

VALORES NORMALES DE GASES SANGUINEOS ARTERIALES Y DEL EQUILIBRIO ACIDO BASE EN LA CIUDAD DE LA PAZ-BOLIVIA

Dr. Oscar Vera Carrasco*

RESUMEN

En el presente trabajo se dan a conocer los resultados obtenidos en 104 sujetos nativos y residentes considerados como normales desde el punto de vista clínico, en la ciudad de La Paz Bolivia a 3.600 metros de altitud; fueron 78 del sexo masculino y 26 del femenino.

Se hacen algunas consideraciones acerca de la utilidad de la determinación de todos los parámetros respiratorios y metabólicos de los gases sanguíneos arteriales en el campo clínico.

La metodología seguida es la que habitualmente se desarrolla en cualquier laboratorio, excepto la utilización de un analizador de gases completamente automático, de la marca SHIMADSU, BGA 101, de industria Japonesa.

Se dan a conocer, en forma de tablas y gráficas, los valores que se obtuvieron para los siguientes parámetros: pH, PaCO₂, PaO₂, HC0₃, SBC, TC0₂, Be, SBE, BB, 02SAT, 02CT, AaD0₂ y Hb.

Se efectúa algunas consideraciones para explicar el por qué de los valores obtenidos en el presente estudio y los obtenidos por otros autores, en otras altitudes y en otras condiciones.

Finalmente, se señala la necesidad de la cuantificación laboratorial directa de los parámetros metabólicos del Equilibrio ácido-base, la elaboración de sus monogramas y de la curva de disociación de la hemoglobina para la altitud de la ciudad de La Paz.

INTRODUCCION.

El análisis de una muestra de sangre arterial, para valorar el pH, la PC0₂, la PO₂, el Bicarbonato, el porcentaje de saturación de Hemoglobina y los demás parámetros para determinar el estado ácido-base y el intercambio gaseoso, constituye una prueba de laboratorio muy importante, a la que se conoce con la expresión abreviada de "Gases Sanguíneos Arteriales" (GSA).

Puesto que los GSA se pueden obtener sin problemas ni dificultades y proporcionan una información rápida y exacta acerca de la función de los sistemas respiratorio y renal, es la prueba de laboratorio más útil en el estudio de los pacientes con trastornos respiratorios y metabólicos (1). Por otra parte, ya que

los hallazgos del examen físico no predicen con seguridad la magnitud de las anteriores alteraciones, la comprensión exacta de la información proporcionada por un análisis completo de la gasometría arterial puede ser inapreciable en el diagnóstico, evaluación y manejo de muchos trastornos clínicos (1, 2).

Conociendo de antemano la fisiología de la respiración en la altitud, hemos considerado conveniente medir los valores normales de GSA en la ciudad de La Paz, para que sirvan de referencia a fin de conocer el grado de alteración de la función respiratoria y/o metabólica, cuando éstas se encuentren alteradas.

En nuestro medio hay poca información al respecto, con las circunstancias de referirse solamente a algunos de los parámetros aquí considerados, o bien se siguieron técnicas diferentes de las adaptadas en la Unidad de Terapia Intensiva, (UTI) del Instituto Nacional de Tórax (INT).

El propósito de la presente comunicación, es dar a conocer los resultados de los valores normales de los GASES SANGUINEOS ARTERIALES y todos los parámetros del EQUILIBRIO ACIDO-BASE en nativos y residentes de la ciudad de La Paz-Bolivia, a 3.600 metros sobre el nivel del mar.

MATERIAL Y METODOS.

En la U.T.I. del I.N.T., se realizaron 104 estudios de gasometría arterial y del equilibrio ácido-base en sujetos nativos y residentes de la ciudad de La Paz (situada a 3.600 m. S.N.M.).

Por interrogatorio directo, no se encontraron antecedentes de patología orgánica reciente, pasada o crónica.

El total de personas estudiadas fue dividida en 2 grupos, el primero (G-1) constituido por 15 nativos del nivel del mar (Japoneses) y residentes en la ciudad de La Paz por un periodo de tiempo superior a 60 días; promedio de edad 26, a 67 años. El segundo grupo (G-2) estuvo integrado por 89 nativos y residentes de la altura a 3.600 m. S.N.M., con una edad promedio de 28,1 años.

Los parámetros somatométricos restantes aparecen en las Tablas I y II.

Para obtener las muestras de sangre arterial se punccionó las arterias humeral y radial (con menor frecuencia la arteria femoral) con la técnica convencional, utilizando una jeringa de cristal previamente heparinizada y preparada de la manera habitual.

