

NUESTRA EXPERIENCIA EN RESIDENTES PERMANENTES DE ALTURA: " CALIDAD DE LA ACLIMATACION "

RAIMUNDO SANTOLAYA B., LUIS SALAZAR C., MARIO SANDOVAL M.,
RAIMUNDO SANTOLAYA C. RUBÉN ALFARO T.

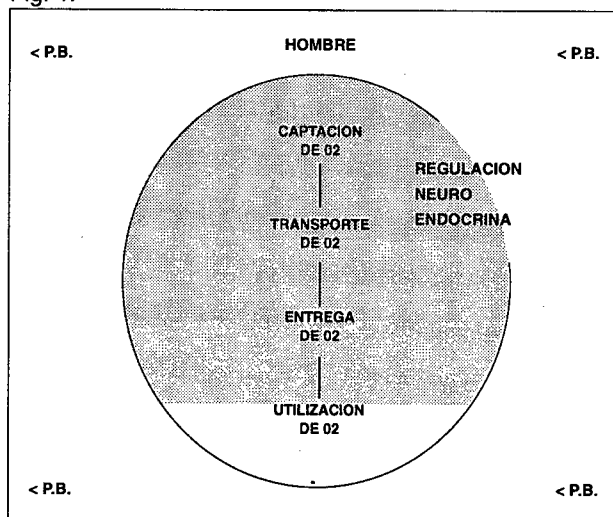
CENTRO DE INVESTIGACIONES ECOBIOLÓGICAS Y MÉDICAS DE ALTURA (CIEMA).
CODELCO- CHILE. DIVISIÓN CHUQUICAMATA.

El trabajo que presentamos muestra los resultados de algunos parámetros obtenidos por nuestro Centro desde 1977, y otros recogidos con anterioridad, trabajando entonces para la Universidad de Chile y apoyados por CORFO. El orden de la presentación pretende sistematizar nuestras investigaciones, en relación al concepto de **calidad de la aclimatación**, natural o adquirida, en grupos de residentes permanentes de altura.

Todos nuestros trabajos son programados y prospectivos, no utilizan datos de fichas clínicas, y en la mayoría de ellos se mantiene el seguimiento de las poblaciones estudiadas, añadiendo investigaciones complementarias. Aunque en algunos trabajos se persigan objetivos específicos, siempre se privilegia el estudio abarcador, existiendo un protocolo mínimo de investigación: historia y examen físico completos; antropometría; exámenes completos de sangre venosa; gases y equilibrio ácido-base en sangre arterial; Radiografía de Tórax; ECG de reposo y espirometría completa, lo que nos permite comparaciones cruzadas individuales o grupales.

En la Figura 1 enfatizamos la compleja ecuación hombre-altura, que obliga a una adecuada definición de sus elementos. Aunque existen otras características en los diversos ecosistemas de altura según su ubicación geográfica, que determinan el clima local (temperatura, humedad, régimen de lluvias, etc.), lo definitorio es el descenso de la presión barométrica y su consecuencia, la disminución de la presión inspirada de Oxígeno, dependientes del nivel de altura.

Fig. 1.



Las experiencias que hoy esbozamos se desarrollaron en la I y II Región de Chile (Tarapacá y Antofagasta), en asentamientos humanos ubicados a distintos niveles de altitud: pueblos del bofedal de Isluga (I Región, 3650 a 4100 m), con laboratorio ubicado en Colchane (3650 m.); Socaire, pueblo del Salar de Atacama (II Región, 3450 m.); Caspana (II Región, 3260 m), Ollagüe, pueblo ferroviario en el altiplano chileno-boliviano (II Región, 3818 m.); Aucanquilcha, mina de Azufre, (II Región, 5960 m.), con campamento en Amincha (4100 m.), vecino a Ollagüe; y Chuquicamata (2800 m), gran enclave minero de cobre de CODELCO-CHILE, ubicado en el desierto marginal de altura de la II Región en donde se encuentra nuestro laboratorio base.

Pero además del nivel de altura, es el hombre estudiado el que debe ser acabadamente definido: nativo o no de ella; desarrollo total o parcial en la altura; perteneciente o no a las razas andinas ancestrales, con mayor o menor apego al estilo andino tradicional; rural o urbano; pastor, agricultor o minero; residente permanente de altura o con descensos de frecuencia variable a tierras bajas o a la Costa.

Las poblaciones estudiadas en Isluga, Ollagüe, Socaire, Caspana y Aucanquilcha responden a la definición de nativos andinos indígenas con desarrollo total en la altura y residencia permanente en ella. Sin embargo, sus estilos de vida y actividades son diversas: Isluga, pastores nómadas y agricultores; Caspana y Socaire agricultores atacameños tradicionales; Ollagüe, funcionarios municipales y del ferrocarril, agricultores, trabajadores de las Borateras de Ascotán; Aucanquilcha, mineros del Azufre.

Los escolares de Chuquicamata estudia los son todos nativos con desarrollo total en la altura y residencia casi permanente en ella, pero ajenos casi en su mayoría a la razas andinas y con un fuerte mestizaje indoeuropeo. Su estilo de vida es occidental, en un ambiente con niveles variables de contaminación ambiental. Los adultos de Chuquicamata son un grupo heterogéneo de trabajadores o familiares residentes casi permanentes de altura, en un 60% nativos de ella, con clara definición de su actividad laboral (mineros y no mineros). Este grupo presenta un fuerte mestizaje, característico de las poblaciones del Norte de Chile. Su estilo de vida es el propio de un enclave minero y su nivel económico social es muy superior a los estándares nacionales, particularmente en lo referido a cobertura de salud. El grupo de Chuquicamata corresponde a residentes permanentes de altura, situación distinta a la que ocurre con los hombres que laboran en muchos enclaves mineros, habitualmente residentes a nivel del mar y que acceden a la altura por períodos variables: diariamente, 4 días en altura y 4 a nivel del mar, y otros modelos.

La aclimatación natural, individual o racial, o la adquirida por muchos años de residencia en la altura, es un proceso holístico, integral. No se juega a un sólo parámetro, sino que es un mosaico de variaciones delicadas, con tendencias genéricas y variables individuales, que aportan sus cuotas para mejorar la eficiencia de todo el organismo en su exigente hábitat, y es, como decía Hurtado⁽¹⁰⁾ "probablemente en los niveles moleculares, bioquímicos, celulares y tisulares donde se encuentran los aspectos más importantes de este eficiente comportamiento", englobadas en una particular integración neuroendocrina.

En el hábitat de altura todo el hombre se modifica, pero los cambios más relevantes y mejor conocidos ocurren en el "sistema respiratorio", entendiéndose por tal todas las estructuras y funciones vinculadas directamente con la respiración⁽²⁰⁾, proceso bioquímico y celular, generador de energía para la vida, dependiente del aporte de oxígeno. La respiración, utilización de O₂ y depuración de CO₂, es vital para todas las células del organismo y ocurre en la intimidad de su citoplasma y organelos. Este proceso fundamentalmente vinculado a la mitocondria, es un concepto que es necesario enfatizar cuando se analiza la aclimatación y/o adaptación a la altura. El sistema respiratorio, así planteado, puede sistematizarse en los siguientes niveles:

1. **Captación de Oxígeno** : El factor tórax-corazón-pulmón, bajo regulación ventilatoria neurohumoral.
2. **Transporte de Oxígeno** : Sangre-circulación.
3. **Entrega Tisular de Oxígeno** : Capilarización-intersticio.
4. **Utilización celular de Oxígeno** : Mitocondria.

La dificultad de investigar los niveles tisulares hacen que la mayoría de los estudios se refieran a los niveles de captación y transporte de O₂. Estas investigaciones, generalmente puntuales, pretenden muchas veces interpretar y explicar la globalidad del proceso oculto a través de la punta visible de un iceberg.

