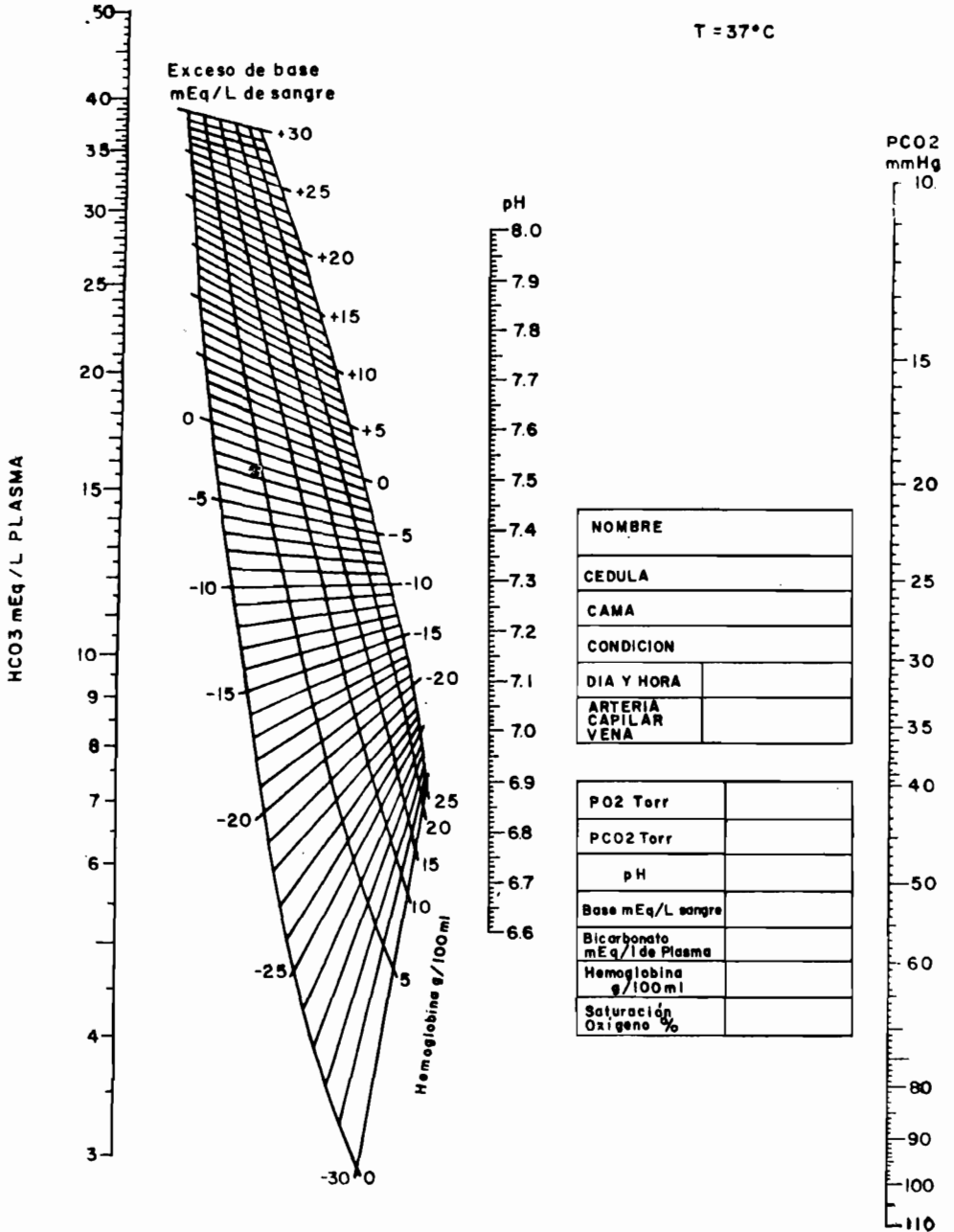
- a) con pH normal (7.41 ± 0.02) y $PaCO_2$ normal ($31 + 2$ torr);
- b) con pH normal y $PaCO_2$ menor de 28 torr;
- c) con pH normal y $PaCO_2$ mayor de 34 torr;
- d) con pH mayor de 7.44 y $PaCO_2$ menores de 28 torr (alcalosis espiratoria);
- e) con pH mayor de 7.44 y $PaCO_2$ cercana a los límites normales (alcalosis metabólica);
- f) con pH menor de 7.38 y $PaCO_2$ mayor de 34 torr (acidosis respiratoria); y
- g) con pH menor de 7.38 y $PaCO_2$ cercana a lo normal (acidosis metabólica).