* Jefe de la Unidad de Terapia Intensiva del Instituto Nacional de Tórax. Profesor de la Cátedra de Farmacología. U.M.S.A.

Las muestras de sangre colectadas en condiciones anaeróbicas fueron procesadas inmediatamente en un ANALIZADOR DE GASES completamente automático, de la marca SHIMADSU, BGA 101, de industria Japonesa, diseñado con un sistema con una microcomputadora incorporada, destinada a la medición y cálculo de los siguientes parámetros: 1) PRESION BAROMETRICA, 2) HEMOGLOBINA, 3) pH, 4) PRESION PARCIAL DE CO₂ (PCO₂), 5) PRESION PARCIAL DE O₂ (PO₂), 6) BICARBONATO REAL (HCO₃⁻), 7) BICARBONATO STANDARD (SBC), 8) CONTENIDO TOTAL DE CO₂ (TCO₂), 9) EXCESO O DEFICIT DE BASES (BE), 10) EXCESO O DEFICIT DE BASES ESTANDARD (SBE), 11) BASES BUFFER (BB), 12) SATURACION DE O₂ (O₂ SAT), 13) CONTENIDO TOTAL DE O₂ (O₂ CT) Y 14) GRADIENTE ALVEOLO-ARTERIAL DE O₂ (Aa DO₂).

RESULTADOS.

En un afán de obviar lo que puede ser una interminable lista de datos, se presentarán los promedios, desviación standard, coeficiente de variación, valores máximo, los rangos y el error standard de cada una de las variables estudiadas.

Así en las Tablas I y II, se presentan los resultados de los datos generales y los obtenidos del análisis de la gasometría arterial tanto del grupo de nativos del nivel del mar y residentes en la ciudad de La Paz (G-1), como de los nativos y residentes de la altura a 3.600 m.S.N.M. (G-2). Ante la no existencia de diferencias significativas entre estos dos grupos en casi todas las variables, se procedió al cálculo de estos mismos datos en el total de los sujetos estudiados, los mismos que se muestran en la Tabla III.

Como se puede observar en la Gráfica 1, los porcentajes de las personas estudiadas con relación al sexo, prácticamente es similar en los grupos G-1 y G-2, predominando el masculino sobre el femenino, con una relación de 3 a 1, 75% y 25% respectivamente.

En la Gráfica 2, la comparación de la edad promedio del G-1 y G-2, muestra una edad ligeramente mayor en el segundo, con una media del Total de 27,92 años.

En la Gráfica 3, referente a la comparación del peso promedio, se puede apreciar una casi igualdad entre el G-1 y G-2, siendo la media del total 60 Kg.

La comparación de la talla promedio que se puede observar en la Gráfica 4, muestra una estatura superior muy leve en el G-1 y una media del total de 1.65 m.

La presión barométrica promedio durante el transcurso de este trabajo fue de 511 mmHg., Gráfica 5.

En la Gráfica 6, se aprecia una concentración de hemoglobina mayor en el G-2, con una media en el total de los estudiados de 15,4 g/dl. Este valor es similar a otro obtenido por otros investigadores (3).

El pH promedio obtenido en los 2 grupos de este estudio ha sido el mismo, dando un valor de 7.36, Gráficas 7., cifra que corresponde al límite inferior normal de éste parámetro a nivel del mar.

En la Gráfica 8, se presenta los resultados promedio obtenidos respecto a los datos de intercambio gaseoso (Pa CO₂, PaO₂ y Aa DO₂), observándose cifras casi similares en ambos grupos tanto en la PaO₂ como en la PaCO₂, con valores de 55,9 y 28,8 mmHg, respectivamente. En lo referente a la AaDO₂ se puede apreciar una diferencia significativa entre el G-1 y G-2, con un mayor gradiente en el primero, no obstante, el valor promedio encontrado en el total de sujetos estudiados, se encuentra dentro los márgenes considerados normales; estos últimos calculados en forma indirecta utilizando los anteriores parámetros y la fórmula para la determinación de la PAO₂.

Las concentraciones de bicarbonatos (HCO₃⁻, SBC) y dióxido de carbono total (TCO₂), que muestra la Gráfica 9, con valores promedio de: HCO₃ 16,5 mMol/L, SBC 18,6 mMol/L y TCO₂ 17,3 mMol/L, están en relación a las características fisiológicas ventilatorias y renales de los habitantes normales de la ciudad de La Paz.

