

## ACLIMATACION DE LOS NATIVOS DE GRANDES ALTURAS ( 3.650m. ) A BAJAS ALTITUDES ( 420m. )

J. Coudert, M. Paz Zamora, E. Vargas, J. Ergueta, N. Gutierrez y W. Haffel.

### INSTITUTO BOLIVIANO DE BIOLOGIA DE ALTURA MATERIAL Y METODOS:

Fueron estudiados en La Paz, (3.650 mts. sobre el nivel del mar).

### INTRODUCCION:

Si bien hasta la fecha, el estudio de aclimatación a grandes alturas de individuos que vienen de nivel del mar, ha dado lugar a un número bastante importante de publicaciones, no ha sido así en lo que concierne al estudio de la aclimatación a bajas alturas de individuos nacidos y residentes permanentes de grandes alturas. La población de grandes alturas representa actualmente el mundo, más de 25 millones de habitantes (18) distribuidos en diferentes puntos del globo, especialmente en los Andes e Himalayas. Entre ellos, el nativo de la meseta Andina (Altiplano) ha sido uno de los más estudiados; el mismo que se ha revelado como portador de características biológicas propias, reflejo en gran parte de un largo proceso de adaptación en el seno de un medio ecológico especial, el de hipoxia crónica.

Fue en 1.934 cuando MONGE hizo notar el problema de orden general que planteaba la aclimatación a nivel del mar del nativo del Altiplano Andino (28). Pero desde esa fecha, las publicaciones referentes a dicho tema de investigación han sido escasas fragmentarias (3, 19, 29, 36, 47, 49).

El presente trabajo ha sido realizado con el fin de aportar nuevas ideas sobre este tema.

17 sujetos Aymaras, nacidos y residentes del altiplano andino, (3.800 mts.), de sexo masculino, sedentarios, edad promedio 22 años y luego en Santa Cruz (420 mts.) durante los 18 primeros días de aclimatación a baja altitud (Grupo HL).

Por otra parte se estudió un lote de 10 individuos, nacidos y residentes de las tierras bajas, del mismo sexo, igualmente sedentarios y con una edad promedio de 19.5 años, grupo que fue estudiado en las mismas condiciones a 420 mts. (Grupo LL).

Los diferentes experimentos fueron realizados, después de haber verificado por medio de un examen clínico, radiológico y electrocardiográfico, la normalidad de los individuos y después de haberles informado de las diferentes pruebas que tuvieron que ejecutar en los laboratorios.

Numerosos parámetros fueron medidos en cada uno de los individuos mediante las técnicas siguientes:

Con espirómetro a circuito cerrado ventilado (Tipo CARA), provisto de un analizador de helio, fueron determinados en posición sentada, los volúmenes pulmonares estáticos y dinámicos siguientes:

Enero -Marzo 1974

IBBA

Capacidad Vital (CV), Volúmen Residual (VR), Capacidad Residual Funcional (CRF), Capacidad Pulmonar Total (CPT), Volúmen Expirado Máximo por segundo (VEMS) y Ventilación Máxima Minuto (VMM).

Los siguientes parámetros fueron determinados en horas de la mañana luego de un desayuno ligero y estando el sujeto en completo reposo durante 30 minutos: el consumo basal de oxígeno (VO<sub>2</sub>), la ventilación minuto (VE), la producción de CO<sub>2</sub> (VCO<sub>2</sub>), el método utilizado fue circuito abierto, habiéndose recolectado los gases en bolsas de goma durante 5 a 8 minutos para luego ser analizados. Al mismo tiempo se midieron: La Frecuencia Respiratoria (f), la Frecuencia Cardíaca (F) y las presiones arteriales sistémicas (Método Esf. manométrico) y se tomaron las muestras de sangre arterial gracias a una aguja de Courmand previamente colocada en la arteria humeral.

El volúmen de gas recolectado en las bolsas de goma fue medido en un espirómetro TISSOT; las fracciones espiradas de oxígeno (FEO<sub>2</sub>) y de gas carbónico (FECO<sub>2</sub>) fueron determinados respectivamente gracias a analizadores físicos, utilizando el efecto paramagnético del O<sub>2</sub> (Servomex OA-150) y el poder absorbente infra-rojo del CO<sub>2</sub> (ONERA), la calibración de ambos aparatos se realizó con muestras gaseosas a diferentes porcentajes de O<sub>2</sub> y CO<sub>2</sub> elaborados en una bomba de WOSTHOFF.

El volúmen corriente (VT) fue calculado a partir de VE y f en la sangre arterial, las presiones parciales de O<sub>2</sub> (PaO<sub>2</sub>), CO<sub>2</sub> (PaCO<sub>2</sub>) y pHa fueron medidas con un equipo IL-Meter-127-S1.

El espacio muerto fisiológico (VD) fue calculado a partir de la ecuación de BOHR, utilizando PaCO<sub>2</sub> en lugar de la presión parcial alveolar del CO<sub>2</sub> (PACO<sub>2</sub>).

La ventilación alveolar (VA) fue calculada a partir de la ecuación  $VA \times x = VCO_2 \times (0.863/PaCO_2)$ .

En la sangre venosa cubital fueron determinados el número de glóbulos rojos y su diámetro medio (Método difractométrico), la concentración de hemoglobina (Método de DRABKIN - modificado por ZIJLSTRA) (9,48) el porcentaje de metahemoglobina (Método de EVELYN y MALLOY) (10) y la tasa de bilirrubina total (Mércotest bilirrubin 3333). Con un espectrómetro COLEMAN Tipo Junior II, Modelo 6/20, se realizan las lecturas a 540 mμ para la hemoglobina, a 630 mμ para la metahemoglobina y a 578 mμ para la bilirrubina total. Igualmente fueron determinadas las concentraciones de sodio y potasio plasmático (Fotómetro de llama) y del magnesio plasmático y eritrocitario, (fotómetro de absorción atómica -ROUSSELET 1966) (38); la concentración plasmática de ácido láctico dosada por el método enzimático (Kits BOEHRINGER), fue realizada sobre muestras tomadas durante el reposo y durante el minuto que siguió al ejercicio máximo. Este último fue realizado en una bicicleta ergométrica (Monark) según la técnica de BALKE (2); después de un calentamiento previo de 10 minutos, durante el cual el individuo ha efectuado un ejercicio sub-máximo de 100 watts; la potencia fue aumentada progresivamente en escalas de 25 watts, hasta alcanzar el consumo máximo de oxígeno (VO<sub>2</sub> Max).

En la orina de 24 horas se dosificó, los 17 hidroxisteroides (método de SILBER y PORTER) (41) y el ácido Vanílico Mandélico (Método de SUNDERMAN y col.) (43).

Los individuos del grupo HL fueron transportados de La Paz a Santa Cruz por vía aérea (duración del vuelo: 1 hora).

## RESULTADOS:

### 1.- DATOS METEREOLÓGICOS

En el cuadro No. 1, están representados los datos meteorológicos obtenidos a grandes y bajas altitudes durante la duración de los experimentos: la presión parcial media de O<sub>2</sub> inspirado (PIO<sub>2</sub>) fue en La Paz de 95,5 Torr (PB = 01.7 Torr) en Santa Cruz de 143,4 Torr (PB = 729.9 Torr).

	LA PAZ	SANTA CRUZ
Presión Barométrica Torr.	502 ( 500 - 504 )	730 ( 725 - 737 )
Temperatura ( °C )	17.4 ( 15.5 - 18.5 )	24.5 ( 18.0 - 27.0 )
Humedad Relativa	42 ( 37 - 45 )	63 ( 43 - 81 )

Cuadro No. 1:

Datos meteorológicos ( Valores medios y extremos ) obtenidos en LA PAZ ( 3.500 m. ) y en SANTA CRUZ ( 420 m. ) durante los experimentos. ( Valores Extremos.

— PB = Presión Barométrica

— T<sup>°C</sup> = Temperatura ambiente, medida en el laboratorio

( Junio - Julio )

Enero -Marzo 1974

IBBA

**2.- DATOS BIOMETRICOS GENERALES**

En el cuadro No. 2, están representados los datos biométricos de los individuos de los grupos HL y LL: el peso y la superficie corporal (SC) de los nativos de las

grandes alturas son significativamente menores a los nativos del llano. Debe hacerse notar que durante el período de aclimatación a baja altitud, el peso y la superficie corporal de los individuos del grupo HL aumentó significativamente (P 0.005),

	GRUPO HL	P	GRUPO LL
N	17		10
Edad ( Años )	22		19
Valores Extremos	( 20 - 37 )		( 18 - 24 )
Talla ( cm )	164 $\pm$ 1,7	NS	168 $\pm$ 2
Peso ( Kg. )	58,1 $\pm$ 1,8*	0,0125	65,1 $\pm$ 2
Superficie Corporal (m <sup>2</sup> )	1,62 $\pm$ 0,04*	0,01	1,74 $\pm$ 0,03

**Cuadro No. 2 :** Datos biométricos del grupo HL ( highlanders= nativos del altiplano andino: 3.800 m. ) y del LL ( lowlanders= nativos de las tierras bajas = 420 m.)

Valores medios  $\pm$  error standard

\* Datos obtenidos en LA PAZ ( 3.500 m. )

**3.- VOLUMENES PULMONARES****a) Volúmenes estáticos:**

- CV: No sufre ningún cambio significativo durante los 8 primeros días de aclimatación a baja altitud. En el valor relativo, sobrepasa el del grupo testigo (P 0.05).

- CRF: No se modifica a bajas alturas. En valores absoluto y relativo sobrepasa el del grupo LL. (P 0.05).

- VR: El incremento de CRF en los individuos del grupo HL se realiza sobre todo a costa del VR que representa hasta el 27o/o de CPT.

CPT: Los valores superiores de CV y VR obtenidos en el grupo HL explican que la CPT de estos individuos sea significativamente superior con relación a los valores absoluto y relativos en los individuos del grupo LL. (P 0.025).

**b) Volúmenes dinámicos:**

Si bien los volúmenes estáticos pulmonares no sufren ninguna modificación durante la primera semana de aclimatación a baja altitud, los volúmenes dinámicos (VEMS y VMM) se modifican: Al 8o. día, tanto uno como otro han disminuido significativamente (P 0.025). (Ver Cuadro 3 y Figura No. 1).

**4.- VENTILACION Y CONSUMO DE O<sub>2</sub> DURANTE EL REPOSO:**

Se nota una disminución significativa (P 0,0025) y progresiva de VE que se estabiliza a partir de la segunda semana de aclimatación a baja altura, para alcanzar un valor vecino al del grupo testigo (P 0.35): esta disminución se hace a su vez a expensas de f y de VT.

Aparte del aumento en el primer día a baja altura, (P 0,0025), VO<sub>2</sub> no presenta los otros días, ninguna modificación significativa.