A los 104 enfermos se les había suministrado tratamiento médico dirigido a resolver el problema clínico de fondo, destacando la administración de oxígeno con FIO_2 superior al 21 por ciento, ya fuera por Croupett, cánula nasal, tienda de oxígeno o respirador mecánico.

La sangre fue extraída de la yema de uno de los dedos de la mano, previo calentamiento y punción con lanceta; se colectó la muestra a partir de la segunda gota de sangre, y se utilizaron tubos heparinizados de 15 centímetros de largo por 0.2 mm. de diámetro interno. El análisis de la PO_2 , la PCO_2 y el pH se efectuó por medio de un micropotenciómetro de *Instrumentation Laboratories* (M.R.). Con la fórmula de Henderson-Hasselbach y la conversión de PCO_2 a volúmenes por ciento⁷, se calculó el bicarbonato, así como el CO_2 total. La hemoglobina se encontró multiplicando el hematócrito por 0.33 en los hombres y 0.34 en las mujeres¹³. Únicamente en siete pa-

NOMOGRAMA DE SIGGAARD-ANDERSEN MODIFICADO PARA 2240 Mts. de Altura.

T = 37°C



NOMBRE	
CEDULA	
CAMA	
CONDICION	
DIA Y HORA	
ARTERIA	
CAPILAR	
VENA	

PO2 Torr	
PCO2 Torr	
pH	
Base mEq/L sangre	
Bicarbonato mEq/l de Plasma	
Hemoglobina g/100 ml	
Saturación Oxígeno %	

FIGURA 1

cientes se utilizó sangre arterial, empleando la aguja de Courmand o bien la línea arterial de los pacientes en la sala de cuidados intensivos. El exceso o déficit de base se obtuvo tanto en el nomograma lineal original como en el modificado.

Los datos obtenidos se procesaron en una computadora, para encontrar promedios, varianzas y curvas de regresión.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Dos de las grandes limitaciones del método consisten en: a) pérdida del CO_2 al medio ambiente y b) pérdida de O_2 al medio ambiente, aunque la FIO_2 sea del 21 por ciento, pero, como se aplicó de manera semejante en todos los casos, consideramos que como grupos de resultados son válidos. Esta situación es obvia en los datos de los sanos, puesto que la PaO_2 debería ser mayor, ya que la PaCO_2 es más bien menor y el pH es ligeramente alcalino⁶.

En el cuadro I se muestran los resultados promedio de los datos analizados, así como las varianzas de cada uno de los grupos. Se puede observar que el único grupo con PaO_2 dentro de límites normales fue el de los sanos. La PaO_2 menor se encontró en el grupo con pH normal y PaCO_2 superior a 34 torr.

En los grupos de enfermos, a pesar de que la FIO_2 era superior al 21 por ciento, se encontró insuficiencia respiratoria de grado variable¹⁴, incluso en los pacientes con alcalosis respiratoria, a pesar de tener PaO_2 en promedio normal; la varianza fue lo suficientemente grande como para hablar de la dispersión de los datos; insistiendo, todos ellos recibían FIO_2 superior al 21 por ciento y tratamiento médico dirigido a resolver el problema de fondo, como se advierte en el grupo de pH y PaCO_2 normales; con datos de acidosis metabólica en el grupo de pH normal pero con PaCO_2 disminuido, y con datos de acidosis respira-

		Sanos	pH y PaCO_2 Normales	pH normal $\text{PaCO}_2 < 28$ torr	pH normal $\text{PaCO}_2 > 34$ torr	Alcalosis respiratoria	Alcalosis metabólica	Acidosis respiratoria	Acidosis metabólica
Edad (meses)	Promedio	35.73	14.75	12.38	17.04	22.92	20.18	17.10	19.06
	varianza	908.2	19.64	77.86	52.12	38.22	75.07	36.87	78.46
PaO_2 (torr)	Promedio	67.1	41.87	56.33	34.45	75.71	42.14	40.26	41.12
	varianza	7.26	249.55	3232.25	78.07	3838.52	97.36	434.87	91.31
pH	Promedio	7.457	7.398	7.412	7.410	7.557	7.539	7.248	7.262
	varianza	0.0014	0.003	0.00055	0.00077	0.0073	0.0044	0.0186	0.0143
CO_2T mEq./L.	Promedio	18.84	20.12	16.07	31.59	20.87	30.72	22.40	13.19
	varianza	5.48	2.019	3.87	27.13	20.83	41.73	35.48	12.79
PaCO_2 (torr)	Promedio	26.26	31.37	24.27	47.81	22.5	34.33	47.73	27.00
	varianza	6.67	3.91	6.94	85.71	13.5	25.21	100.64	14.73
HCO_3 mEq./L.	Promedio	18.10	19.18	15.34	30.23	20.35	29.84	20.97	12.24
	varianza	5.61	1.75	3.87	23.97	20.88	41.54	34.95	13.01
Hto (por ciento)	Promedio	46.23	42.25	40.55	47.72	38.5	45.77	43.68	45.68
	varianza	15.84	63.35	74.52	67.61	45.9	79.71	120.89	73.29
		30	8	9	11	14	27	19	16

CUADRO I

toría los del grupo de pH normal y PaCO_2 aumentada.