Los demás componentes metabólicos del Equilibrio ácido-base estudiados en el presente trabajo, Gráfico 10 y 11, representados por las Bases buffer (BB) y el Exceso o déficit de bases, tanto standard como real (SBE y BE), con valores inferiores a los observados a nivel del mar, constituyen también el resultado de la disminución de las bases buffer bicarbonato, a pesar de la concentración mayor de hemoglobina y probablemente de fosfatos que poseen los habitantes de nuestro medio como parte de los mecanismos de adaptación a la altura.

En la Gráfica 12 y 13, se puede apreciar la saturación de O₂ y el contenido total de O₂, con cifras promedio de 86,2% y 18,5 vol % respectivamente, en el total de personas estudiadas. Estos valores, bastante disminuidos en relación a los que se observa en los habitantes normales del nivel del mar (4), están igualmente íntimamente relacionados a la homeostasis gases-sangre y al Equilibrio ácido-base de los residentes en la altura.

COMENTARIO.

El método que se siguió para determinar los GSA se apartan de los considerandos clásicos y que nosotros mismos seguíamos hasta hace algunos años atrás; lo hemos hecho así, gracias a los últimos adelantos tecnológicos y al contar en la UTI del INT, con el equipo adecuado para este fin, circunstancia ésta que nos ha permitido obtener datos tan importantes que nos hacen comprender mejor los efectos de la altitud sobre muchos aspectos de la función cardiopulmonar y de la homeostasis del medio interno.

Los resultados obtenidos en este nuestro trabajo, y cuyos valores promedio de todos los parámetros estudiados en el total de los sujetos se agrupan en la Tabla IV, muestra muy claramente la diferencia con las cifras encontradas en otros laboratorios de la ciudad de La Paz, principalmente en lo que corresponde a la PaO₂ y O₂ SAT, a las mismas que se asigna 60 mmHg y 90% respectivamente, como valores normales. Al respecto es necesario aportar algunas matizaciones a estos datos con el fin de reflexionar so-

bre cómo se realiza el intercambio gaseoso en la altitud.

En la actualidad se conoce con bastante precisión cómo disminuye la presión atmosférica con la altitud. Ello viene recogido en las tablas de la atmósfera tipificada de la ICAO, que se utilizan en aviación y de las que se han servido en estudios de fisiología de la altitud (5). Sin embargo, las mediciones sobre el terreno han mostrado valores de presión atmosférica superiores a los que ofrecen las tablas, especialmente en montañas próximas al Ecuador como el Himalaya y Los Andes (6, & 7).

A la ciudad de La Paz (3.600m.) le corresponde una presión atmosférica promedio de 511 mmHg. Esta presión puede variar según las condiciones atmosféricas, sin embargo estas variaciones se producen en menor magnitud que al nivel del mar. Ahora bien, puesto que el O₂ supone 21% de los gases atmosféricos y esta proporción no disminuye con la altitud, la presión parcial de O₂ en La Paz (ciudad) es de 0,21 x 511 = 107 mmHg. Si tenemos en cuenta que la PaCO₂ obtenida por nosotros es de 28,8 mmHg., la presión parcial alveolar de O₂ (PAO₂) de acuerdo a la ecuación ya conocida para el cálculo de este parámetro nos dará 61 mmHg. Por lo tanto, debiendo existir un gradiente alveolo arterial (Aa DO₂) para la difusión de este gas y conociendo ya este parámetro a través de exámenes directos e indirectos, como el obtenido en este trabajo, el valor de la PaO₂ encontrado por nosotros es coincidente con estos valores teóricos.

Más espinoso es el asunto de la saturación de la hemoglobina en sangre arterial (O₂SAT). Es clásico afirmar que ésta cae con la altitud, por corresponder a una zona muy pendiente de la curva de disociación de la hemoglobina. No obstante, tal disminución es también dependiente del contenido intraeritrocitario de 2,3 difosfolicerato aumentado en la altura y del pH.

Con referencia a los parámetros metabólicos o "no respiratorios" del Equilibrio ácido-base (BB, Be, SBE, TCO₂), éstos no fueron cuantificados anteriormente en nuestro medio, y obviamente no utilizados, pese a tratarse de valores significativos cuando se juzga la situación diagnóstica o la acción correctora practicada sobre un paciente.

Las bases buffer (BB), sustancias amortiguadoras o tampones, que tienen la capacidad de captar el H⁺ agregado sin modificar apreciablemente la concentración de ese ión, constituyen una medida del excedente de ácido o de base en la sangre (8). El valor obtenido en el presente trabajo (40,9 mMol/L.), y que corresponde a la suma de todas las bases conjugadas en un litro de sangre total, es decir del bicarbonato, la hemoglobina, los fosfatos y las proteínas, está acorde a las cifras encontradas con respecto a cada uno de estos sistemas buffer en forma aislada,

tanto por nosotros como por otros autores a 3.600 m.S.N.M.