A baja altura, el equivalente ventilatorio (VE L. BTPS. min -1/VO<sub>2</sub> L. STPD. min -1) disminuye notablemente (P 0,0005) para estabilizarse alrededor de un valor vecino al del lote testigo. (ver Cuadro No. 4).

	GRUPO HL a 3.500 m.	10 <sup>o</sup> Día a 420 m.	8 <sup>o</sup> Día a 420 m.	P	GRUPO LL a 420 m.
T.P.C.: 1.BTSP. Kg <sup>-1</sup> 1.BTSP. m	6,74 ± 0,15 0,118 ± 0,003 4,19 ± 0,08	7,09 ± 0,20 0,127 ± 0,005 4,40 ± 0,14	6,96 ± 0,21 0,123 ± 0,004 4,35 ± 0,13	0,025 0,0005 0,0025	6,20 ± 0,23 0,096 ± 0,003 3,62 ± 0,11
V.C.: 1.BTSP 1.BTSP. Kg <sup>-1</sup> 1.BTSP. m <sup>2</sup> o/o CPT	5,17 ± 0,11 0,090 ± 0,002 3,22 ± 0,07 76,8 ± 1,2	5,30 ± 0,13 0,094 ± 0,002 3,32 ± 0,08 75,2 ± 1,4	5,06 ± 0,13 0,087 ± 0,003 3,13 ± 0,09 73,8 ± 1,6	NS 0,005 0,05 0,0005	4,90 ± 0,19 0,075 ± 0,002 2,86 ± 0,07 78,7 ± 1,4
R.C.F.: 1.BTSP 1.BTSP. Kg <sup>-1</sup> 1.BTSP. m <sup>2</sup> o/o CPT	3,49 ± 0,14 0,060 ± 0,003 2,15 ± 0,08 51,6 ± 1,4	3,68 ± 0,21 0,066 ± 0,005 2,47 ± 0,25 51,8 ± 1,8	3,68 ± 0,17 0,065 ± 0,004 2,28 ± 0,10 52,6 ± 1,5	0,05 0,005 0,01 NS	3,18 ± 0,18 0,049 ± 0,003 1,82 ± 0,11 51,1 ± 1,6
R.V.: 1.BTSP 1.BTSP. Kg <sup>-1</sup> 1.BTSP. m <sup>2</sup> o/o CPT	1,57 ± 0,10 0,027 ± 0,001 0,99 ± 0,07 23,2 ± 1,2	1,78 ± 0,13 0,032 ± 0,003 1,07 ± 0,08 24,9 ± 1,3	1,91 ± 0,12 0,034 ± 0,002 1,18 ± 0,07 27,6 ± 1,3	0,0025 0,0005 0,0025 0,005	1,31 ± 0,09 0,020 ± 0,001 0,76 ± 0,07 21,1 ± 1,4
MEVS.: 1.BTSP. s <sup>-1</sup> o/o CV	4,43 ± 0,11 85,8 ± 1,3	4,31 ± 0,13 81,2 ± 1,2	4,10 ± 0,12 81,4 ± 1,8	NS NS	4,05 ± 0,16 83,3
VMM.: 1.BTSP. m <sup>-1</sup> 1.BTSP. m <sup>-2</sup>	181,7 ± 4,4 108,3 ± 4,4	160,0 ± 8,2 103,1 ± 5,3	148,6 ± 5,1 93,4 ± 3,4	NS 0,01	150,7 ± 8,6 87,6 ± 5,2

Cuadro No. 3:

Datos espirométricos obtenidos en LA PAZ ( 3.500 m. ) y en SANTA CRUZ ( 420 m. ) en un grupo de 17 individuos de sexo masculino, nativos del altiplano andino ( 3.800 m. ) ( Grupo HL ).

Comparación de un lote testigo de 10 individuos de la misma edad y sexo, nativos de las tierras bajas. Estudiados a 420 m. ( Grupo II)

Valores medios ± error standard.

	GRUPO					HL		GRUPO LL
	10 - 20 día	50 - 60 día	100 - 110 día	160 - 170 día		P		
	a 3.500 m.	a 420 m.	a 420 m.	a 420 m.	a 420 m.	a 420 m.	a 420 m.	
$\dot{V}_E$ 1. BTPS* $\text{min}^{-1}$	9,77 $\pm$ 0,24	8,99 $\pm$ 0,32	8,29 $\pm$ 0,23	8,19 $\pm$ 0,27	8,22 $\pm$ 0,29	NS	8,41 $\pm$ 0,29	
$\dot{V}_E$ 1.BTPS* $\text{min}^{-1}\text{m}^{-2}$	6,05 $\pm$ 0,24	5,72 $\pm$ 0,15	5,12 $\pm$ 0,10	5,06 $\pm$ 0,13	4,91 $\pm$ 0,16	NS	4,87 $\pm$ 0,14	
$\dot{V}_E$ 1.STPD* $\text{min}^{-1}$	5,14 $\pm$ 0,23	7,19 $\pm$ 0,24	6,65 $\pm$ 0,17	6,48 $\pm$ 0,21	6,53 $\pm$ 0,23	NS	6,64 $\pm$ 0,24	
$\dot{V}_E$ 1.STPD* $\text{min}^{-1}\text{m}^{-2}$	3,16 $\pm$ 0,10	4,44 $\pm$ 0,10	4,07 $\pm$ 0,09	4,01 $\pm$ 0,09	3,99 $\pm$ 0,12	NS	3,85 $\pm$ 0,10	
f. $\text{min}^{-1}$	18,6 $\pm$ 0,7	17,9 $\pm$ 0,6	17,7 $\pm$ 0,7	17,2 $\pm$ 0,4	16,9 $\pm$ 0,5	NS	16,6 $\pm$ 0,7	
$V_T$ 1.BTPS	0,528 $\pm$ 0,02	0,519 $\pm$ 0,02	0,472 $\pm$ 0,02	0,476 $\pm$ 0,16	0,496 $\pm$ 0,021	NS	0,514 $\pm$ 0,024	
$\dot{V}O_2$ $\text{cm}^3 \cdot \text{min}^{-1}$	245 $\pm$ 8	264 $\pm$ 11	250 $\pm$ 10	250 $\pm$ 7	247 $\pm$ 8	0,05	269 $\pm$ 9	
$\dot{V}O_2$ $\text{cm}^3 \cdot \text{min}^{-1} \cdot \text{m}^{-2}$	148,3 $\pm$ 4	168,8 $\pm$ 4,9	154,4 $\pm$ 4,9	155,8 $\pm$ 3,3	150,5 $\pm$ 4,2	NS	157,4 $\pm$ 3	
$\dot{V}_E$ 1.BTPS. $\text{min}^{-1}$	40,9 $\pm$ 1,3	34,3 $\pm$ 0,7	33,6 $\pm$ 0,8	32,7 $\pm$ 0,6	33,4 $\pm$ 1,0	NS	31,1 $\pm$ 0,9	
$\dot{V}O_2$ 1.STPD. $\text{min}^{-1}$								
$\dot{V}_E$ 1.STPD. $\text{min}^{-1}$	21,5 $\pm$ 0,7	27,5 $\pm$ 0,7	27,1 $\pm$ 0,7	25,9 $\pm$ 0,4	26,5 $\pm$ 0,8	NS	24,8 $\pm$ 0,7	
$\dot{V}O_2$ 1.STPD. $\text{min}^{-1}$								
R	0,98 $\pm$ 0,02	0,94 $\pm$ 0,02	1,00 $\pm$ 0,02	0,94 $\pm$ 0,02	0,98 $\pm$ 0,02	0,05	0,93 $\pm$ 0,01	

**Cuadro No. 4 :** Variaciones de la ventilación y del consumo de oxígeno durante el reposo, en 17 individuos nativos del altiplano andino ( 3.800 m.) ( Grupo HL ) estudiados en LA PAZ ( 3.500 m. ) y luego en SANTA CRUZ ( 420 m. ). Comparación con un lote testigo de 10 individuos nativos de las tierras bajas, estudiados a 420 m. ( Grupo LL ).

Valores medios  $\pm$  error: standard.

NS No significativo.

Enero -Marzo 1974

IBBA

## 5.- VENTILACION ALVEOLAR Y DEL ESPACIO MUERTO FISIOLÓGICO

(VA y VD)

El cálculo de VA pone en evidencia una disminución neta de su valor (P 0,0025), sin modificación de VD que en relación a los valores testigos, está netamente aumentado (P 0,0005).

El espacio muerto fisiológico calculado en los individuos del grupo HL es en efecto más elevado que el de los individuos del grupo LL (P 0,0025). (Ver Cuadro No. 5).

## 6.- COCIENTE RESPIRATORIO (R)

No cambia significativamente durante el período de aclimatación a baja altura y permanece al término de la estadía (16o. 17o. día), más elevado que R del lote testigo (P 0,05). (Ver Cuadro No. 4).

## 7.- PRESIONES PARCIALES DE GASES Y DIFERENCIA ALVEOLO ARTERIAL EN O<sub>2</sub>

Se nota un aumento progresivo de PaCO<sub>2</sub> que se estabiliza el 5o. día a baja altura, en un valor superior al del lote testigo (P 0,005).

PAO<sub>2</sub> es, por el contrario, en ese momento, significativamente más bajo que el del lote testigo (P 0,01). La diferencia alveolo-arterial en O<sub>2</sub> DA-aO<sub>2</sub> es significativamente menor en los individuos del grupo HL que en los del grupo LL (P 0,0025). (Ver Cuadro No. 6 y figura No. 2).

## 8.- FRECUENCIA CARDIACA Y PRESION ARTERIAL SISTEMICA DE REPOSO

A excepción del primer día a baja altura, Fc disminuye significativamente (P 0,005) y se estabiliza en un valor netamente menor que el de los individuos testigos (P 0,025).

Las presiones arteriales sistémicas sistólicas no sufren ningún cambio durante la aclimatación a baja altura y no se observa diferencia entre los individuos de los grupos HL y LL.

Por el contrario, las presiones arteriales sistémicas diastólicas y diferenciales muestran a baja altura, con excepción del 1o. y 2o. día, una disminución significativa (P 0,0025) que las lleva a valores comparables a aquellas de los sujetos testigos (P 0,20). (Ver Cuadro No. 7)

## 9.- VALORES HEMATOLOGICOS

El Hematocrito (Ht) disminuye significativamente (P 0,01) desde las 24 primeras horas a baja altura; la disminución es progresiva hasta el quinceavo dieciocho día, momento en cual, conserva de todas maneras un valor superior al del lote testigo (P 0,05).

De manera comparable, descienden la concentración en hemoglobina (Hb) y el número de glóbulos rojos (GR), pero estos parámetros alcanzan durante la tercera semana de aclimatación a baja altura un valor comparable al del testigo: este fenómeno va a la par con un aumento del diámetro y del volumen medio de los eritrocitos, que el 8o. día de aclimatación a baja altura, sobrepasa significativamente los valores del lote testigo (P 0,05).