Se correlacionaron de manera global los distintos parámetros, para poder puntualizar lo que acontecía en el universo estudiado y para poder definir la influencia de cada uno de los datos sobre otro, se analizó lo que sucedió en cada uno de los grupos. Se observó lo siguiente:

- a) El bicarbonato y el CO_2 total tuvieron la mayor correlación en todos los grupos, situación que se puede explicar en base a la obtención de los datos, puesto que al variar el bicarbonato, lo hace también el CO_2 total.
- b) El bicarbonato y la PaCO_2 tuvieron correlación significativa y positiva en los grupos con pH normal, cuando la PaCO_2 era normal, menor o mayor, así como en la alcalosis metabólica.
- c) El pH y el bicarbonato, así como el pH y el CO_2 total se correlacionaron significativa y positivamente en los grupos de alcalosis y acidosis tanto respiratoria como metabólica.
- d) La PaCO_2 y el CO_2 total se correlacionaron en el grupo de sanos, el de alcalosis metabólica y los de pH normal y con PaCO_2 normal, alta y baja.
- e) La edad tuvo correlación positiva con la PaO_2 en el grupo de alcalosis respiratoria. En tanto que la correlación fue negativa con la PaCO_2 en el grupo de alcalosis respiratoria, así como también en el de alcalosis metabólica.
- f) El pH y la PaCO_2 tuvieron correlación negativa sólo en el grupo de pH normal con PaCO_2 alta.
- g) La PaCO_2 tuvo correlación positiva:

1. Con la PaCO_2 en el grupo de acidosis respiratoria.
2. Con el pH en el grupo de alcalosis respiratoria.
3. Con el bicarbonato en el grupo de sanos y el de pH normal y PaCO_2 alta.
4. Con el CO_2 total en el grupo de pH normal y PaCO_2 alta.

h) De manera por demás llamativa, el hematócrito tuvo correlación positiva con:

1. El pH en la acidosis metabólica.
2. El bicarbonato, en los grupos con insuficiencia respiratoria pero con pH y PaCO_2 normales y el de acidosis metabólica.
3. El CO_2 total en el grupo de acidosis metabólica y en el de pH y PaCO_2 normales.

i) El hematócrito tuvo correlación negativa con la PaO_2 en el grupo de alcalosis metabólica.

El tipo de correlación que se buscó fue lineal simple, y aceptamos que el método es limitado puesto que las correlaciones parciales y múltiples aclaran más acerca de la problemática y es posible que las correlaciones no sean lineales necesariamente, pero sólo se dispuso en esta ocasión de la recta de regresión simple y en ella se confiaron nuestros datos y la siguiente discusión de los resultados.

Si bien la PaO_2 tiene correlación con la edad, lo fue sólo en uno de los grupos exclusivamente, mientras que la PaCO_2 mostró correlación positiva con la edad en el grupo de alcalosis metabólica, pero la corre-

lación de la PaCO_2 con la edad fue negativa en el grupo de alcalosis respiratoria.

Situaciones semejantes ocurren en los parámetros analizados, o sea que se correlacionan con uno o más pero en situaciones diversas y sólo el bicarbonato está estrechamente correlacionado con el CO_2 total.

Consideramos que la falta de correlación de varios parámetros entre sí, se puede explicar porque las mediciones se efectuaron en un momento determinado, y reflejan únicamente los cambios que con velocidad variable se estaban efectuando en cada uno de los casos analizados. Más aún, si bien existe proporción entre el bicarbonato y el ácido carbónico, y la relación es de tipo logarítmico, para alterar el pH *in vivo* las modificaciones de algunos de ellos se efectúan a diferentes velocidades.