El exceso o déficit de base real (BE) y standard (SBE), que tienen relación con los cambios que experimenta la base buffer en sus valores normales, y se obtiene restando la cifra de base buffer normal de la base buffer real o del paciente (9), consideramos que el valor normal de SBE, tomando en cuenta los valores de HCO₃ y SBC obtenidos en este trabajo, debía corresponder a: 0+2,1. Sin embargo, las cifras que muestran las tablas y la gráfica correspondiente a este parámetro son francamente negativas (BE-7,1 y SBE -7,5), esto se explica por que los mismos fueron calculados tomando como referencia algunos parámetros normales del nivel del mar; estos mismos valores pueden ser obtenidos a través de monogramas elaborados y utilizados a ese mismo nivel de altitud.

En relación al Dióxido de carbono total (TCO₂), que representa la suma de las concentraciones de CO₂ disuelto, H₂CO₃, bicarbonato y CO₂ carbamínico del plasma (10), incluye los valores de los parámetros respiratorios y metabólico, constituyendo un valor importante para la estimación conveniente de la extensión de ambos componentes del Equilibrio ácido-base.

Las anteriores consideraciones son necesarias para explicar por qué se obtuvieron cifras que podrían calificarse completamente diferentes en prácticamente todos los parámetros, entre los de la altitud de nuestra ciudad y los del nivel del mar, ya que es muy frecuente que estos últimos ante el desconocimiento de los primeros, tengan que ser utilizados como referencia para la evaluación, diagnóstica y tratamiento de los estados ácido-básicos.

En última instancia, lo importante es conocer las cifras obtenidas en sujetos normales con determinados métodos, cualesquiera que fueren ellos. Solamente es preciso insistir en que los resultados de este estudio, pueden ser considerados válidos y de referencia para personas adaptadas a la altitud de la ciudad de La Paz.

Por último, se considera que el presente trabajo servirá de base para la elaboración de otros en un futuro inmediato, particularmente en lo que corresponde a la cuantificación directa de los componentes metabólicos del Equilibrio ácido-base, la construcción de sus monogramas y de la curva de disociación de la hemoglobina.

AGRADECIMIENTO

El autor desea expresar su agradecimiento al Dr. Alberto Andrade A., ex-Médico residente de Medicina interna del Hospital Obrero de La Paz, y a la Srta. enfermera Claudia Mamani C., por la valiosa colaboración en la obtención de las muestras sanguíneas.

CUADRO 1
RESULTADOS DEL GRUPO I

	Media	Des-St	C.V.	Min.	Max.	Rango	Des-Err
Edad	26.67	2.44	9.15	24.00	33.00	9	0.68
Peso	59.33	6.98	11.77	42.00	70.00	28	1.93
Talla	1.69	0.06	3.37	1.56	1.78	0.22	0.02
Bar	510.53	0.50	0.10	510.00	511.00	1	0.14
H.B.	14.42	0.94	6.53	12.70	16.70	4	0.26
pH	7.356	0.031	0.428	7.293	7.400	0.107	0.009
PCO2	31.13	2.19	7.04	27.80	35.60	7.8	0.61
PO2	56.10	3.49	6.23	49.50	63.40	13.9	0.97
HCO3-	17.64	1.54	8.75	14.30	20.50	6.2	0.43
SBC	19.13	1.45	7.58	15.70	21.10	5.4	0.40
TCO2	18.60	1.59	8.55	15.20	21.60	6.4	0.44
BE	-6.33	1.86	-29.48	-10.70	-3.70	7	0.52
SBE	-6.59	1.83	-27.74	-10.80	-3.80	7	0.51
BB	41.23	2.12	5.13	37.20	44.20	7	0.59
02SAT	87.24	2.35	2.69	82.90	90.10	7.2	0.65
02CT	17.57	0.95	5.43	15.70	19.60	3.9	0.26
AaDO2	4.77	2.84	59.59	-1.70	8.80	10.5	0.79