El contenido medio de los eritrocitos en hemoglobina (Hb E) no sufre ningún cambio.

La concentración plasmática de la bilirrubina total disminuye significativamente a partir de las primeras 24 horas a baja altura (P 0,0005) llegando al 18o. día, a un valor comparable al del lote testigo (P 0,20).

En lo que se refiere al contenido de Metahemoglobina, hay que notar un valor elevado en el grupo HL estudiado a 3.500 m. 3.79o/o; el límite superior normal observado a nivel del mar es de 2o/o (4); a baja altura, la tasa disminuye significativamente (P 0,0005) hasta estabilizarse en los límites de lo normal. (Ver Cuadro No. 8).

## 10.- ELECTROLITOS PLASMATICOS (Potasio, Sodio, Magnesio)

Fueron estudiados a baja altura, en los individuos del grupo HL, solamente el 4o. día y 18o día.

Las cifras, obtenidas para el potasio y el sodio son bajas (136,93 - 0,67 mEq/l-1 para el Na<sup>+</sup>; 4,02 - 0,06 mEq/l-1 para el K<sup>+</sup>).

Los valores obtenidos para el magnesio plasmático son inferiores a los que corresponden a las normas de nivel del mar: 20 a 21 mg/l-1 (16).

Por el contrario, el magnesio eritrocitario es significativamente más concentrado que el del lote testigo LL (P 0,0025). (Ver Cuadro No. 9).

## 11.- CAPACIDAD AEROBICA MAXIMA

El consumo máximo de oxígeno (VO<sub>2</sub> Max) mejora de una manera significativa (P 0,025) y progresiva durante la aclimatación a baja altura hasta alcanzar el 16o. - 17o. día un valor que sobrepasa de 18,7o/o del obtenido a 3.500 m., tomando como referencia. A partir del 16o. - 17o. día a baja altura, VO<sub>2</sub> Max. es idéntica en los grupos.

La ventilación máxima (VE Max) por el contrario, disminuye a baja altura (P 0,005) hasta estabilizarse alrededor de un valor comparable a la del lote testigo.

A igual que durante el reposo, el equivalente ventilatorio mejora a baja altura durante el ejercicio máximo (P 0,0025) y se sitúa alrededor de un valor comparable al del lote testigo.

Fuera del 5o. - 6o. día, la frecuencia cardíaca máxima (Fc Max) aumenta a baja altura (P 0,05) y no es diferente a la del lote testigo el 16o. - 17o. día.

Las presiones arteriales sistémicas sistólicas al término máximo no cambian a baja altura; son netamente menores que las del lote testigo; las presiones diastólicas si bien disminuyen significativamente (P 0,0125) a partir del 10o. día a baja altura, permanecen más elevadas que las del lote testigo. Se deduce que las presiones diferenciales de los individuos del grupo HL son más débiles que las de los del grupo LL.

La concentración plasmática del Acido Lactico, obtenida en el minuto que sigue al ejercicio máximo no es diferente a 3.500 m. y a 420., en los individuos del grupo HL (P 0,040). (Ver Cuadro No. 10).

## 12.- ORINA

La diuresis tiene tendencia a disminuir durante la fase de aclimatación a baja altura, pero la disminución no es significativa a excepción de 10o. día (P 0,05).

Paralelamente se nota un aumento en la densidad de la orina (aumento significativo solamente para el 3o. día (P 0,05)).

	GRUPO			HL	P	GRUPO LL
	a 3.500 m.		P			
$V_D^3$ BTPS	162,0 ± 11,5	NS		181,5 ± 7,8	0,0025	142,9 ± 9,2
$V_D^1$ BTPS. min <sup>-1</sup>	3,122 ± 294	NS		3,287 ± 118	0,0005	2,366 ± 178
$V_D^1$ BTPS. min <sup>-1</sup> .m <sup>-2</sup>	1,922 ± 180	NS		2,001 ± 63	0,0005	1,361 ± 94
$V_A^1$ BTPS. min <sup>-1</sup>	6,84 ± 0,39	0,0025		5,28 ± 0,17	0,05	5,87 ± 0,25
$V_A^1$ BTPS. min <sup>-1</sup> m <sup>-2</sup>	4,19 ± 0,23	0,0005		3,22 ± 0,08	NS	3,43 ± 0,08

Cuadro No. 5 :

Espacio muerto fisiológico ( $V_D$ ), ventilación del espacio muerto fisiológico ( $V_D$ ) y ventilación alveolar ( $V_A$ ) en reposo medidos en 10 individuos nativos del altiplano andino ( 3.800 m. ) ( Grupo HL ) en LA PAZ ( 3.500 m. ) y luego en SANTA CRUZ ( 420 m. ).

Comparación con un lote testigo de 10 individuos nativos de las tierras bajas, estudiados a 420 m. ( Grupo LL ).

Valores medios ± error standard.

	GRUPO	H L			GRUPO LL
		6-7-30 H a 420 m.	23-32 H a 420 m.	50 día a 420 m.	
n		12	9	11	
P <sub>a</sub> CO <sub>2</sub> Torr	a - 3.500 m.	35,8 ± 0,7	36,2 ± 0,8	40,3 ± 0,7	P
P <sub>a</sub> O <sub>2</sub> Torr		98,9 ± 1,2	103,9 ± 1,4	98,8 ± 1,4	NS
n		10		10	
P <sub>A</sub> O <sub>2</sub> Torr		63,1 ± 0,9	0,0005	100,7 ± 0,8	0,01
P <sub>A</sub> O <sub>2</sub> H Pa O <sub>2</sub>		3,67 ± 0,81	NS	1,08 ± 1,54	0,0025
					P
					a 420 m.
					10
					37,7 ± 0,4
					95 ± 1,7
					10
					104,3 ± 1,0
					9,53 ± 1,77

**Cuadro No. 6.:** Presiones parciales de los gases O<sub>2</sub> y CO<sub>2</sub> y diferencia alveolo - arterial de O<sub>2</sub> medidas en individuos nativos del altiplano andino ( 3.800 m. ) ( Grupo HL ) en LA PAZ ( 3.500 m. ) y luego durante la aclimatación a baja altura. ( 420 m. )

Comparación con un lote testigo de 10 individuos de las tierras bajas, estudiados a 420 m. ( Grupo LL ).

Valores medios ± error standard.



Enero -Marzo 1974

el efecto de la "hiperoxia" sobre la ventilación. Los días siguientes, la intervención de un transporte activo de iones H al exterior del líquido céfalo-raquídeo con incremento de bicarbonatos permitiría la disminución de la ventilación inducida por el enriquecimiento del medio ambiente en O<sub>2</sub>.

### c.- Gradiente Alveolo-Arterial en O<sub>2</sub>

La disminución de la diferencia alveolo-arterial de las presiones parciales de O<sub>2</sub> ya descrita a grandes alturas en los nativos de tales regiones (20) se mantiene igualmente a baja altura:

Fue establecido que la capacidad de difusión pulmonar es mejor en los nativos de grandes alturas (8,35). Las modificaciones morfológicas pulmonares que dan por resultado un aumento de las superficies de intercambio entre alveolo y capilar pulmonar y la elevación de las presiones arteriales pulmonares que se mantiene a baja altura durante más de un año (42) podrían asegurar una mejor perfusión de los vertices pulmonares. Todos estos son factores que no podrían intervenir durante la aclimatación a baja altura de los nativos de gran altitud, logrando el mantenimiento de un gradiente débil alveolo-arterial de O<sub>2</sub>. Hay que notar que éstas observaciones están en contradicción con las publicaciones hechas por otros autores (2234) que notan por el contrario, un alargamiento del gradiente alveolo arterial de O<sub>2</sub> testigo de una desuniformidad de la relación ventilación - perfusión y del incremento de cortocircuitos veno-arteriales en los nativos de grandes alturas.

Además recientes trabajos realizados sobre la repartición del Flujo Sanguíneo Pulmonar no demuestran un mejoramiento de la perfusión de los vertices pulmonares a gran altitud. (6).

### D.- Bradicardia:

La bradicardia observada durante el curso de la aclimatación a baja altura, no puede ser explicada por la acción única de una elevación de PO<sub>2</sub>. En efecto, la inhalación de O<sub>2</sub> puro a grandes alturas no produce sino una disminución moderada de Fc netamente menor que aquella observada en los nativos de grandes alturas que descienden a nivel del mar (42).

Además la bradicardia aparece de manera retardada: no es observada en éste trabajo durante el 1o. y 2o. día a baja altura (Cuadro No. 7). El problema es comparable al que se plantea durante la aclimatación a grandes alturas para interpretar la taquicardia observada; con éste fin, un aumento de la actividad del sistema nervioso simpático con eliminación acrecentada de las catecolaminas urinarias (7) fue invocado. Durante la aclimatación a baja altura, un mecanismo comparable podría intervenir: se observa en efecto, una disminución de la actividad simpática, como lo testimonia la débil eliminación urinaria de ácido Vinil Mandélico observada durante el 18-19 día a baja altura (Fig. No. 3).

### E.- Hematología:

El aumento del volumen globular medio observado durante la aclimatación a baja altura puede permitir explicar que el hematocrito de los individuos nativos de grandes alturas se mantenga a un nivel relativamente elevado con relación al del lote testigo, mientras que la concentración en hemoglobina y el número de glóbulos rojos, permanecen comparables en los dos grupos. El estado de "hidropsia" globular estaría ligado a una hipotonia plasmática, como testimonia la disminución de las concentraciones plasmáticas en sodio y potasio (Cuadro No. 9).

La ausencia de aumento de la bilirrubina total que por el contrario disminuye notablemente (Cuadro No. 8), sugiere que durante la aclimatación a baja altura se produce, no una destrucción acrecentada de glóbulos rojos, sino mas bien una disminución de la eritropoyesis en relación con una disminución de la secreción de eritropoyetina. En efecto, fue descrito que la secreción de eritropoyetina acrecentada en los nativos de grandes alturas, es frenada y reducida cuando descienden a nivel del mar (11). Hay que notar de todas maneras que la ausencia de datos concernientes a los volúmenes plasmático y globular, limita el valor de las interpretaciones propuestas aquí.

En cuanto a la tasa elevada de Metahémoglobina observada a grandes alturas, que se normaliza a baja altura no tenemos hasta el presente ninguna explicación válida a ser propuesta.

La disminución del magnesio plasmático y la elevación del magnesio eritrocitario en los nativos de grandes alturas ya ha sido descrita en la literatura (17). El fuerte tenor de magnesio, ión catalizador de numerosas reacciones enzimáticas es ciertamente uno de los soportes de diversas modificaciones metabólicas intracelulares observadas en los nativos de las grandes alturas (14, 37, 45).