Por tanto, queremos dejar asentado que al observar los cambios en el equilibrio ácido-base del organismo humano, deben tomarse en cuenta varios factores, como son las condiciones del intercambio gaseoso, la producción de eritrocitos y el estado metabólico, sin limitarse a observar lo que acontece en el pH, la PCO_2 y el CO_2 total, ya que es usual obtener muestras de sangre venosa periférica para conocer estos datos, lo cual nos parece poco adecuado, puesto que se tratará, en el mejor de los casos, de observar lo que acontece en una zona específica como puede ser el retorno venoso del antebrazo; por tanto, de llegar a utilizar sangre venosa, ésta deberá ser mezclada, y obtenerse a nivel del tronco de la arteria pulmonar.

Ahora bien, en las salas de cuidados intensivos es necesario conocer el estado de la sangre que llega a las células o sangre arterial, y lo adecuado en la actualidad, es

obtener de manera simultánea muestras de sangre venosa mezclada al nivel del tronco de la arteria pulmonar, y sangre arterial bien por medio de punción o de una línea arterial¹³. Con este tipo de procedimientos es posible obtener datos muy valiosos y de muy amplia cobertura, pues se conocerá el estado del intercambio gaseoso, las condiciones hemodinámicas, y el estado del equilibrio ácido-base de manera más apropiada^{12,13,14}, con todo lo cual el tratamiento de los enfermos se realizará con mayor eficacia.

Cuando el cuadro clínico sea lo bastante claro como para orientar hacia el predominio de un problema metabólico o respiratorio, en esos momentos se puede intentar la toma de sangre venosa mezclada en el primer caso y de sangre arterial en el segundo, sin olvidar la variabilidad del cuadro clínico de la insuficiencia respiratoria¹⁴, así como la posible participación del pulmón en los problemas metabólicos y viceversa^{5,7}.

En el cuadro II se muestran los promedios obtenidos en la base amortiguadora

PROMEDIOS DE BASE AMORTIGUADORA

	Original	Modificado
Sanos	+ 1.85	— 2.15
pH y PCO_2 normales.	— 5.9	— 0.68
pH normal y PCO_2 menor 28 torr	— 7.6	— 3.6
pH normal y PCO_2 mayor 34 torr	+ 3.95	+ 8.63
Alcalosis respiratoria.	— 1	+ 4.3
Alcalosis metabólica .	+ 6.57	+ 11.97
Acidosis respiratoria.	— 6.6	— 3.4
Acidosis metabólica .	— 13.4	— 9.3

CUADRO II

en cada uno de los grupos, la BA se obtuvo tanto por medio del nomograma original como del modificado y se presentan sólo los promedios, con fines demostrativos, ya que el cuadro clínico resultó más congruente con la información aportada por el nomograma modificado que la obtenida con el nomograma original. Llama la atención que los grupos con alcalosis tienen aumento franco de la base amortiguadora, mientras que los pacientes con acidosis pueden tener un defecto mínimo en la base amortiguadora.

A pesar de que nos faltan todavía una serie de datos, de manera hipotética es de suponer que la disminución de la presión barométrica provoca dos situaciones diferentes en los organismos vivos:

- a) Por una parte, la disminución en la presión de CO_2 produce una modificación en la concentración de ácido carbónico y, por tanto, en la concentración de bicarbonatos; una vez logrado esto, la parte respiratoria del pH logra llevarlo a 7.41.
- b) Por otra parte, al disminuir la presión parcial de oxígeno se dispone de una menor cantidad del aceptor de hidrogeniones al final de la cadena respiratoria intracelular de la citocromo-oxidasa¹⁵, con lo cual es posible que aumente la NAD reducida y esta situación favorecería una mayor conversión de ácido pirúvico a ácido láctico. Dicho de otra manera, es posible que a 2240 metros de altura los metabolitos reducidos estén aumentados con lactacidemia, en comparación con lo que acontece a nivel del mar.

Así, en caso de que la base amortigua-

dora necesitara aumentar, esto se lograría por medio de la hemoglobina, lo cual implica que la poliglobulia de las alturas bien puede deberse a la necesidad de aumentar la base amortiguadora, más que a la necesidad de acarrear mayor cantidad de oxígeno a los tejidos, como se supone generalmente^{16,17}.

CONCLUSIONES

Las conclusiones inherentes a este trabajo, y que de ninguna manera pretenden ser generales o universales, son las siguientes:

1. Los residentes a 2240 metros de altura, comparados con los residentes al nivel del mar:
 - a) Se encuentran en hipobasemia y muy posiblemente con aumento en la concentración de metabolitos reducidos.
 - b) Tienen cantidad menor de base amortiguadora.
2. Es muy posible que la poliglobulia de las alturas se interprete como la necesidad de incrementar la hemoglobina por un factor metabólico, más que por un factor respiratorio.
3. Es necesario orientar el equilibrio ácido-base de otra manera, que bien puede ser la que se está planteando.