Finalmente, los análisis se realizan utilizando los valores promedios de las poblaciones estudiadas, lo que muestra tendencias grupales, pero la dispersión respecto de esta cifra obliga a recordar que la aclimatación es un proceso individual, con equilibrios particulares en cada caso.

En este resumen destacaremos los parámetros más importantes de nuestros estudios.

CAPACIDAD VITAL

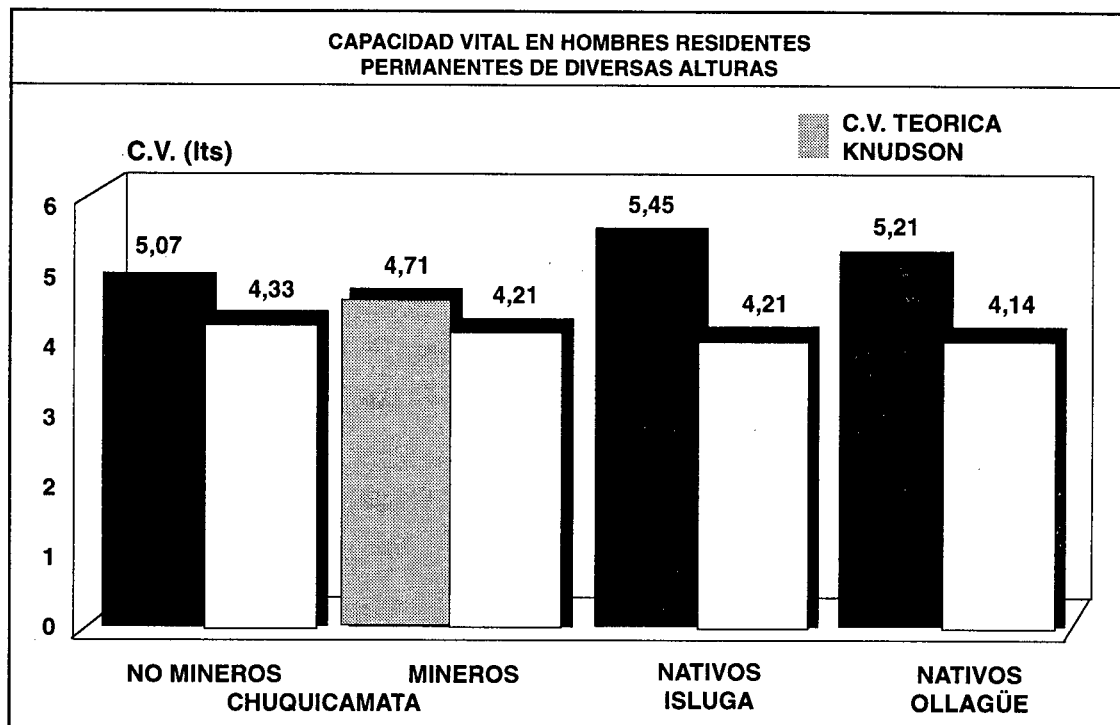
En 4 poblaciones adultas de sexo masculino estudiadas, constituidas por residentes permanentes de Chuquicamata, (trabajadores mineros y no mineros), Isluga y Ollagüe, los valores de Capacidad Vital (C.V.) superaron ampliamente las cifras consideradas normales a nivel del mar (teórico de Knudson, según talla y edad para cada caso)^(11, 17). Los grupos presentaban un rango amplio de edades a excepción de los nativos de Ollagüe que eran menores de 40 años. Los valores promedios se entregan en la Tabla 1 y Figura 2.

TABLA N° 1

CAPACIDAD VITAL (ml BTPS Y COMO % DEL VALOR TEORICO DE KNUDSON) EN POBLACIONES RESIDENTES PERMANENTES DE DIVERSAS ALTURAS.

	n	C.V. ml BTPS	C.V. % Knudson	D.E.
Chuquicamata				
No Mineros	276	5070	117.1	13.9
Mineros	132	4710	111.3	13.2
Isluga	57	5450	129.5	12.7
Ollagüe	33	5210	126.0	11.8

Fig. 2



Hallazgos similares se encontraron en 2 poblaciones de mujeres adultas normales:

	n	C.V. ml BTPS	% Knudson	D.E.
Chuquicamata	327	3610	116,5	13.2
Isluga	423	790	121,6	15.0

Al comparar el grupo de mineros de Chuquicamata con los no mineros entre los 30 y 69 años, cuyas tallas y edades eran similares, se observó una C.V. significativamente mayor en los no mineros ($p < 0.0005$). Esta diferencia se evidenció en todos los decenios de edad ($p < 0.0001$), con un deterioro progresivo con la edad, mayor en los mineros. El grupo minero está constituido por trabajadores normales de la fundición y concentradora del mineral de Chuquicamata, reiterando que no obstante el deterioro de su Capacidad Vital respecto de los no mineros, ésta sigue siendo francamente superior a la norma internacional de nivel del mar.

Estos valores elevados de C.V. forman parte de un incremento de la Capacidad Pulmonar Total (C.P.T.) de los residentes permanentes de altura y de sus nativos. Esto se ratificó en un grupo de 45 hombres nativos residentes de Chuquicamata que presentaron los siguientes valores promedios: C.V. 128% respecto de Knudson, Ventilación Voluntaria Máxima (V.V.M.) 141% y una C.P.T. de 7520 ml BTPS (130% del teórico), con un Volumen Residual (V.R.) aumentado, estudiado con la técnica del Helio: V.R./C.P.T. 106%.⁽²¹⁾

Finalmente al comparar los nativos de Ollagüe con nativos del Nepal residentes a 3.800 y 3.700 m respectivamente, con tallas y edades similares, los valores de C.V. no demostraron diferencias significativas (5195 y 5250 ml BTPS respectivamente), pero el volumen calculado del tórax fue significativamente superior en los nativos de Ollagüe ($p < 0,0045$).⁽²⁾

CAPACIDAD DE DIFUSION PULMONAR

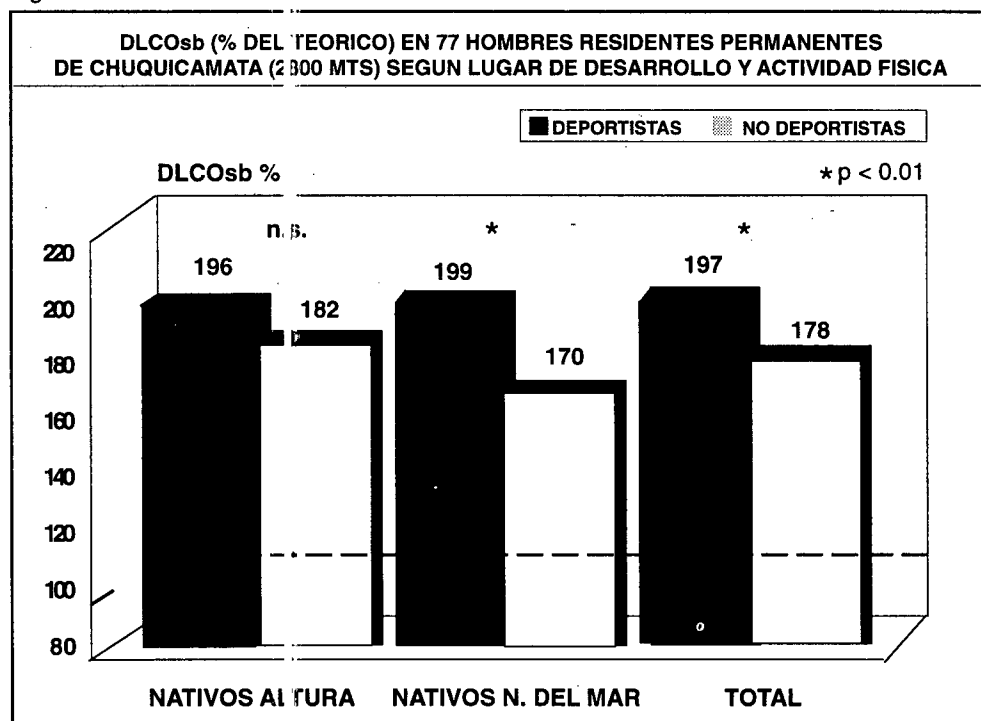
La Difusión Pulmonar (DLCO) fue estudiada en 77 hombres (edad promedio 36.8 años, rango 18-73) y 20 mujeres (edad promedio 32 años, rango 13-47) residentes permanentes de Chuquicamata. La muestra de hombres corresponde a trabajadores y ex-trabajadores del mineral de Chuquicamata, sin descartar a los fumadores, siendo 22 de ellos deportistas con entrenamiento habitual (ciclistas y andinistas).⁽²¹⁾