### F.- Capacidad Aeróbica Máxima (VO<sub>2</sub> MAX):

Para asegurarse que la mejora del VO<sub>2</sub> Max, observada durante el curso de la aclimatación a baja altura no está ligada en gran parte al entrenamiento, se realizaron nuevas medidas en LA PAZ, en 17 individuos del grupo HL, un mes después de su retorno de SANTA CRUZ. Las diferencias entre los resultados obtenidos antes del descenso (39 - 4 ml. Kg - 1) y un mes después de su regreso (40 - 5 ml. Kg - 1) no son significativas (P 0,15).

Entre los factores que pueden intervenir en la mejora de la capacidad física de los individuos nativos de grandes alturas aclimatándose a baja altitud, hay que insistir en la elevación de Fc Max, que va ciertamente a la par con un aumento del volumen de eyección sistólica (VS) y por lo tanto un aumento del débito cardíaco máximo.

En efecto, se ha descrito que a grandes alturas se observa durante el ejercicio, una disminución del débito cardíaco máximo y del VS tanto en las personas que vienen del nivel del mar, como en los nativos de las grandes alturas (1, 12, 15, 31).

La disminución de la eliminación urinaria de los 17, 21 difroxi 20 cetosteroides observada el 6o. día a baja altitud corresponde al fenómeno inverso descrito por varios autores que han anotado durante la fase de aclimatación a grandes alturas, un aumento de la actividad de la función cortico-suprarrenal (13, 21, 25, 27).

A la luz del conjunto de los resultados obtenidos durante este trabajo, la aclimatación del nativo de grandes alturas a baja altura provee aproximadamente la réplica inversa, punto por punto, de los fenómenos observados durante la aclimatación a grandes alturas en los individuos nativos del nivel del mar. Después de 18 días a baja altitud, el nativo del altiplano andino se acerca en un cierto número de puntos al nativo de los llanos. Pero la persistencia prolongada o definitiva de ciertas características morfológicas y biológicas inducidas para la vida a grandes alturas desde hacen varias generaciones, permiten además individualizarlo netamente.

Enero - Marzo 1974

IBBA

La eliminación urinaria de los 17,21 dehidroxi 20 cetosteroides está marcadamente disminuída hacia el 6o. día, pero se sitúa a un nivel normal hacia el 19o. día.

#### COMENTARIOS:

Si bien las condiciones de temperatura y de humedad relativa ambientes han sido diferentes a alta y baja altura (clima más seco y más frío en LA PAZ, más caluroso en SANTA CRUZ), las modificaciones observadas durante la aclimatación a baja altura y las diferencias existentes entre los grupos HL Ly LL dan lugar a los siguientes comentarios:

#### A.- Volúmenes Pulmonares:

Contrariamente a las observaciones realizadas a gran altura durante la primera semana de aclimatación, en la cual se notó en especial una disminución transitoria de CV (Tenney 1953) (44) los volúmenes pulmonares estáticos no sufren ningún cambio notable durante la aclimatación a baja altura. Pero el estado de "distensión" pulmonar, unido sobre todo al aumento de CRF y VR descrito a gran altura en los nativos del altiplano andino (Hurtado) (19) se mantiene durante la primera semana de vida a baja altitud.

Observaciones realizadas en ratas han puesto en evidencia modificaciones anatómicas del parenquima pulmonar con, entre otros, aumento de las superficies de intercambio alveolar y capilar pulmonar cuando el animal es colocado en un medio hipóxico, desde el nacimiento y durante un tiempo lo suficientemente largo (BURRI y WEIBEL) (1.971) (5).

A la luz de estos hechos, el aumento de los volúmenes pulmonares de los nativos de gran altura podría ser considerado como una manifestación adaptativa a la hipoxia crónica del ambiente.

El estudio de eliminación urinaria del ácido venílico - mandélico (V.M.A.) realizada solamente durante el 18o. - 19o. día de aclimatación a baja altura en 4 individuos, pone en evidencia cifras bajas (2,37 - 0,82mg en 24 H.) (Ver Figura No. 3).

La disminución de los volúmenes espirométricos dinámicos (VEMS, VMM) durante la aclimatación a baja altura, es sobre todo una de las consecuencias del cambio de las propiedades físicas del aire (aumento de la densidad molecular).

#### B.- Ventilación y Gases en Sangre Arterial:

La ventilación en reposo disminuye progresivamente durante las dos primeras semanas de aclimatación a baja altura: La caída inicial de VE puede ser interpretada como la consecuencia de la supresión del estímulo hipóxico sobre los quimiorreceptores sinocarotídeos y cardioaórticos, si bien estos últimos estudiados en los nativos de grandes altura tengan la reputación de ser hiposensibles a las variaciones de PO<sub>2</sub> (23, 26, 40).

Para explicar la disminución progresiva, desplegada progresivamente en el tiempo, de la ventilación durante la aclimatación a baja altura, disminución que va paralela a un aumento progresivo de PaCO<sub>2</sub>, el mismo siendo estímulo de la ventilación, hay que imaginar otros mecanismos. El problema comparable al que se plantea durante la aclimatación a grandes alturas: aumento progresivo de la ventilación que no alcanza inmediatamente un máximo (32).

El mecanismo que hace intervenir, a grandes alturas, la acción de los cambios de la concentración del líquido céfalo-raquídeo en iones H<sup>+</sup> (39) podrían igualmente intervenir para explicar la respuesta ventilatoria progresiva durante lo que se podría llamar "La Hipoxia de las bajas alturas". En un primer tiempo, el aumento de la concentración en iones H<sup>+</sup> contemporánea de un estado acidosis respiratoria (figura No. 4) va a limitar

#### LISTA DE REVISTAS Y DE LIBROS RECIBIDOS POR LA BIBLIOTECA DEL INSTITUTO BOLIVIANO DE BIOLOGIA DE ALTURA EL 15 de Octubre 1975

##### Revistas:

La Revue du Praticien, Tome XXV, No 39 (11 Septembre 1975)  
 La Revue du Praticien, Tome XXV, No 41 (21 Septembre 1975)  
 La Revue du Praticien, Tome XXV, No 43 (1 Octobre 1975)  
 La Nouvelle Presse Médicale, 29 (13 Septembre 1975) 2 ejemplares  
 La Nouvelle Presse Médicale, 30 (20 Septembre 1975)  
 La Nouvelle Presse Médicale, 31 (27 Septembre 1975) 2 ejemplares  
 Biomedicine "Express", Vol 23 - No 4 (April 30, 1975)  
 Biomedicine "Express", Vol 23 - No 5 (June 10, 1975)  
 Biomedicine - Vol. 22 - No 3 (May 1975)

Annales de pediatrie - No 8 - 9 (Septembre 1975) 2 ejemplares  
 Médecine et Armées, Tome 3 - No 6 (Juin 1975)  
 Médecine et Armées, Tome 3 - No 7 (Juillet - aout 1975)  
 Archives des maladies du Coeur et des Vaisseaux, Tome 68 - No 7 (Juillet 1975)  
 Semaine des Hopitaux - Informations (supplément a la Semaine des Hopitaux du 2 Septembre 1975)  
 Semaine des Hopitaux - No 31-32-33-34 (10-20 juillet 1975)  
 Bulletin Signalétique 101 - Centre National de la Recherche Scientifique - 1975 Volume 36, No 9.  
 Primary Pulmonary Hypertension "Report on a WHO meeting World Health Organization Geneva 1975.