Número de observaciones: 15 personas Mujeres: 27% Varones: 73%

CUADRO 2
RESULTADOS DEL GRUPO 2

	Media	Des-St	C.V.%	Min.	Max.	Rango	Des-Err
Edad	28.1	9.36	33.28	16.00	62.00	46.00	1.00
Peso	61.0	10.00	16.41	40.00	84.00	44.00	1.07
Tabla	1.64	0.08	5.02	1.47	1.84	0.37	0.01
BAR	511.0	2.46	0.48	508.00	516.00	8.00	0.26
H.B.	15.6	1.39	8.91	9.90	18.70	8.80	0.15
pH	7.360	0.027	0.360	7.280	7.435	0.15	0.003
PCO2	28.4	3.60	12.68	20.10	36.80	16.70	0.39
P02	55.9	8.61	15.40	33.50	90.80	57.30	0.92
HC03	16.3	2.33	14.35	10.30	22.00	11.70	0.25
SBC	18.5	1.81	9.83	11.90	22.50	10.60	0.19
TCO2	17.1	2.43	14.22	11.10	23.20	12.10	0.26
BE	-7.2	2.36	-32.74	-15.90	-2.10	13.80	0.25
SBE	-7.6	3.00	-39.40	-15.90	8.90	24.80	0.32
BB	40.8	2.55	6.24	32.00	45.90	13.90	0.27
02SAT	86.0	6.84	7.95	55.30	96.50	41.20	0.73
02CT	18.7	1.98	10.60	7.70	22.00	14.30	0.21
AaD02	8.2	7.87	95.75	-23.90	36.20	60.10	0.84

Número de observaciones: 89 personas Mujeres: 25% Varones: 75%

CUADRO 3

RESULTADOS DEL TOTAL

	Media	Des-St	C.V.%	Min.	Max.	Rango	Des-Err
Edad	27.9	8.73	31.25	16.00	62.00	46	0.86
Peso	60.7	9.64	15.88	40.00	84.00	44	0.95
Talla	1.65	0.08	4.93	1.47	1.84	0.37	0.01
BAR	511.0	2.29	0.45	508.00	516.00	8	0.23
H.B.	15.4	1.40	9.06	9.90	18.70	8.8	0.14
pH	7.360	0.027	0.371	7.280	7.435	0.155	0.003
PCO2	28.8	3.56	12.39	20.10	36.80	16.7	0.35
PO2	55.9	8.07	14.43	33.50	90.80	57.3	0.80
HC03	16.5	2.29	13.91	10.30	22.00	11.7	1.67
SBC	18.6	1.78	9.60	11.90	22.50	10.6	0.18
TC02	17.3	2.39	13.78	11.10	23.20	12.1	0.24
BE	-7.1	2.32	-32.71	-15.90	-2.10	13.8	0.23
SBE	-7.5	2.88	-38.60	-15.90	8.90	24.8	0.29
BB	40.9	2.49	6.10	32.00	45.90	13.9	0.25
O2SAT	86.2	6.41	7.43	55.30	96.50	41.2	0.63
O2CT	18.5	1.91	10.30	7.70	22.00	14.3	0.19
AaD02	7.7	7.46	96.59	-23.90	36.20	60.1	0.74

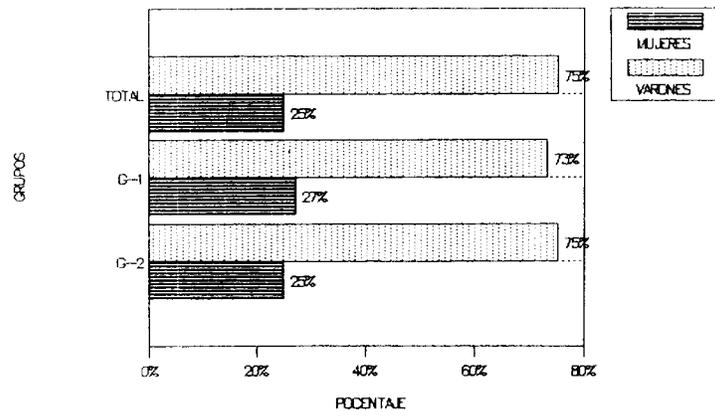
Número de observaciones: 104 personas Mujeres: 25% Varones 75%

CUADRO 4

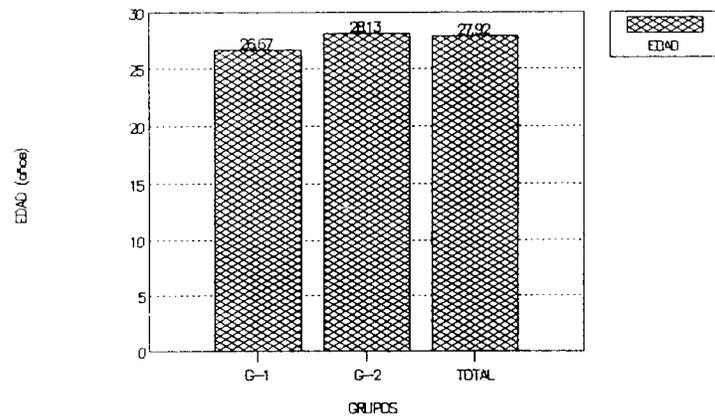
TOTAL

	Media	Des-St
BAR	511.0 mmHg	2.29
H.B	15.4 g/dl	1.40
pH	7.360	0.027
PCO2	28.8 mmHg	3.56
PO2_	55.9 mmHg	8.07
HC03	16.5 mmol/l	2.29
SBC	18.6 mmol.l	1.78
TC02	17.3 mmol.l	2.39
BE	-7.1 mmol/l	2.32
ISBE	-7.5 mmol/l	2.88
BB	40.9 mmol/l	2.49
O2SAT	86.2 %	6.41
O2CT	18.5 Vol%	1.91
AaD02	7.7 mmHg	7.46