El estudio se realizó en un equipo Collins DL 520 computarizado, que incluyó el estudio completo en cada caso: Volumen residual, capacidad pulmonar total, etc. Los valores de DLCO reales, según la técnica de la respiración única (sb), consideraron la corrección para hemoglobina según Dajakara. La fórmula de Ferris utilizada por el computador del equipo introduce el factor presión barométrica. Los resultados se expresan en unidades absolutas ml/min/mm Hg y como porcentaje del valor teórico según Gaensler.

	DLCO ml/min/mn Hg	% Gaensler	rango
Hombres	55.0	183	133 - 260
Mujeres	42.4	198	149 - 264

Se dividió el grupo de hombres entre nativos de altura con desarrollo total en ella (45) y los de desarrollo a nivel del mar (32) sin que hubiera d.e.s en sus valores de DLCO expresados como porcentaje del valor teórico (184% y 183% respectivamente). Al dividir el grupo total entre los deportistas (22) y el resto (55) se observó una d.e.s ($p < 0.01$) en la DLCO (197% y 178% respectivamente). Esta diferencia se debió fundamentalmente al hallazgo de DLCO significativamente mayores ($p < 0.01$) en los sujetos deportistas con desarrollo a nivel del mar ($n = 14$; DLCO 199%) respecto de los no deportistas con desarrollo a nivel del mar ($n = 18$; DLCO 170%) (Figura 3).

Fig. 3



Estos resultados demuestran que todos los residentes permanentes estudiados en Chuquicamata poseen DLCO muy superiores a los considerados normales a nivel del mar y que en ellos el entrenamiento físico sistemático aumenta la DLCO, alcanzando niveles muy significativos en particular en los que hicieron su desarrollo a nivel del mar. Este hallazgo avalaría la práctica de ejercicio físico en la altura para lograr una mejor calidad de aclimatación, especialmente en el nacido y desarrollado a nivel del mar.

Es atinente recordar aquí que el incremento de la DLCO en el residente permanente de altura no se debe exclusivamente a un factor de membrana (mayor superficie con un intersticio más fino) sino que también al componente de difusión intracapilar que es proporcional al volumen de sangre en los capilares pulmonares.

Los hallazgos señalados a nivel pulmonar deben interpretarse asociados a lo relatado por otros autores: discretas a moderadas elevaciones de la presión de arteria pulmonar (Peñaloza; Cerro de Pasco 4320 m)⁽¹⁴⁾ (Cudkowicz; La Paz 3600 m)⁽⁹⁾; mejoría del cociente ventilación-perfusión de vértice a base (Cudkowicz), debido a la hiperventilación clásica del hombre de la altura en equilibrio con la hipertensión pulmonar descrita.

Por lo tanto el pulmón del nativo residente permanente de altura posee características que le permiten enfrentar mejor su rol de capacitación e intercambio de Oxígeno, siendo clásico el estudio de Velásquez⁽²⁵⁾ que demuestra que la gradiente alvéolo-arterial de oxígeno en Morococha (4650 m) es apenas de 1 a 2 mm Hg, comparada con 6.5 o más a nivel del mar.

GASES Y EQUILIBRIO ACIDO-BASE EN SANGRE ARTERIAL

Estos parámetros, tan relevantes en los estudios de altura, fueron evaluados en diversos grupos de hombres y mujeres normales residentes permanentes de altura⁽¹⁹⁾:

Lugar	n	Edad Promedio (años)	rango
Chuquicamata 2800 mts.			
Hombres No Mineros	314	40	18 - 77
Hombres Mineros	130	43	30 - 59
Mujeres	396	38	16 - 76
Nativos Indígenas			
Ollagüe 3818 mts.	18	25	16 - 37
Aucanquilcha 5960 mts.	6	32.8	19 - 54

El grupo de Aucanquilcha corresponde a trabajadores de la mina azufrera de Aucanquilcha, que laboran a 5960 m., lugar donde se realizaron las muestras de sangre arterial. Estos trabajadores residían en el campamento de Amincha a 4100 m. y subían diariamente a sus faenas en la cumbre.⁽¹⁸⁾

En la Tabla 2 y Figura 4 se resumen los valores promedio y la desviación estándar entre parentesis de los parámetros más importantes: pH, presión arterial de oxígeno (PaO₂ en mm Hg), presión arterial de anhídrido carbónico (PaCO₂ en mm Hg) y exceso de base (B.E. en mmol/lit). En este resumen no se anotan los demás parámetros estudiados, ni la distribución según grupos etarios.

TABLA N° 2

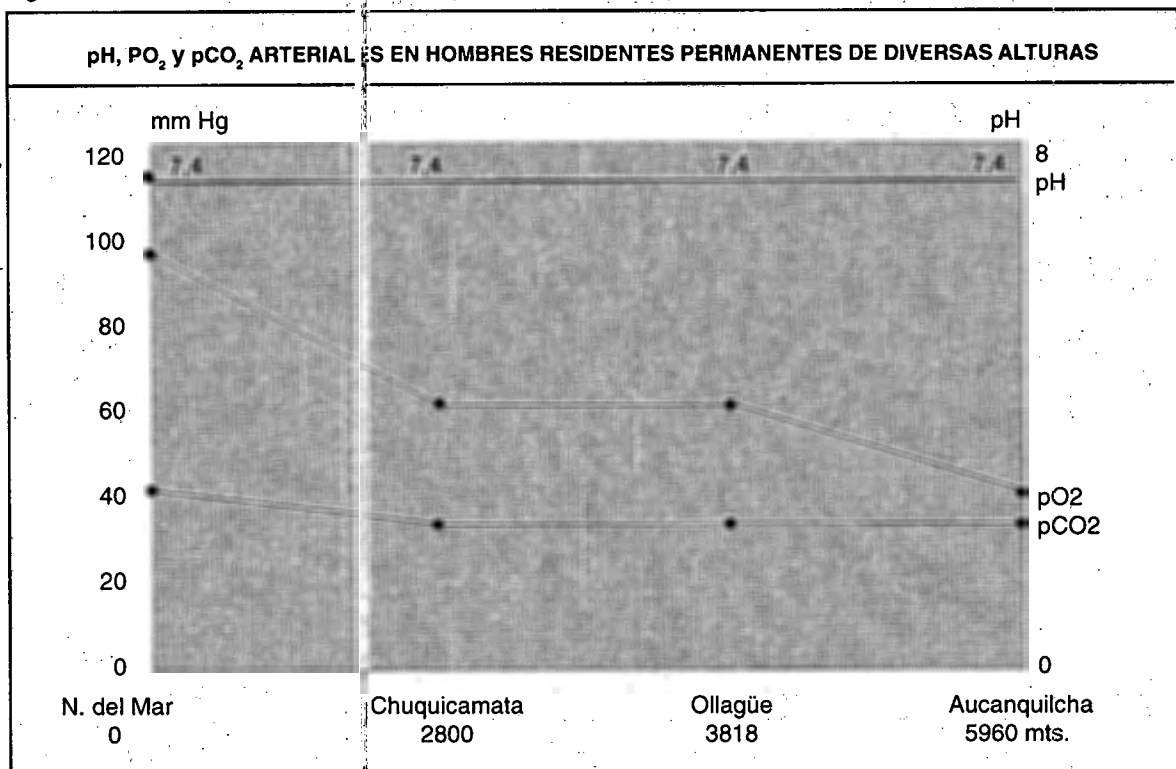
VALORES PROMEDIO DE pH, PaO₂, PaCO₂ Y B.E. ARTERIALES EN RESIDENTES PERMANENTES DE DIVERSAS ALTURAS.