## REFERENCIAS

- 1.- ALEXANDER, J.K.; HARTLEY, L.H.; MODELSKI, M.; GROVER, R. F. Reduction of stroke volume during exercise in man following J. Appl. Physiol., 23, 849, 1967.
- 2.- BALKE, B.; NAGLE, F. J., DANIELS, J.: Altitude and maximum performance in work and sports activity. J.A.M.A. 194, 646, 1965.
- 3.- BANCHERO N. and CRUZ J.C. - Hemodynamic changes in the Andean Native after two years at sea level - Aerospace Med. 41, 849, 1970.
- 4.- BERNARD, J. et RUFFIE, J. - Hématologie géographique. Tome I, Ed. MASSON - PARIS, pp. 151, 152, 1966.
- 5.- BURRI, P.H. and WEIBEL, E.R. - Morphometric Evaluation of changes in lung structure due to high altitude. High Altitude Physiology: Cardiac and Respiratory aspects - CIBA Foundation symposium - Ed. by Ruth PORTER and Julie KNIGHT - EDINBURG and LONDON, 1971.
- 6.- COUDERT, J.; PAZ-ZAMORA, M.; BARRAGAN, L.; BRIANÇON, L.; SPIELVOGEL, H.; and CUDKOWICZ, L. - The Regional Distribution of pulmonary Blood Flow in Normal High Altitude Dwellers. Respiration (in press).
- 7.- CUNNINGHAM, W.L.; BECKER, E.J. and KREUZER, F. Catecholamines in plasma and urine at high altitude. J. Appl. Physiol., 20, 607, 1965.
- 8.- DEGRAFF, A.C. Jr., GROVER, R.F.; JOHNSON, R.L. Jr., HAMMOND J.W. Jr., and MILLER, J.M. - Diffusing capacity of the lung in Caucasians native to 3.100 m. - J. Appl. Physiol., 29, 71, 1970.
- 9.- DRABKIN, D.L., and AUSTIN J.H.T. - J. Biol. Chem., 112, 51, 1935.
- 10.- EVALYN, K.A. and MALLOY, H.T. - J. of Biol. Chem., 126, 655, 1938.
- 11.- FAURA, J.; RAMOS, J.; REYNAFARJE, C. - Effect of altitude on Erythropoiesis - Blood, 33, 668, 1969.
- 12.- GROVER, R.F., REEVES, J.T.; GROVER, E.B.; LEATHERS, J. E. Muscular exercise in young man native to 3.100 m. altitude J. Appl. Physiol., 22, 555, 1967.
- 13.- HALHUBER, M.J.; and GABL, F. - PHYSIOLOGICAL EFFECTS OF HIGH ALTITUDE - Pergamon Press, N.Y., W.H. WEIHE (Ed), p. 131, 1964.
- 14.- HARRIS, P. - Some observations on the biochemistry of the myocardium at high altitude in High Altitude Physiology: Cardiac and respiratory aspects - pp. 125-129 - Ciba Foundation Symposium - Ed. Ruth PORTER and Julie KNIGHT. Churchill Livingstone - Edinburgh and London, 1971.
- 15.- HARTLEY, L.H.; ALEXANDER, J.K.; MODELSKI, H.; GROVER, R.F. Subnormal cardiac output at rest and during exercise in residents at 3.100 m. altitude. J. Appl. Physiol., 23, 849, 1967.
- 16.- HENROTTE, J.G.; et DURLACH, J. - Premier symposium international sur le déficit magnésique en pathologie humaine VITTEL, 1, pp. 91-109, 1971.
- 17.- HENROTTE, J.G.; CONSTANS, H.; CONSTANS, J.; BISSELIQUES, F.; et COUDERT, J.; - Le magnésium érythrocytaire et plasmatique des populations amérindiennes du corridor interandin. Archives internationales de Physiologie et de Biochimie, 80, 941, 1972.
- 18.- HOCK, R.J. - The Physiology of high altitude - Sci. Amer. 222, 52, 1970.
- 19.- HURTADO, A., - Enfermedad de Los Andes - Algunas observaciones sobre el volumen del Tórax, la capacidad vital y el metabolismo básico, en la altura. An. Fac. Med. LIMA, 14, 166, 1928.
- 20.- HURTADO, A. - Animals in high altitudes: Residents man. In handbook of physiology, Section 4, adaptation to Environment. Washington, American Physiological society, pp. 843-860, 1964.
- 21.- KOLLER, F.; SCHWARZ, E. and MARTIN, M. - Ueber die Reaktion der Nebennierinde beim aufstieg ins Hochgebirge. Acta Endocrinológica 16, 118, 1954.
- 22.- KREUZER, F.; TENNEY, S.M.; MITHOEFER, J.C. and REMMERS, J. Alveolar arterial oxygen gradient in Andean natives at high altitude. J. Appl. Physiol., 419, 13, 1964.
- 23.- LEFRANCOIS, R.; GAUTIER, H.; PASQUIS, P. - Ventilatory oxygen drive in acute and chronic hypoxia. Respir. Physiol., 4, 217, 1968.
- 24.- LEFRANCOIS, R.; GAUTIER, H.; PASQUIS, P.; CEAVER, A.M.; HELLOT, M.F. and LEROY, J.; Chemoreflex ventilatory response to CO<sub>2</sub> in man at low and high altitudes. Respir. Physiol., 14, 296, 1972.
- 25.- MACKINNON, P.C.B.; MONK-JONES, M.E. and FOTHERBY, K.A. study of various indices of adrenocortical activity during 23 days at high altitude. J. Endocr., 26, 555, 1963.
- 26.- MILLEDGE, J.S.; and LAHIRI, S. - Respiratory control in lowlanders and sherpa highlanders at altitude. Respir. Physiol., 2, 310, 1967.
- 27.- MONCLOA, F.; DONAYRE, J.; and GUERRA-GARCIA, R. Endocrine studies at high altitude. II Adrenal Cortical function in sea level natives exposed to high altitudes (4.300 meters for two weeks). J. Clin. Endocr. and Metab., 25, 1640, 1965.
- 28.- MONGE, M.C. - Fisiología en las alturas - IX Conf. Sanit. Panamericana - BUENOS AIRES, p. 371, 1934.
- 29.- MONGE M.C.; CONTRERAS, L.; VELASQUEZ, T.; REYNAFARJE, C.; MONGE C.C.; CHAVEZ, R. - Adaptaciones fisiológicas de los habitantes del trópico en relación con los cambios de altitud. An. Fac. Med. LIMA. 31, 431, 1948.
- 30.- PAZ-ZAMORA, M.; COUDERTS, J.; LEFRANCOIS, R. - Sensibilidad respiratoria al oxígeno con relación al tiempo de estadía en la altura (La Paz 3.500 m.) Revista del Instituto Boliviano de Biología de Altura. Vol. IV - No. 2 pp. 5, 1972.
- 31.- PUGH, L.G.C.E. - Cardiac output in muscular exercise at 5.800 m. (19.000 ft) J. Appl. Physiol., 19, 441, 1964.
- 32.- RAHN, H. OTIS, A.B. - Man's respiratory response during and after acclimatization to high altitude, Am J. Physiol., 157, 1949.

Enero - Marzo 1974

IBBA

- 33.- RAHN, H., and FENN, W.O. - A graphical analysis of the respiratory gas exchange - The O<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub> Diagram - Ed. The American Physiological Society - Washington, p. 40, 1955.
- 34.- REEVES, J.T.; HALPIN, J. CHON, J.E.; DAOUD, F. Increased alveolar-arterial oxygen difference during simulated high-altitude exposure. *J. Appl. Physiol.*, 27, 653, 1969.
- 35.- REMMERS, J.E.; MITHOEFER, J.C. - The carbon monoxide diffusing capacity in permanent residents at high altitudes. *Resp. Physiol.*, 6, 233, 1969.
- 36.- REYNAFARJE, C.; LOZANO, R. and VALDIVIA, J. - The Polycythemia of high altitudes: Iron Metabolism and related aspects - *Blood*, 14, 433, 1959.
- 37.- REYNAFARJE, B. Physiological patterns: pp. 40-48 Enzymatic changes in life at high Altitudes - Pan American Health Organization - Washington D.C., 1966.
- 38.- ROUSSELET, F. - Spectrophotometrie par absorption atomique appliquee a la biologie. These Pharmacie, Université de Paris, No. 148, 1966.
- 39.- SEVERINGHAUS, J.W.; MITCHEL, R.A. RICHARDSON, B.W. and SINGER, M.M. Respiratory control at high altitude suggesting active transport regulation of CSF PH - *J. Appl. Physiol.* 18, 1155, 1963.
- 40.- SEVERINGHAUS, J.W.; BAINTON, C.R. and CARCELEN, A. - Respiratory insensitivity to hypoxia in cronically hypoxic man. *Respir. Physiol.*, 1, 308, 1966.
- 41.- SILBER et PORTER, dans GLICK, D. (Ed). Methods of biochemical analysis, Vol. IV, p. 139, NEW YORK, 1957.
- 42.- SIME, F.; PEÑALOZA, D. and RUIZ, L. - Bradicardia, increases cardiac output and reversal of pulmonary hypertension in altitude natives at sea level. *Brit. Heart J.*, 33, 647, 1971.
- 43.- SUNDERMAN, F.W. Jr.; CLEVELAND, P.D.; LAW, N.C.; SUNDERMAN, F.W. Sr. - *Amer. J. Clin. Pathol.*, 35, 293, 1960.
- 44.- TENNEY, S.M.; RAHN, H.; STROUD, R.C. And MITHOEFFER, J.C. Adaptation to high altitude: Changes in lung volumes during the seven days at Mt. Evans, Colorado. *J. Appl. Physiol.* 5: 607, 1953.
- 45.- TENNEY, S.M. and OU, L.C. - Some disuse factors in acclimatization to high altitude. In *Biomedicine of high Terrestrial Elevations*. pp. 161-166, E. Hegnauer, A.H. Natick, Mass.: U.S. Army research - Institute of Environmental Medicine, 1969.
- 46.- VARGAS PACHECO, E., Características Respiratorias del Nativo de Altura. Boletín del Instituto Boliviano de Biología de Altura, No. 12, pags. 35-44. Septiembre 1.970.
- 47.- VELASQUEZ, T. - Acquired acclimatization to sea level. Life at high altitude - PAHO/WHO, pp. 58-63, 1966.
- 48.- ZIJLSTRA, W.C. and VAN KAMPEN, E.J. *Clin. Chin. Acta*, 5, 719, 1960.

Impreso en Offset — Xerográfica  
 Universidad Mayor de San Andrés  
 La Paz - Bolivia

	G R U P O					H L		P	GRUPO LL
	a 3.500 m.	10 - 20 día a 420 m.	50 - 60 día a 420 m.	100 - 110 día a 420 m.	160 - 170 día a 420 m.				
$F_c \cdot \text{min}^{-1}$	66 $\pm$ 1,7	66 $\pm$ 2,9	60 $\pm$ 1,6	60 $\pm$ 1,1	60 $\pm$ 0,8		0,025	66 $\pm$ 1,8	
Pa Sistólico ( mm Hg )	113,4 $\pm$ 2,4	113,2 $\pm$ 3,6	108,8 $\pm$ 4,5	106,9 $\pm$ 1,4	109,6 $\pm$ 1,6		NS	109,9 $\pm$ 2,4	
Pa Diastólico ( mm Hg )	69,6 $\pm$ 1,9	68,2 $\pm$ 2,2	56,9 $\pm$ 1,6	59,1 $\pm$ 1,5	61,8 $\pm$ 1,5		NS	64,4 $\pm$ 1,6	
Pa Diferencial ( mm Hg )	43,8 $\pm$ 2,3	45,9 $\pm$ 3,6	52,5 $\pm$ 4,2	48,4 $\pm$ 1,9	48,6 $\pm$ 1,8		NS	45,5 $\pm$ 2,5	

**Cuadro No. 7.:**

Evolución de la frecuencia cardíaca ( $F_c$ ) y de las presiones arteriales sistémicas ( Pa ) durante el reposo, en 17 individuos nativos del Altiplano Andino ( 3.800 m. ) ( Grupo HL ), durante la aclimatación a bajas alturas ( 420 m. )

Comparación con un lote testigo de 10 individuos nativos de las tierras bajas, estudiados a 420 m. ( Grupo LL ).

Valores medios  $\pm$  error standard.

	G R U P O H L						P	GRUPO LL a 420 m.
	a 3.500 m.	1o día a 420 m.	2o día a 420 m.	4o día a 420 m.	8o día a 420 m.	15o día a 420 m.		
Ht ( o/o )	52,77 ± 0,61	50,35 ± 0,64	49,88 ± 0,59	47,56 ± 0,58	48,13 ± 0,79	47,94 ± 0,50	46,59 ± 0,51	0,05 44,10 ± 0,89
Hb ( go/o )	17,32 ± 0,15	16,34 ± 0,12	16,21 ± 0,13	15,56 ± 0,14	15,42 ± 0,17	15,49 ± 0,13	15,18 ± 0,10	NS 14,97 ± 0,22
GR.m <sup>-3</sup>	5649 ± 66	5329 ± 64	5294 ± 56	5117 ± 72	5035 ± 73	5086 ± 47	4940 ± 55	NS 4780 ± 89
Vol. medio ( 3 )	93,59 ± 0,09	94,46 ± 0,12	94,02 ± 0,32	93,33 ± 0,52	94,03 ± 0,10	94,48 ± 0,39	93,94 ± 0,06	0,025 92,30 ± 1,21
dgl ( )	7,06 ± 0,05	0,01 P	0,0125	7,38 ± 0,11	7,24 ± 0,03	7,24 ± 0,08	7,21 ± 0,04	0,05 6,82 ± 0,05
Hbe.M.(HBE)MMg	30,64 ± 0,26	30,47 ± 0,26	30,65 ± 0,14	30,55 ± 0,28	30,55 ± 0,18	30,47 ± 0,25	30,50 ± 0,22	NS 31,36 ± 0,38
Bilirrubina (mg o/o)	0,46 ± 0,03	0,37 ± 0,02	0,25 ± 0,03	0,23 ± 0,02	0,16 ± 0,02	0,25 ± 0,02	0,25 ± 0,02	NS 0,15 ± 0,01
Met Hb ( o/o de la Hb )	3,79 ± 0,33	0,005	1,03 ± 0,21	1,03 ± 0,21	1,38 ± 0,29	1,41 ± 0,29	0,68 ± 0,15	NS 0,80 ± 0,16