RESUMEN

Se aplicó la ecuación de Henderson-Hasselbach para encontrar el bicarbonato estándar a 2240 metros de altitud; la cifra fue de 19 mEq./L., menor de la encontrada a nivel del mar, que es de 24 mEq./L.; la base amortiguadora encontrada también fue

menor que la observada al nivel del mar que es de 48 mEq./L., mientras es de 42.8 mEq./L. para 2240 m. de altura. Por tanto, el bicarbonato estándar a 2240 metros de altitud debe obtenerse con PCO_2 de 32 torr, pH de 7.41, temperatura de 37°C y hemoglobina saturada al 100 por ciento, con lo cual no hay ni exceso ni déficit de base con 15 gramos de hemoglobina. Se compararon los parámetros de intercambio gaseoso y equilibrio ácido-base de 30 sujetos sanos y 104 enfermos en diversos estados metabólicos. Se concluye que, en comparación con los que habitan a nivel del mar,

los que viven a 2240 metros de altitud tienen hipobasemia y probablemente aumento en la cantidad de metabolitos reducidos, así como cantidad menor de base amortiguadora. Los autores suponen que es muy posible que la poliglobulia de las alturas sea una respuesta para aumentar la base amortiguadora como necesidad metabólica, más que para aumentar el transporte de oxígeno. Se propone una modificación al nomograma lineal de Sigaard-Andersen, para objetivar los cambios en el equilibrio ácido-base a 2240 metros de altitud.

BIBLIOGRAFIA

1. Kreuzer, F.; Tenney, S.M.; Mithoefer, J.C., y Remmers, J.: "Alveolar arterial oxygen gradient in andean natives at high altitude." *J. Appl. Physiol.*, 19:13, 1964.
2. Buskirk, E.: Capítulo 13. "Working fatigue in high altitude." En *physiology of work capacity and fatigue*. Ed. Ernst Simonson. Charles C. Thomas Pub. Springfield, Ill., U.S.A., 1971, pág. 312-313.
3. Luft, U.C.: "Aviation Physiology. The effects of altitude." En *Handbook of Physiology. Section 3, Vol. 2, Respiration*. Amer. Physiol. Soc., Washington, D.C., U.S.A., 1965, pág. 1099-1145.
4. Comroe, J.H.: "Physiology of respiration." *Year Book Medical Pub.*, Chicago, U.S.A., 1965.
5. Comroe, J.H.: "The lung." *Year Book Med. Pub.*, Chicago, U.S.A., 1962.
6. Muñoz-Bojalil, B.: "Estudios de ventilación pulmonar, de gases y pH en sangre arterial en sujetos sanos en la ciudad de México". *Neumol. Cir. Tórax, México*, 33:133, 1972.
7. Davenport, H.W.: "The ABC of acid-base chemistry." The University of Chicago Press. Chicago, U.S.A., 1975.
9. Singer, R.B., y Hastings, A.B.: "An improved clinical method for the estimation of disturbances of the acid-base balance of human blood medicine." 27:223, 1948.
10. Jorgensen, K., y Astrup, P.: "Standard bicarbonate, its clinical significance, and a new method for its determination." *Scand. J. Clin. Lab. Invest.*, 9:122, 1975.
11. Sigaard-Andersen, O.: "Blood acid-base alignment nomogram." *Scand. J. Clin. Lab. Invest.*, 15:21, 1963.
12. Astrup, P.; Jorgensen, K.; Sigaard-Andersen, O., y Engel, K.: "The acid-base metabolism. A new approach." *Lancet*, 1:1035, 1960.
13. Mithoefer, J.C.; Holford, F.D., y Keighley, J.F.H.: "The effect of oxygen administration on mixed venous oxygenation in chronic obstructive pulmonary disease." *Chest* 66:2, 1974.
14. Muñoz-Bojalil, M.; Ortiz, R.J.E., y Díaz, M. G.: "Clasificación de la insuficiencia respiratoria." *Neumol. Cir. Tórax, México*, 34:399, 1973.
15. Lehningre, A.L.: "Glycolysis." En: *Biochemistry. Capítulo 15*. Ed. Worth Pub. Inc., N.Y., U.S.A., 1972, pág. 313-336.
16. Weiskopf, R.B., y Severinghaus, J.W.: "Lack of effect of high altitude on hemoglobin oxygen affinity." *J. Appl. Physiol.*, 33:276, 1972.
17. Lenfant, C.; Torrance, J.D., y Reynafarje, C.: "Shift of the O_2 -Hb dissociation curve at altitude: mechanism and effect." *J. Appl. Physiol.*, 30:625, 1971.