Lugar	pH	PaO ₂	PaCO ₂	B.E.
Chuquicamata				
No Mineros	7.4 (0.018)	61.1 (4.2)	29.5 (2.2)	-4.8 (-1.45)
Mineros	7.4 (0.021)	60.9 (4.8)	28.3 (2.4)	-5.4 (-1.48)
Mujeres	7.4 (0.019)	61.4 (4.8)	28.35 (2.5)	-5.5 (-1.44)
Ollagüe	7.4 (0.022)	58.0 (4.2)	29.4 (3.2)	-5.2 (-1.69)
Aucanquilcha	7.4 (0.029)	34.5 (3.4)	27.6 (2.4)	-5.9 (-1.0)

Entre los muchos comentarios que se deducen de esta experiencia deseamos destacar lo siguiente:

1. Todos los grupos presentaron un pH similar, idéntico al normal de nivel del mar, lo que es concluyente para definir su condición de perfecto equilibrio con el medio ambiente de altura.
2. Los niveles de presión arterial de oxígeno presentan significativas diferencias entre los grupos, dependiendo de la altura de residencia. Todos los individuos estudiados realizaban vida normal sin limitaciones de actividad física, a pesar de poseer valores de PaO_2 muy inferiores a los normales de nivel del mar. Ello es particularmente impactante en los trabajadores de la mina de Aucanquilcha, quienes realizaban trabajo pesado a 5960 m con PaO_2 promedio de 34.5 mm Hg en reposo (rango 30-39), valores que a nivel del mar son casi incompatibles con la vida. Podemos concluir que cuando se trata de residentes permanentes de altura, la PaO_2 baja refleja el impacto del descenso de la presión barométrica por un lado y el ahorro de gradiente a nivel pulmonar por otro: Sin embargo, no indica necesariamente que exista hipoxia a nivel celular, puesto que existen fundamentales modificaciones en las etapas siguientes del sistema respiratorio, que aseguran un aporte satisfactorio de O_2 a nivel mitocondrial.
3. La PaCO_2 no mostró diferencias significativas entre los grupos residentes en las diversas alturas, inclusive después de la corrección etaria, presentando todos ellos valores francamente inferiores a los considerados normales a nivel del mar (Figura 5). Sin embargo, existió diferencia significativa en el promedio de la PaO_2 , entre los residentes de Chuquicamata respecto de los de Ollagüe. Ello refleja el distinto patrón ventilatorio del residente permanente de altura, que presenta una mayor ventilación alveolar respecto de la fisiología de nivel del mar. Sin embargo, es sorprendente que la ventilación alveolar reflejada en la PaCO_2 , no presente en estos residentes permanentes de altura un descenso proporcional al nivel de altitud.
4. Todos los grupos estudiados presentaron valores promedios negativos de B.E., sin llegar a 0 en ningún individuo (Figura 6). Este hecho, unido a los antes expuestos representa un patrón característico del residente permanente de altura que mirado desde la fisiología de nivel del mar se le rotulaba como una alcalosis respiratoria (PaCO_2 baja) compensada completamente (pH 7.4) por una acidosis metabólica (B.E. negativo ó déficit de base).

Fig. 4



TRANSPORTE DE OXIGENO

El transporte de Oxígeno depende de la cantidad y calidad de la hemoglobina y del débito cardíaco, y, obviamente, de la cantidad de oxígeno disuelto en el plasma, que se equilibra con el Oxígeno transportado por la hemoglobina. Esta

Fig. 5

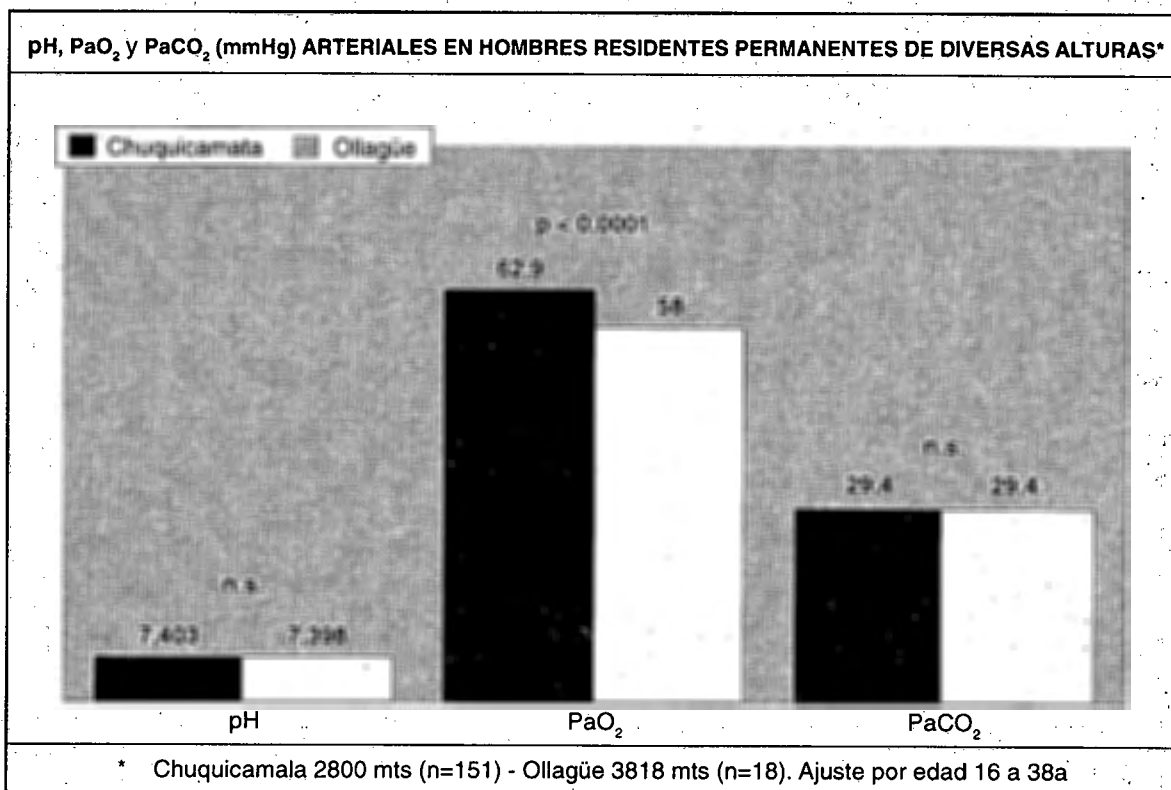
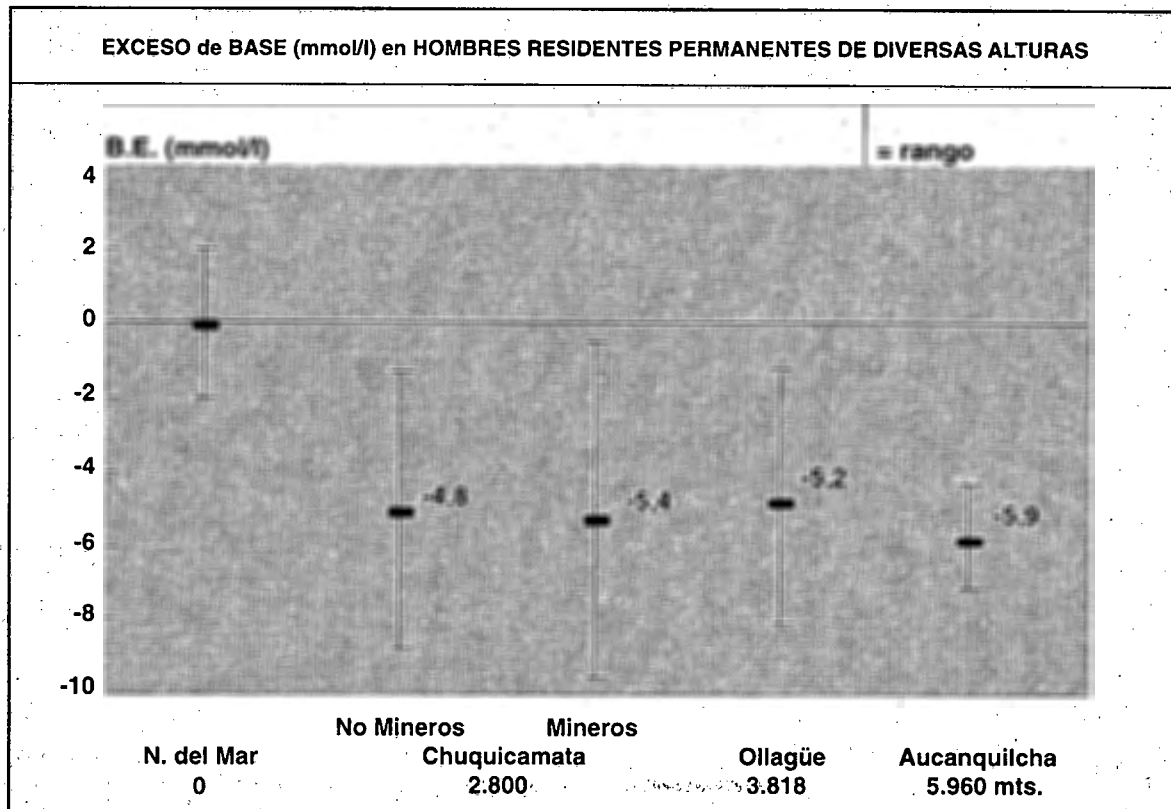