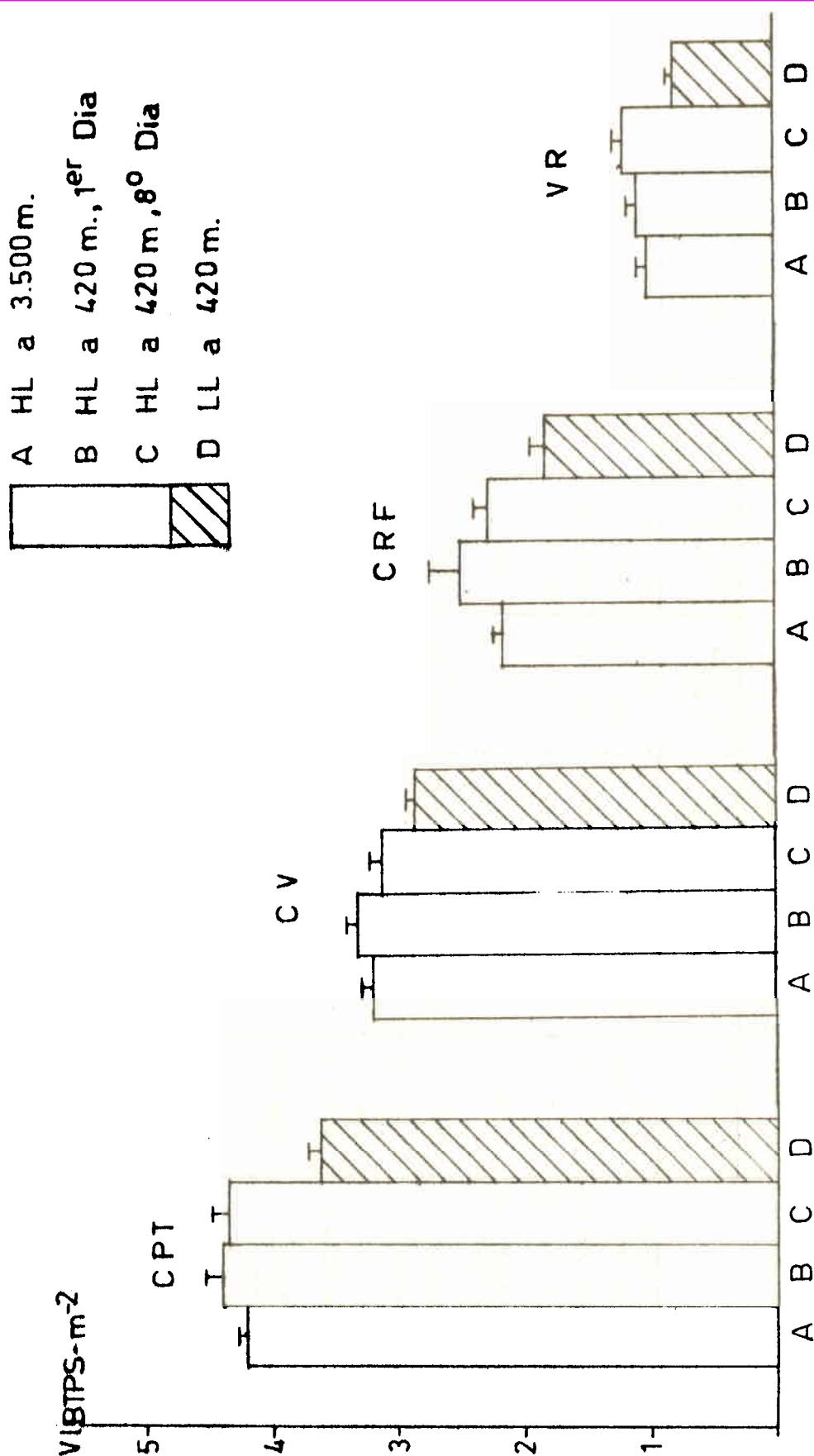
**Cuadro No. 8.:** Datos hematológicos obtenidos en 17 individuos nativos del altiplano andino ( 3.800 m. ) ( Grupo HL ), estudiados a 3.500., y durante la aclimatación a tierras bajas ( 420 m. ).

Datos comparativos obtenidos en 10 individuos nativos de las tierras bajas ( Grupo LL ), estudiados a 420 m.

Valores medios ± error standard

FIGURA No. 1.-

Volúmenes pulmonares estáticos obtenidos a grandes alturas (3.500 m.) y durante la primera semana de aclimatación a baja altura (420 m.) en un grupo de 17 individuos de sexo masculino, nativos del altiplano andino (3.800 m.) (Grupo HL). Comparación con un lote testigo de 10 individuos del mismo sexo y de la misma edad, nativos de las tierras bajas, estudiados a 420 m (Grupo LL). Valores medios - error standard.



	GRUPO					H L			P	GRUPO LL	
	a 3.500 m.					10 - 20 día	50 - 60 día	100 - 110 día			160 - 170 día
	a 420 m.					a 420 m.	a 420 m.	a 420 m.			a 420 m.
$\dot{V}O_{2M} \cdot 1STPD \cdot \text{min}^{-1}$	2,279 ± 0,063	2,529 ± 0,086	2,569 ± 0,102	2,613 ± 0,095	2,707 ± 0,096	NS	2,729 ± 0,89				
$\dot{V}O_{2M} \cdot 1STPD \cdot \text{min}^{-1} \cdot \text{m}^{-2}$	1,413 ± 0,031	1,602 ± 0,034	1,587 ± 0,045	1,632 ± 0,041	1,643 ± 0,038	NS	1,568 ± 0,042				
$\dot{V}O_{2M} \cdot 1STPD \cdot \text{min}^{-1} \cdot \text{Kg}^{-1}$	39,4 ± 1,0	44,4 ± 0,9	43,4 ± 1,3	45,1 ± 1,0	44,5 ± 1,1	NS	42,5 ± 1,3				
$\dot{V}O_{2M}$ a 420 m. x 100 $\dot{V}O_{2M}$ a 3.500m.	100	110,9	112,7	114,6	118,7						
$\dot{V}_{EM} \cdot 1BTPS \cdot \text{min}^{-1}$	114,39 ± 2,60	101,48 ± 4,55	101,81 ± 2,51	102,90 ± 2,51	104,64 ± 3,66	NS	109,28 ± 4,24				
$\dot{V}_{EM} \cdot 1BTPS \cdot \text{min}^{-1} \cdot \text{m}^{-2}$	71,48 ± 1,81	61,86 ± 2,58	62,40 ± 1,71	62,59 ± 1,85	65,06 ± 2,50	NS	62,80 ± 2,78				
$\dot{V}_{EM} \cdot 1STPD \cdot \text{min}^{-1}$	59,33 ± 1,40	80,90 ± 4,91	81,30 ± 2,07	81,59 ± 1,92	84,46 ± 3,44	NS	84,42 ± 3,14				
$\dot{V}_{EM} \cdot 1STPD \cdot \text{min}^{-1} \cdot \text{m}^{-2}$	36,77 ± 0,95	50,26 ± 2,30	50,88 ± 1,92	50,38 ± 1,52	51,72 ± 1,97	NS	48,51 ± 2,14				
$\dot{V}_{EM} \cdot 1BTPS \cdot \text{min}^{-1}$	50,70 ± 1,52	40,78 ± 2,22	40,49 ± 1,88	40,14 ± 1,54	39,11 ± 1,84	NS	40,30 ± 1,69				
$\dot{V}O_{2M} \cdot 1STPD \cdot \text{min}^{-1}$	185 ± 2,8	194 ± 3,3	170 ± 1,9	194 ± 1,9	197 ± 1,0	NS	200 ± 2,8				
Fc. max. $\text{min}^{-1}$	135,0 ± 6,0	136,7 ± 5,5	141,9 ± 2,8	134,7 ± 2,7	123,7 ± 4,3	0,0025	150,0 ± 5,6				
Pas mmHg	70,6 ± 4,0	63,0 ± 2,3	68,3 ± 1,7	59,0 ± 2,8	59,3 ± 2,1	0,010	48,3 ± 3,6				
$P_{ad}$ mmHg	63,5 ± 3,4	73,6 ± 5,0	73,6 ± 3,4	81,3 ± 2,9	65,0 ± 3,7	0,0005	102,7 ± 5,9				
$P_a$ Diferencial mmHg	13,14 ± 2,4 (n = 4)		NS		12,4 ± 1,1 (n = 7)						
Ac - Lactico Plasma	(0,84 ± 0,16) (n = 11)		NS		(1,00 ± 0,14) (n = 10)						
mM $\text{l}^{-1}$											

Cuadro No. 10.: Datos obtenidos durante ejercicio máximo en un grupo de 17 individuos, nativos del altiplano andino ( 3.800 m. ) ( Grupo HL ), estudiados a 3.500 m. y durante la aclimatación a baja altura 9 ( 420 m. ).

Comparación con un lote testigo de 10 individuos nativos, de bajas alturas, estudiados a 420 m. ( Grupo LL ).

Valores medios ± error standard.

NB = Los valores de la lactacidemia, colocados entre paréntesis, corresponden a los resultados obtenidos en los individuos durante reposo, sentados, en la bicicleta ergométrica, antes del ejercicio.