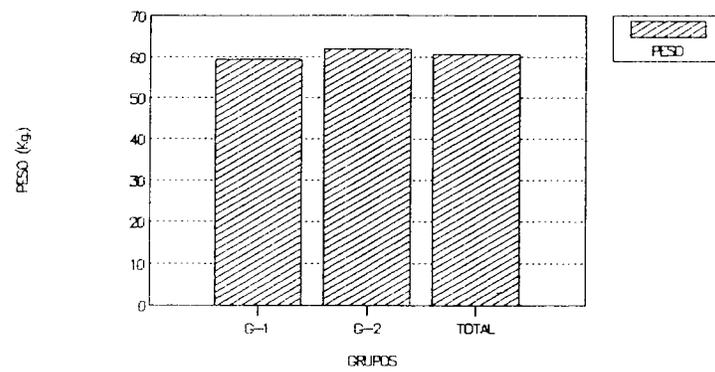
GRAFICA 1
PORCENTAJE DE HOMBRES Y MUJERES



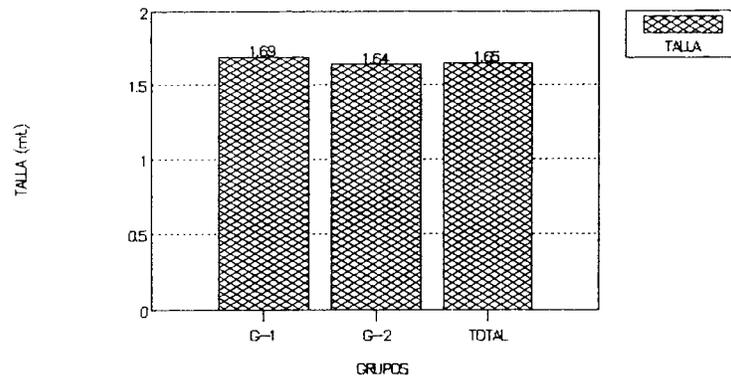
GRAFICA 2
COMPARACION DE LA EDAD PROMEDIO



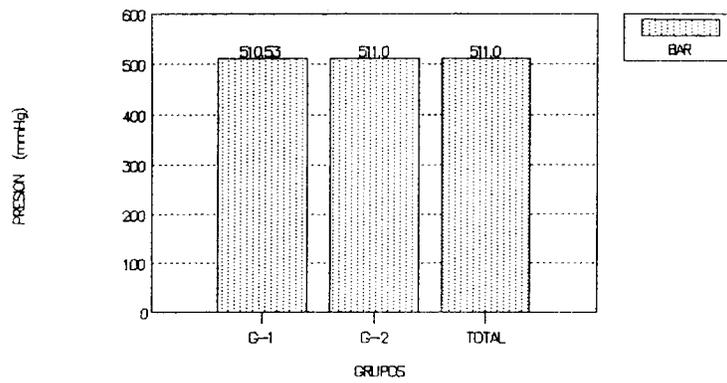
GRAFICA 3
COMPARACION DEL PESO PROMEDIO (Kg.)



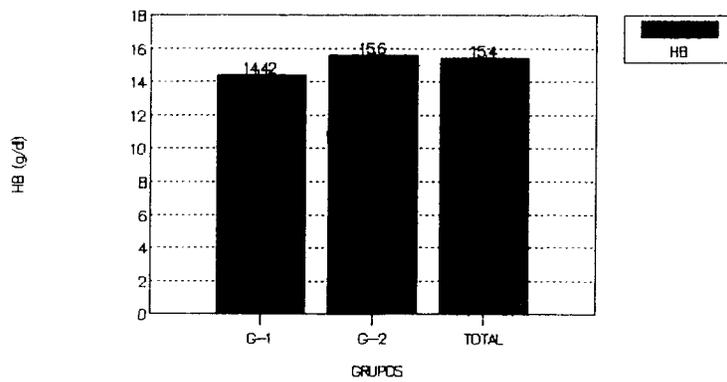
GRAFICA 4
 COMPARACION DE LA TALLA PROMEDIO
 (mt.)