Fig. 6



relación está dada por el particular comportamiento de la curva de disociación de la hemoglobina, que se modifica, como es bien conocido, por numerosos factores fisiológicos y patológicos. En la altura, ya Hurtado⁽⁹⁾ describió la desviación a la derecha de esta curva, que años después Torrance⁽²³⁾ y Lenfant⁽¹²⁾, demostraron era debida al incremento del 2,3 DPG del glóbulo rojo. Los estudios realizados en residentes permanentes de altura han demostrado que el débito cardiaco es semejante al observado en residentes de nivel del mar.

En todas nuestras investigaciones realizamos sistemáticamente la evaluación de hemoglobina, macro y microhematocrito. En este resumen sólo nos referimos a los valores de microhematocrito dado que en las primeras investigaciones (pueblos del Bofedal de Isluga. Socaire) fue el único parámetro analizado.

En la Tabla N° 3 entregamos los resultados de microhematocrito en poblaciones de hombres residentes permanentes de diversas alturas⁽¹⁶⁾:

TABLA N° 3.
MICROHEMATOCRITO (%) EN HOMBRES NORMALES RESIDENTES PERMANENTES DE DIVERSAS ALTURAS

Lugar	Altura m	n	Prom. %	D.E.	Rango %	
Chuquicamata	2800	-Escolares	78	48.1	3.1	41.0-55.3
		-No Mineros	359	52.4	3.4	41.8-63.8
		-Mineros	138	52.1	3.3	41.5-61.0
Caspana	3200	42	52.4	4.0	45.3-70.0	
Socaire	3400	21	49.2	3.1	44.0-56.5	
Isluga	3600-4100	62	47.9	3.6	37.0-55.0	
Ollagüe	3800	29	53.2	4.7	46.7-64.0	
Aucanquilcha	4100-5900	6	62.0	7.3	54.0-75.0	

Existe la tendencia a asumir, como hecho inexorable y dogmático, el alza del hematocrito en forma proporcional a la altura de la residencia. En nuestra opinión esta visión ha "hipertrofiado" el rol del hematocrito en la aclimatación a la altura, desconociendo o subvalorando otras modificaciones. Además, ha pretendido correlacionar en forma matemática, el valor del hematocrito para una altura determinada sin definir la población estudiada, sus particulares hábitos y estilo de vida, como asimismo las condiciones de su medio ambiente.

Nuestros estudios de poblaciones nos han llevado a plantear, desde hace muchos años, que en un mismo nivel de altura se encuentra una fuerte dispersión de los valores de hematocrito en los individuos estudiados y que los mejor aclimatados no son aquellos que poseen los valores más altos del mismo.

De los datos anotados en la Tabla N° 3 resulta destacable que los nativos indígenas del Altiplano de Isluga, que representan el modelo ancestral de pastores nómadas, poseen valores de Hto similares a los de nivel del mar e inferiores a los encontrados en Chuquicamata ($p < 0.001$), que residen 1000 m más abajo, aunque con modelo de vida distinto y expuestos a contaminación ambiental (Figura 7). Reafirma nuestra tesis de que se trata de un grupo de óptima aclimatación, los resultados obtenidos en la prueba de ejercicio máximo que se comentarán más adelante.

PRUEBA DE EJERCICIO MAXIMO

De todas las actividades que puede realizar un individuo, la actividad muscular (ejercicio físico) es la de mayor gasto energético y por lo tanto, la que demanda un mayor consumo de Oxígeno. La prueba de ejercicio máximo es la única evaluación fisiológica que permite valorar la función integral del sistema respiratorio antes descrito, tanto a nivel del mar como en la altura. Esta prueba, que obliga a la medición de múltiples parámetros para una interpretación adecuada, refleja tanto la normalidad o