	GRUPO	HL	18σ Día a 420 m.	P	GRUPO LL
	40 Día a 420 m.	P		P	a 420m.
N	13		13		
$\text{Na}^+$ m Eq.l <sup>-1</sup> ( Plasma )	139,14 ± 0,55	0,01	136,93 ± 0,67		
$\text{K}^+$ m Eq. l <sup>-1</sup> ( Plasma )	4,14 ± 0,08	NS	4,02 ± 0,06		
N	13		14		
Mg ( Plasmático ) mg · l <sup>-1</sup> Plasma	17,81 ± 0,43	NS	17,76 ± 0,42		10
Mg. ( Eritrocitario ) mg. l <sup>-1</sup>	45,81 ± 1,48	NS	48,21 ± 1,08	0,0025	41,6 ± 1,61

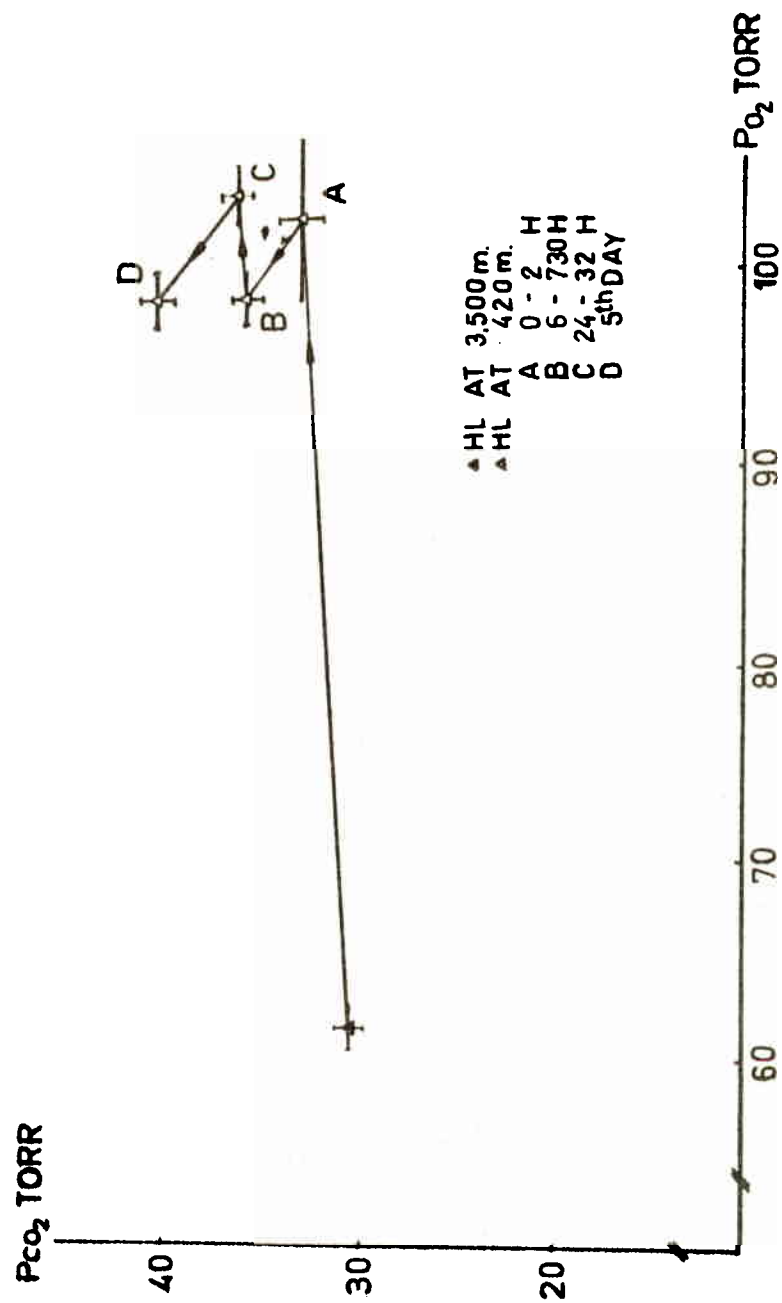
**Cuadro No. 9.:** Valores del sodio ( $\text{Na}^+$ ), potasio ( $\text{K}^+$ ) y magnesio ( $\text{Mg}^{++}$ ) plasmáticos, obtenidos en individuos nativos del altiplano andino (3.800 m.) ( Grupo HL ) durante la aclimatación a bajas alturas.

Valores del Magnesio eritrocitario, obtenidos en individuos arriba mencionados y comparados con un lote testigo de individuos de las tierras bajas ( Grupo LL ).

Valores medios ± error standard.

**FIGURA No. 2.-**

Evolución de la relación  $P_{aCO_2}$  observada en un grupo de individuos nativos de 3.800 m. (Grupo HL) estudiados a 3.500 m., y luego durante los 5 primeros días de aclimatación a 420 m. Comparación con un lote testigo de 10 individuos nativos de las tierras bajas (Grupo LL) estudiados a 420 m. Valores medios - error standard.



GRUPO HL GRUPO LL

a 3.500 m. a 420 m. a 420 m.

DIURESIS ml/24 H

3<sup>er</sup> D 6° D 10° D 12° D 19° D

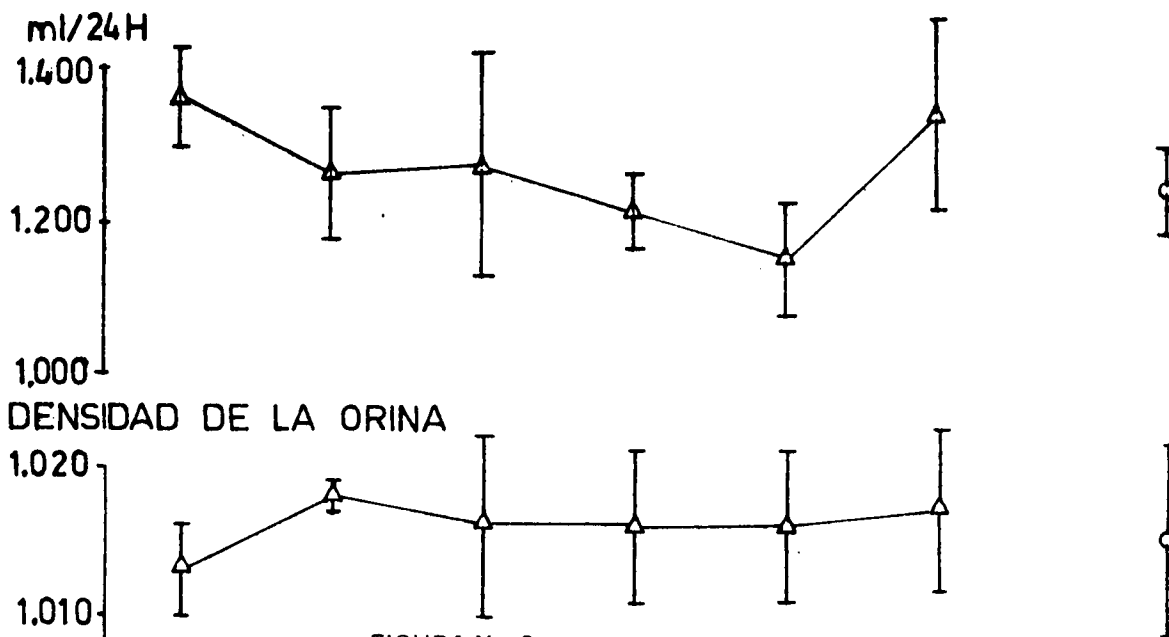
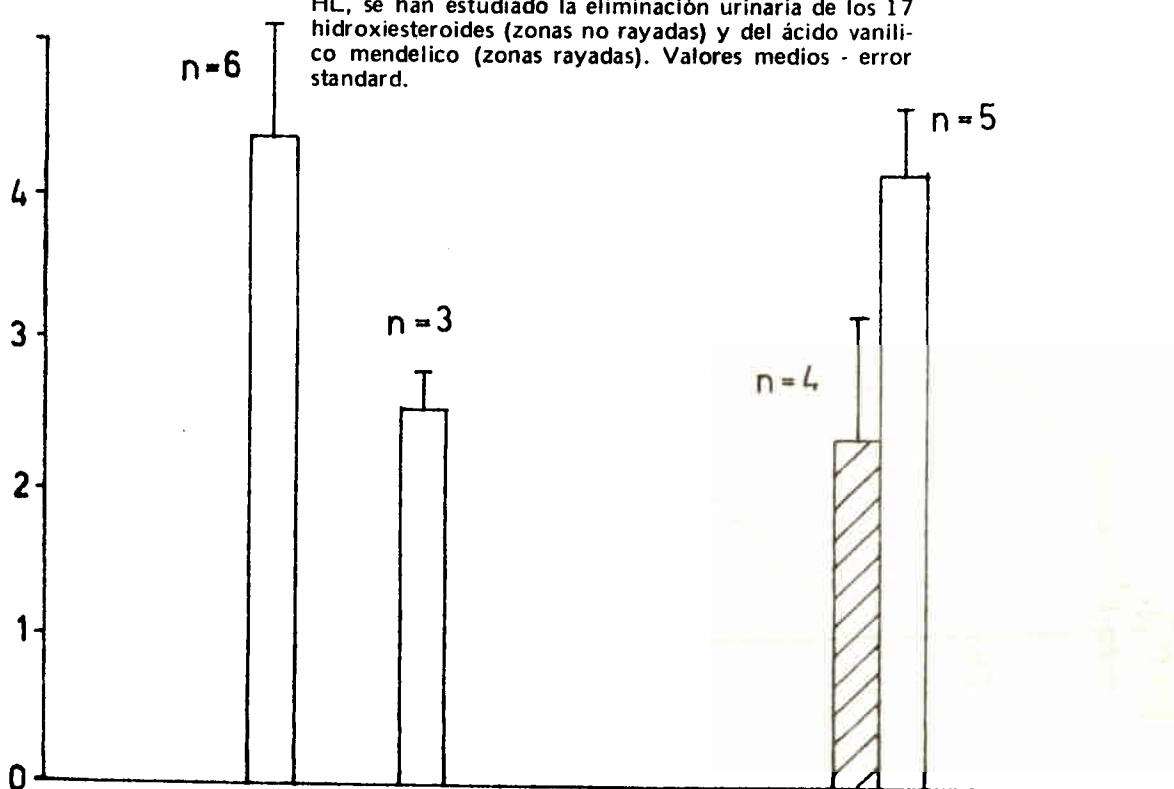


FIGURA No. 3.

Evolución de la diuresis y de la densidad de las orinas en 17 individuos nativos del altiplano andino (3.800 m.) estudiados a 3.500 m. y luego durante su aclimatación a 420 m. (Grupo HL). Comparación con un lote testigo de 10 individuos nativos de las tierras bajas, estudiados a 420 m. (Grupo LL).

mg/ 24 H



En un grupo restringido de individuos del grupo HL, se han estudiado la eliminación urinaria de los 17 hidroxisteroides (zonas no rayadas) y del ácido vanílico mendelico (zonas rayadas). Valores medios - error standard.