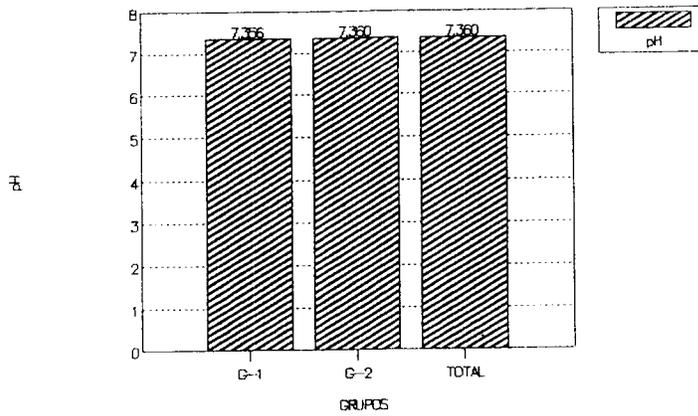
GRAFICA 5
 COMPARACION DE LA PRESION BAROMETRICA
 (mmHg)



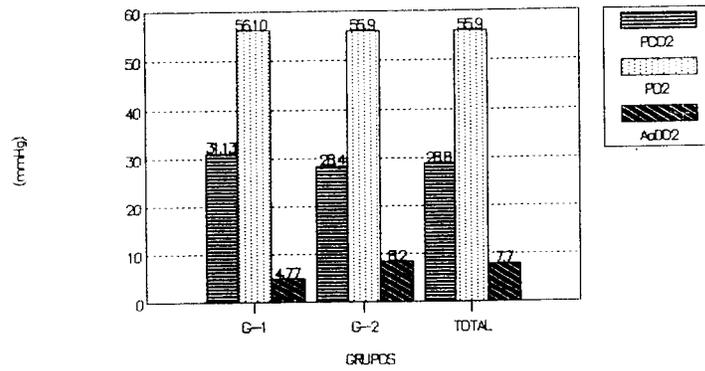
GRAFICA 6
 COMPARACION DE HB
 (g/dl)



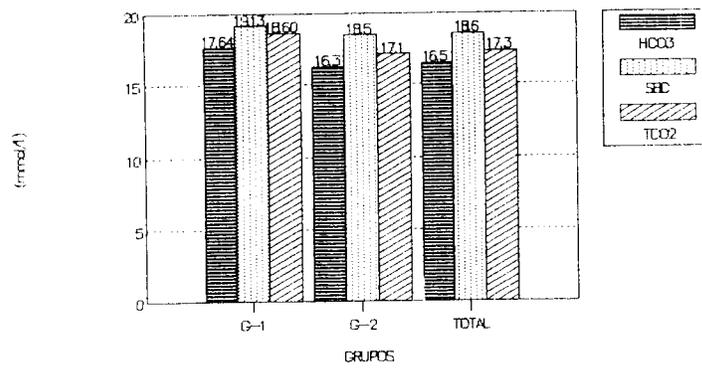
GRAFICA 7
COMPARACION DEL pH



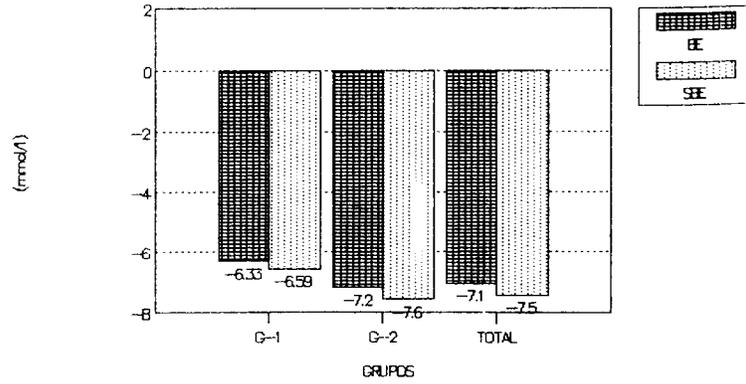
GRAFICA 8
COMPARACION DE PCO2, PO2 Y AaDO2
(mmHg)