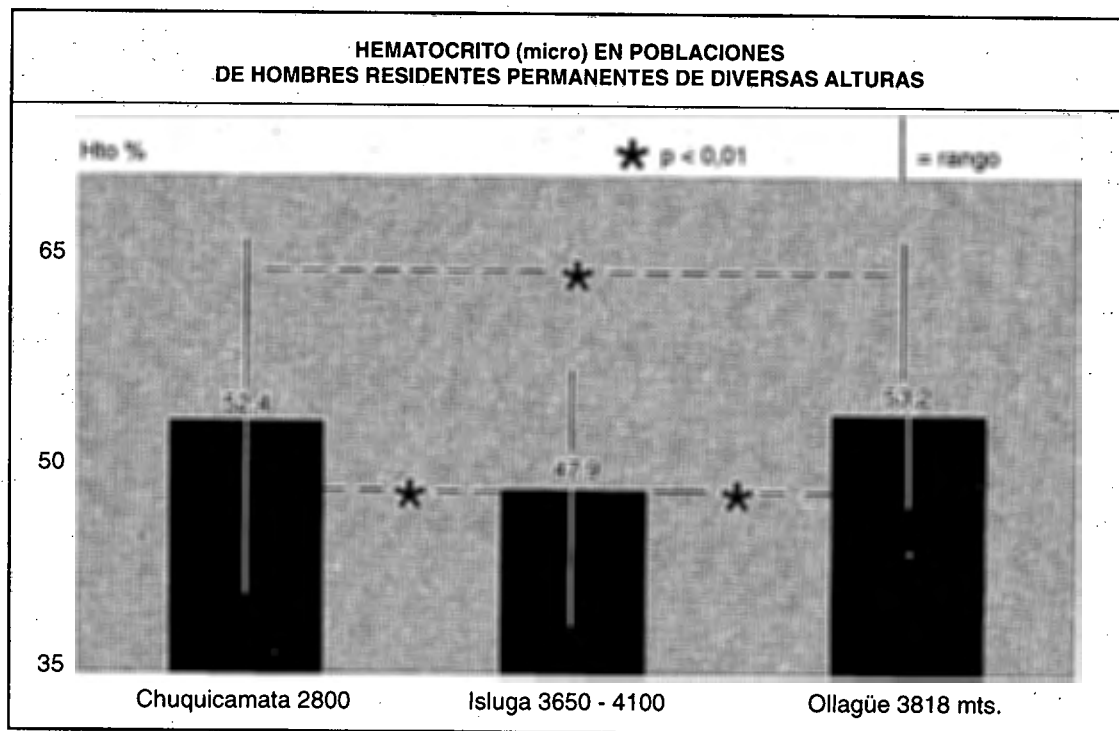
deterioro de los niveles antes analizados en este resumen (captación y transporte de Oxígeno) como los niveles tisulares y celulares a cuya intimidad no nos referiremos. Mencionaremos 2 ejemplos para destacar la trascendencia de estos niveles tisulares: el incremento de la mioglobina en los nativos residentes permanentes de altura (Hurtado 1937)⁽¹⁷⁾ y el franco incremento de la capilarización en tejido muscular demostrada en diversas poblaciones de nativos de altura⁽²⁴⁾. Estas modificaciones aseguran un aporte de oxígeno mitocondrial más abundante y eficiente que el que podría inferirse a partir de los valores de PO₂ arterial, analizada con criterio de nivel del mar.

En nuestra rutina la prueba de ejercicio máximo contempla la medición de frecuencia cardíaca (F.C.), frecuencia respiratoria, volumen espirado, consumo de Oxígeno (VO₂), eliminación de anhídrido carbónico, cuociente respiratorio y rendimiento (W expresado en Watt). A estas mediciones realizadas en cada carga se agrega la medición de ácido láctico venoso al comenzar y finalizar la prueba. El objetivo fundamental de nuestro protocolo es la medición directa, a nivel del máximo trabajo realizable (W Máx), de todos estos parámetros, fundamentalmente de la F.C Máx alcanzada y del consumo de Oxígeno máximo (VO₂ Max) o capacidad aeróbica.

Una capacidad aeróbica disminuida puede deberse a una enfermedad en cualquiera de los niveles del sistema (enfermedad bronquial obstructiva; estenosis mitral, anemia, etc..) o a una mala "adecuación física" ("fitness") (obesidad, sedentarismo). En la altura, la disminución de la misma puede deberse también a una mala aclimatación a ella en el residente permanente y, al impacto agudo hipóxico, en el recién llegado.

En la Tabla N° 4 se anotan los valores promedio más importantes y la desviación estándar () obtenidos en 24 nativos indígenas de Isluga y en 20 de Ollagüe; en 25 choferes de extracción de Chuquicamata y en 21 trabajadores de Chuquicamata que practican deporte competitivo en forma habitual^(15,22).

Fig. 7



Durante el desarrollo de la conferencia se analizó en detalle, en numerosas diapositivas, el comportamiento de los diversos parámetros entre los grupos estudiados y los valores considerados normales por Astrand a nivel del mar⁽¹⁾.

De nuestras experiencias resulta evidente que los nativos indígenas estudiados en el bofedal de Isluga y en Ollagüe, residentes permanentes en un nivel de altura semejante (alrededor de 3800 m.), ostentan valores de consumo de Oxígeno máximo (VO₂ Máx) similares a los considerados normales por Astrand en poblaciones sanas de nivel del mar. Cifras semejantes se obtuvieron en trabajadores deportistas de Chuquicamata que residen 1000 metros más abajo. Sin embargo, el grupo de choferes de extracción del mineral de Chuquicamata muestra valores promedio muy inferiores tanto en términos absolutos como por Kg de peso. Como se aprecia en las figuras 8 y 9, los nativos de Isluga presentan escaso deterioro de su VO₂ Máx con la edad, comportamiento muy distinto al observado en los choferes. Como señalamos con anterioridad, el grupo de nativos de Isluga presentaba valores de hematocrito similares a los de nivel del mar, lo que

asociado a los valores de consumo de O₂ obtenidos reflejan su excelente estado de aclimatación. Si este hematocrito "bajo" hubiera correspondido a "anemia" por carencias nutricionales, esta condición habría impedido alcanzar este rendimiento a ese nivel de altura.

TABLA N° 4
ALGUNOS PARAMETROS OBTENIDOS EN PRUEBA DE EJERCICIO MAXIMO
EN RESIDENTES PERMANENTES DE DIVERSAS ALTURAS.

	CHUQUICAMATA		ISLUGA	OLLAGÜE
	Choferes	Deportistas	Nativos	Nativos
Edad años	40.1 (6.7)	32.4 (9.8)	30.8 (10.6)	26.4 (6.0)
Indice P/T (%)	119.3 (11.1)	106.0 (9.9)	94.2 (6.9)	97.6 (12.1)
VO ₂ Máx ml/minSTPD	230 (40)	3020 (518)	2664 (257)	2300 (300)
VO ₂ Máx ml/min/Kg	29.1 (5.6)	43.3 (8.0)	44.8 (4.8)	43.8 (9.5)
W Máx Watt	161 (24)	229 (31)	195 (12)	
W Máx Watt/Kg	2.1 (0.3)	3.3 (0.53)	3.3 (0.25)	
FC Máx	171 (12.3)	179 (9.4)	179 (10.3)	