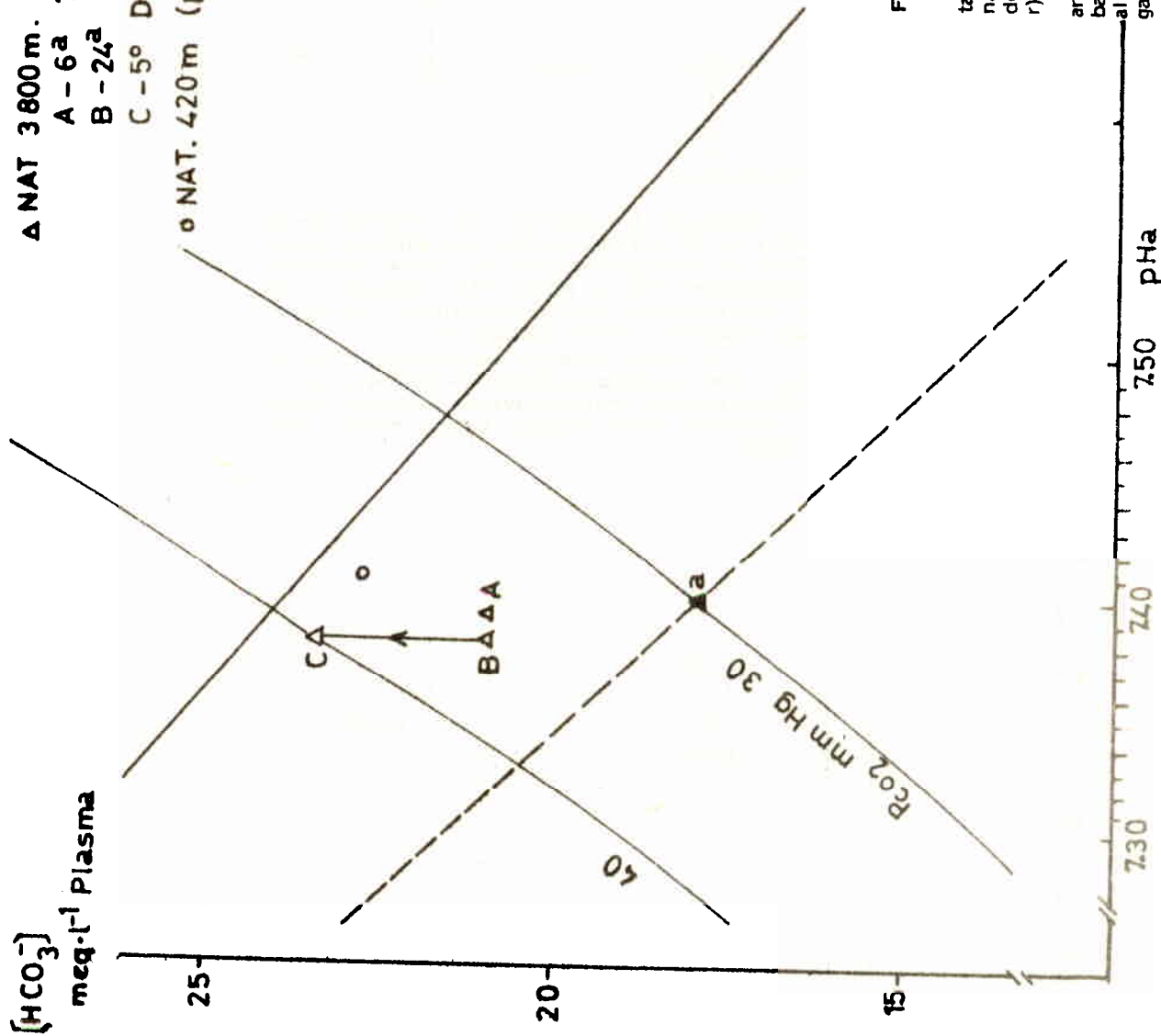


FIGURA No. 4.-

Diagrama HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>/pHa siendo el punteado la línea tampón y a el punto arterial normal establecidos para nativos de LA PAZ, estudiados en LA PAZ (Tomando de R. LEFRANCOIS y col. (24) con permiso del editor).

La posición de los puntos obtenidos en la sangre arterial durante los 5 primeros días de aclimatación a baja altura, en un grupo de 17 individuos nativos del altiplano andino (3.800 m.) corresponde, con relación gaseosa incompletamente compensada.

Enero - Marzo 1974

IBBA

RESUMEN

Han sido estudiados diez y siete sujetos normales nacidos y residentes a 3.800 m. en su propio medio (La Paz) y durante 24 días de estadía a 420 m. en Santa Cruz. Así mismo se efectuó un estudio comparativo entre éste grupo y otro de 10 sujetos nacidos y residentes a baja altitud (Santa Cruz).

Durante el estudio espirométrico, llama la atención, la disminución significativa de los siguientes parámetros durante su estadía en bajas tierras, con relación a sus mismos parámetros en la altura: débito ventilatorio, ventilación máxima minuto y del volúmen espirado máximo durante el primer segundo.

Por el contrario, no se observan modificaciones notorias, en la capacidad Vital, en la capacidad residual funcional, en el volúmen residual, ni en el volúmen muerto calculado. Es decir, por lo menos durante el período de estudio efectuado, los débitos disminuyen y los volúmenes no cambian, de tal manera que el grupo de nativos de la altura a baja altitud conservan el volumen muerto, la capacidad residual funcional y la capacidad pulmonar total, que son entonces mayores que la de los nativos de bajas tierras.

Los nativos de la altura durante su permanencia en bajas tierras muestran, dentro del estudio de gases en sangre arterial, una PaO<sub>2</sub> y una PaCO<sub>2</sub> que se elevan evidentemente, obteniéndose PaO<sub>2</sub> idéntica en ambos grupos. Por el contrario, PaCO<sub>2</sub> es significativamente más alta en los nativos de la altura en comparación al observado en los sujetos de bajas tierras. La PaO<sub>2</sub> calculada es por otra parte más baja en los nativos de la altura con relación al grupo de tierras bajas. Esto correspondería a la conservación por parte de los nativos de la altura, durante su estancia en bajas tierras de una diferencia alveolo-capilar muy débil para el oxígeno compensando el alargamiento de la constante de tiempo alveolar debido al mantenimiento de su mayor capacidad residual funcional, a pesar de la reducción de la ventilación alveolar. A baja altitud ambos grupos tienen un similar débito ventilatorio, mostrando sin embargo los nativos de la altura una PaCO<sub>2</sub> más elevada.

Se estudiaron 17 personas normales nacidas y residentes a 3.800 m. de altura, luego trasladadas a un nivel de 420 m. durante 24 días de permanencia, se hizo un estudio comparativo con otro grupo de personas nacidas y residentes a una altura de 420 m. Los estudios que se hicieron fueron los siguientes:

Hematocrito:

Disminuye desde las primeras 24 horas, disminución que es progresiva hasta el 18o. día en que se estabiliza, conservando siempre un porcentaje mayor que en el grupo testigo.

Glóbulos Rojos:

Se produce un descenso progresivo hasta la tercera semana de permanencia con valores iguales a las que tiene el grupo testigo.

Hemoglobina:

Se aprecia un descenso progresivo guardando relación con el anterior parámetro.

Metahemoglobina: En los sujetos que viven a 3.800 m. se halla elevada (3.79 o/o), al llegar al llano disminuye hasta llegar a los mismos valores que tiene el grupo testigo.

Irrubina total:Bilirrubina total:

Se aprecia un descenso a partir de las 24 horas, alcanzando valores iguales a los que tiene el grupo testigo, hacia el 18o. día.

El volúmen corpuscular medio elevado se explicaría por el hecho de tener siempre un porcentaje mayor de hematocrito en relación al grupo testigo, con los valores de la hemoglobina y recuento de glóbulos que alcanzan los que tienen los testigos. El grado de "hidropsia" globular estaría ligado a una hipotonía plasmática (disminución de la concentración de sodio y potasio).

La disminución de la bilirrubina sugiere la posibilidad de la disminución de la eritropoyesis por caída de la concentración de eritropoyetina.

Las concentraciones de Na. y K son discretamente menores que las que tiene el grupo testigo.

Acido vanílico mandélico: El estudio realizado entre el 18o. y 19o. día, pone en evidencia la disminución de su concentración

17-21 deshidroxi 20 cetosteroides: Se aprecia una disminución progresiva, normalizándose el 19o. día.

Magnesio plasmático disminuído y magnesio eritrocitario aumentado.

Enero - Marzo 1974

IBBA

Orina:

Se aprecia una disminución poco significativa de la diuresis, que va relacionada con una elevación de la densidad.

**SUMARY** Seventeen normal natives to, and residents at an altitude of 3.800 m. above sealevel have been studied at their own environment (La Paz) and during a stay of 24 days at an altitude of 420 m. above sealevel at Santa Cruz. This group was compared to a test group of ten natives to, and residents at lowland (Santa Cruz).

During the spirometric study a significant decrease of the following parameters during their stay at the lowlands in comparison to the same parametes at high altitude was notes: minute ventilation, maximal minute ventilation and maximal expired volume during the first second. On the other hand no significant modification of vital capacity, residual functional capacity, residual volume nor calculated dead space was observed. At least during the period of study the debts decrease and the volumes, don't change i.e. the high altitude natives maintain at lowland the dead space, the residual functional capacity and the total pulmonary capacity which are greater than those of the lowlanders.

The study of arterial blood gases of the high altitude natives shows during their stay at lowlands an increased PaO<sub>2</sub> and PaCO<sub>2</sub>, being PaO<sub>2</sub> identical in both groups. On the other hand PaCO<sub>2</sub> is significantly higher in high altitude natives than in lowlanders. Calculated PaO<sub>2</sub> is lower in high altitude natives than in the lowlander group. It seems that high altitude native maintain a very weak alveolar arterial difference for oxygen during their stay at lowlands compensating the enlargement of the alveolar time constant due to their higher residual functional capacity in spite of the decrease of alveolar ventilation. At low altitude both groups have a similar minute ventilation but the high altitude natives show in increased PaCO<sub>2</sub>.

**Hematocrit:** Decreases progressively from the first 24 hours on and stabilizes on the eighteenth day maintaining a higher percentage than that of the test group.

**Erythrocytes.-** Decrease progressively until the third week values equal with the test group.

**Hemoglobin.-** A progressive decrease was observed in accordance with the parameters mentioned above.

**Methemoglobin.-** In the high altitude residents it is increased (3.79 o/o) But when they come to the lowlands it decreases and finally arrives at the same level which characterizes the test group.

**Total Bilirubin.-** After 24 hous a decrease is observed arriving at values equal to those of the test group about the eighteenth day.

The increased medium volume of corpuscles could be explained by the fact that high altitude natives have always a higher percentage of hematocrit than the test group has with hemoglobin values and a blood count wich approximate those of the test group.

The degree of globular "Hydrops" seems to be connected with plasmatic hypotonia (decrease of sodium and potassium concentration).

The decrease of bilirubin suggests the possibility of the decrease of the erythropoiesis on account of a decline of erythropoietin concentration.

The concentration of Na and K are slightly inferior than those of the test group.

**Vanillylmandelic acid.-** The study made during the eighteenth and nineteenth day reveals a decrease of its concentration.

17-21 dehydroxy-20-ketosteroids show a progressive decrease normalizing about the nineteenth day.

Plasmatic magnesium is decreased and erythrocytic magnesium is increased.

**Urine.-** An insignificant decrease of diuresis is observed together with an increase of density.