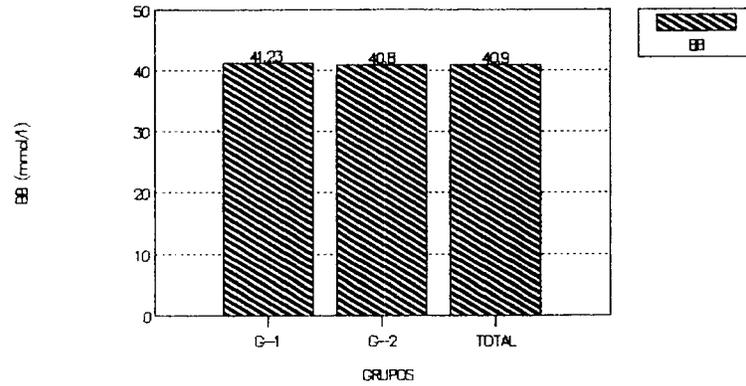
GRAFICA 9
COMPARACION DE HCO3, SBC Y TC02
(mmol/l)



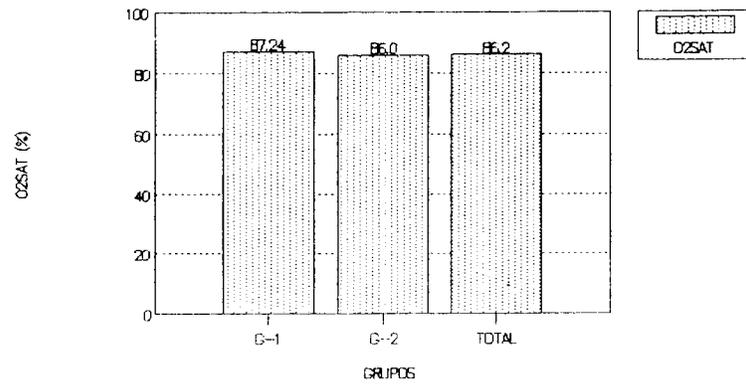
GRAFICA 10
 COMPARACION DE BE Y SBE
 (mmol/l)



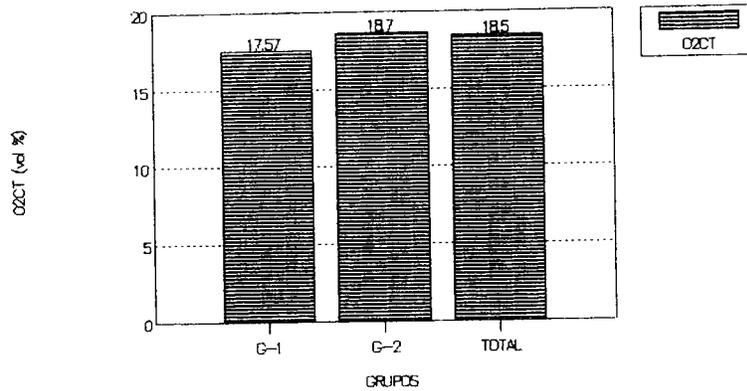
GRAFICA 11
 COMPARACION DE CANTIDAD DE BB
 (mmol/l)



GRAFICA 12
 COMPARACION DE CANTIDAD DE O2SAT
 (%)



GRAFICA 13
**COMPARACION DE CANTIDAD DE O₂CT
 VOL (%)**



REFERENCIAS.

1. Irwin R., Pratter MR. Análisis del pH y gases sanguíneos arteriales. En: Rippe MJ., Csete ME., eds. Manual de cuidados intensivos. Serie manuales espiral Salvat, la ed. Barcelona 1986: 131.
2. Seely JF., Zigelbaum GL. Análisis de la gasometría arterial. En: Manual de cuidados intensivos respiratorios. Serie manuales espiral Salvat, la ed. Barcelona 1986: 21.
3. Parámetros biológicos del habitante de la ciudad de La Paz y otras poblaciones del altiplano Boliviano. IBBA, la ed. Emp. edit. Proinsa 1980: 29-34.
4. Comroe J.H. Physiology of respiration. Year book Med. Pub., Chicago, U.S.A., 1971.
5. Botella de Maglia, J. Intercambio gaseoso en la cumbre del Aconcagua. Rev. Esp. Cardiol. 1989; 42: 71.
6. Ward M. Mountain medicine. A clinical study of cold and high altitude. Londres, Crosby Lockwood Staples, 1975.
7. Wilkerson JA., Bangs CC., Hayward JS. Hipotermia, frostbite and other cold injuries. Seattle, The Mountaineers, 1986.
8. Guerisoli J.M., Rinaldi M.R., Fabbri O.O., Adrogué H.J.: Estado ácido-base y Terapia intensiva. Ed. La Médica. Rosario Arg. 1974: 13-17.
9. Siggard Andersen O.: Scand J., Clin. Lab. Invest. 1961; 13:2.
10. Guerisoli J.M.: Equilibrio Acido-base. Ed. Fernández 1970:13.