Fig. 8

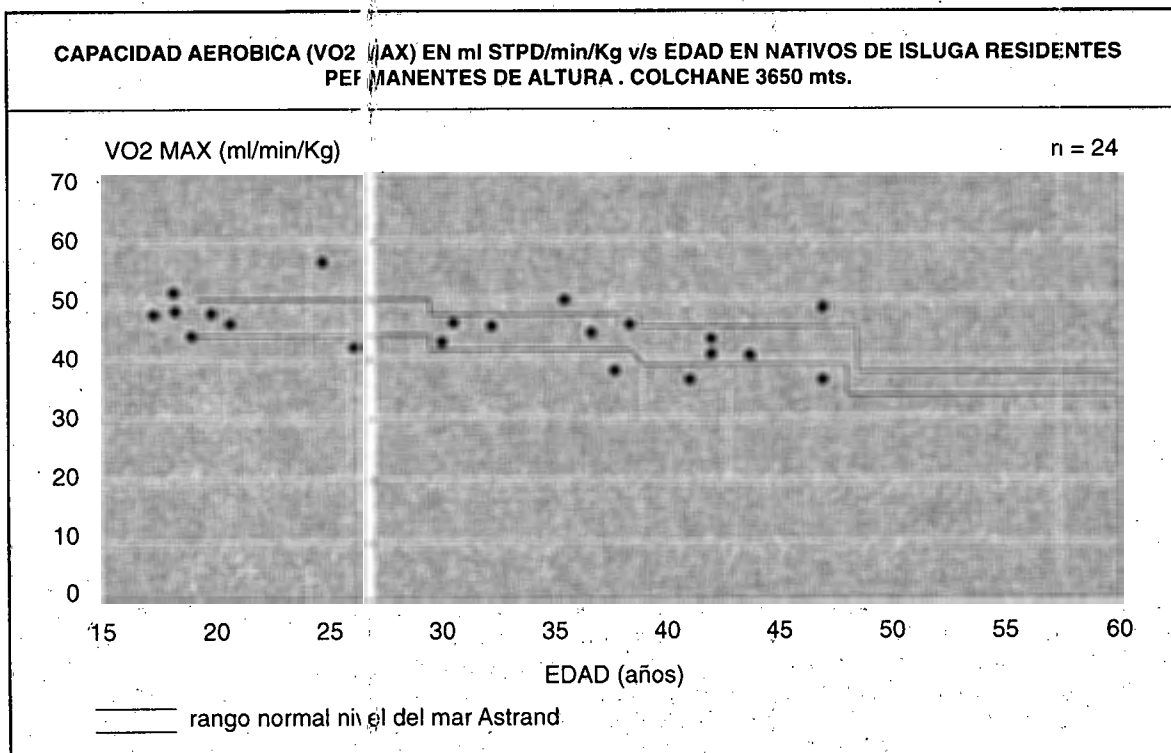
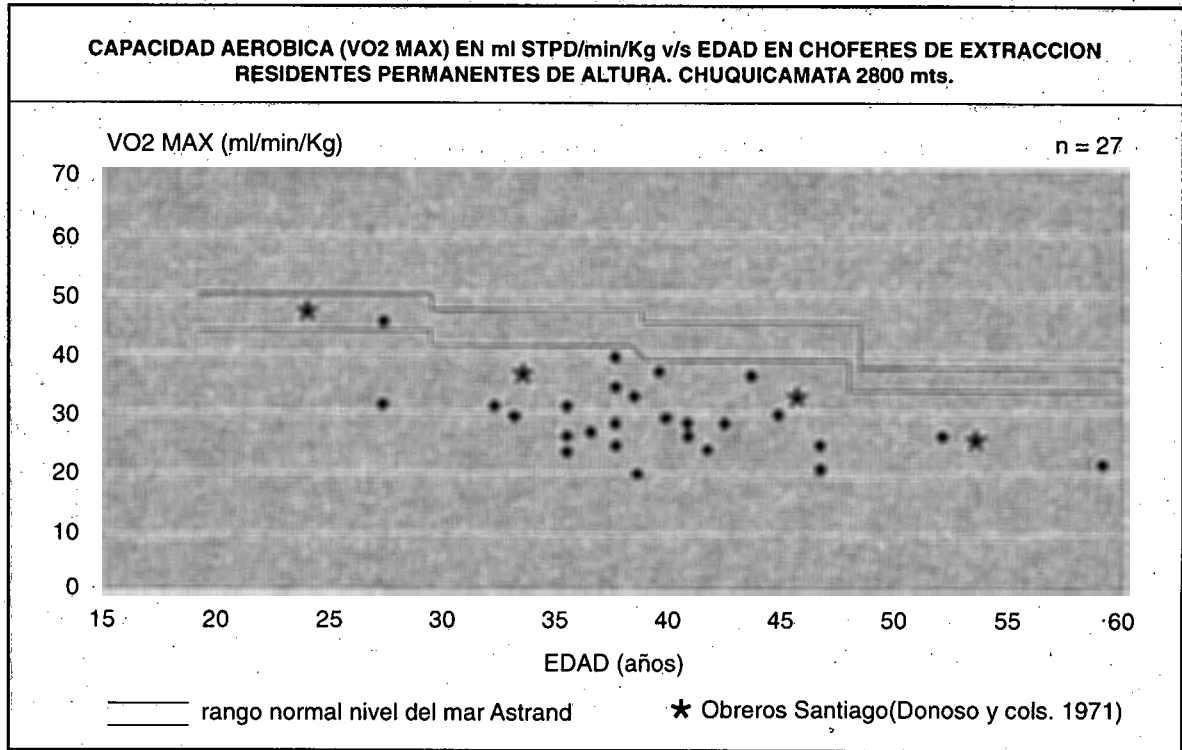
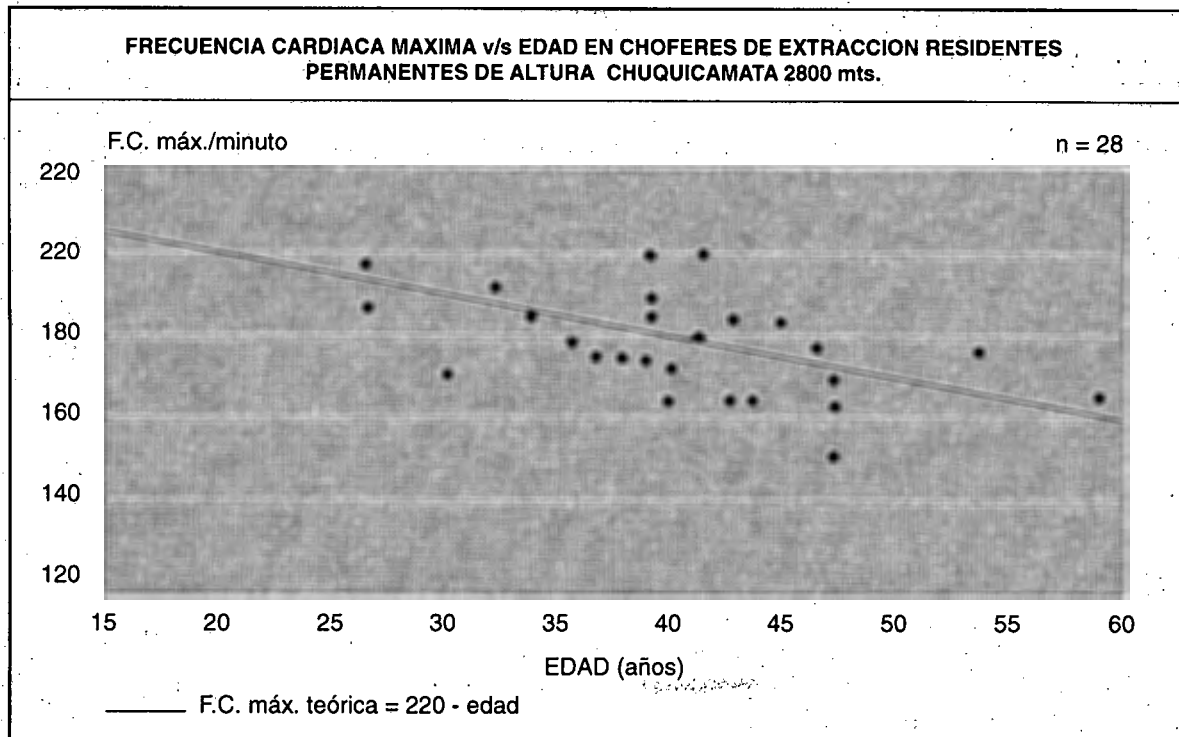


Fig. 9



En el grupo de choferes (Figura 9) la mala capacidad aeróbica no es imputable a la residencia en altura (impacto hipóxico), dado los valores descritos en los grupos de nativos del Altiplano y en los trabajadores de Chuquicamata que realizan actividad física sistemática. La deficiente capacidad aeróbica de los choferes se explica por su mala adecuación física, debida a su sedentarismo extremo y a sus malos hábitos de alimentación. Esta condición, su mala capacidad aeróbica, es compartida con trabajadores chilenos de Santiago, como quedó demostrado por Donoso⁽⁵⁾ y cols. (4) y cuyos valores promedio según grupo

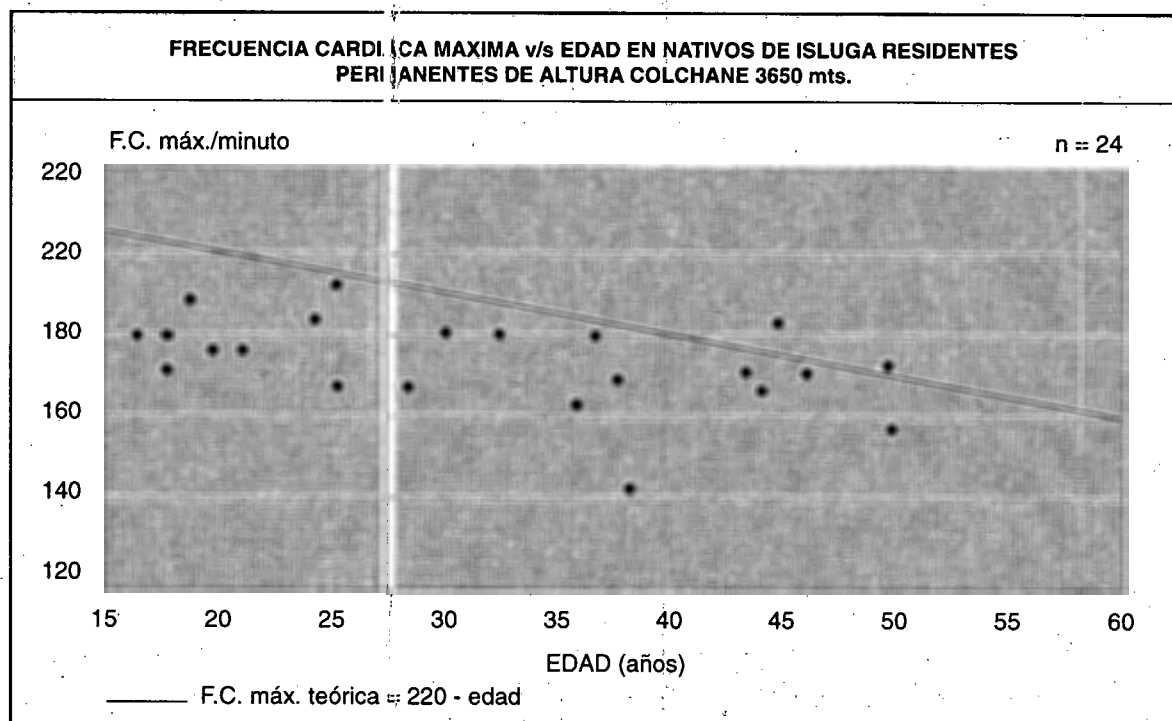
Fig. 10



etario se inscriben en la Figura 9. Los deleñeros hábitos de vida de los choferes se reflejan también en sus valores de Índice peso/talla (Índice P/T), cuyo promedio está francamente alterado (119.3%), respecto de los demás grupos. En su oportunidad, realizamos un estudio antropométrico completo (peso, talla, masa grasa, perímetro muscular braquial) en los 437 choferes de extracción demostrando en el 64 % de ellos, niveles de sobrepeso y obesidad, asociado a un incremento progresivo de su masa grasa con la edad, lo que no ocurrió con los nativos indígenas.

Finalmente en la Figura 10 se demuestra que el comportamiento de la frecuencia cardíaca máxima en relación a la edad fue similar al de nivel del mar en los sujetos de peor rendimiento (choferes). En los nativos indígenas las frecuencias cardíacas máximas tendieron a valores inferiores a los de nivel del mar, fundamentalmente en las poblaciones más jóvenes y con mejores rendimientos (Figura 11). Este comportamiento impide la aplicación del nomograma de Astrand en estas poblaciones, para la medición de la capacidad aeróbica en forma indirecta, a partir de pruebas submáximas.

Fig. 11



Nuestra experiencia nos ha llevado a plantear que la óptima calidad de aclimatación a "las alturas habitables" (Monge Medrano)⁽¹³⁾, se encuentra en los nativos indígenas, apegados a su estilo de vida ancestral. Todo ello obliga a proseguir las investigaciones globales en el hombre andino cuya perfecta aclimatación se identifica también con las particularidades de su estilo de vida tradicional que, en lo substancial, debería imitarse en los residentes permanentes de altura de asentamientos mineros o no mineros.

El progresivo desarrollo de la minería en alturas cada vez mayores plantea numerosas interrogantes tanto fisiológicas como relativas a la salud, calidad de vida y productividad de esos trabajadores. Estas poblaciones, habitualmente de nivel del mar, son sometidas a un modelo de residencia intermitente en la altura y con estilos de vida que en conjunto representan la antípoda del equilibrio alcanzado por el nativo andino.

El estudio global, sistemático y el seguimiento de estas poblaciones representan un reto para la investigación actual, contando con la fisiología del nativo andino como referente insustituible para una evaluación adecuada de la calidad de su aclimatación⁽⁹⁾.

REFERENCIAS:

- 1.- Astrand, P. O., 1960. Aerobic capacity in men and women with the special reference to age. *Acta Pysiol. (suppl. 169)*.
- 2.- Blume, F. D., Santolaya, R., Sherpa, M., C.C., 1988. Antropometric and lung volume measurements in Himalayan and Andean natives. *FASES J. 2 (5): A 1281*.
- 3.- Cudkowicz, L., 1970. Mean pulmonary artery pressure and alveolar oxygen tension in man at different altitudes. *Respiration 27: 417- 430*
- 4.- Dinakara, P., Blumenthal, RF., Johnston, RF., Kauffman, LA., 1970. The affect of anemia on pulmonary diffusing capacity with derivation of a correction equation . *Am. Rev. Respir. Dis. 102:965-969*.
- 5.- Donoso, H., y cols., 1971. Capacidad aeróbica como índice de adecuación físicas en muestras de poblaciones (urbanas y nativas de altura) y en un grupo de atletas de selección. *Rev. Med. Chile. 99:719*.
- 6.- Gaensler, EA., Smith , AA., 1973. Attachment for automated single breath diffusing capacity measurement. *Chest 63:136-145*
- 7.- Hurtado, A., 1937. Aspectos fisiológicos y patológicos de la vida en la altura. *Rimac: 52*.
- 8.- Hurtado, A., 1963. Natural acclimatization to the high altitudes: resident man. In: Cunningham, D. J. C., Lloyd, B. B. eds. *The regulation of human respiration*. London: Blackwell Scientific Publications. pp 71-82.
- 9.- Hurtado, A., 1964. Animals in high altitudes: resident man. In: Dill, D. B., Adilph., E. F., Wilber, C. G., eds. *Handbook of Physiology. Adaption to the environment*. Washington, DC. pp 843-860
- 10.- Hurtado, A., 1966. Man and altitude. *American International Hygiene Ass. J. 27:313-312*.
- 11.- Knudson, RJ., Lebowitz, MD., Holberg, CJ., Burrows, B. 1983. Changes in the normal expiratory flow-volume curve with growth and aging. *Am. Rev. Respir. Dis. 127:725.734*
- 12.- Lefant, C. et cols., 1968. Efect of altitude on oxygen binding by hemoglobin and on organic phosphate levels. *J. Clin. Invest. 47:1-15*.
- 13.- Monge, MC. 1954. Man, climate, and changes of altitudes. *Meteor. monogr. 2 (8) 50-60*.
- 14.- Peñaloza, A. y cols., 1963. Pulmonary hypertension in healthy men born and living at high altitudes. *Am. J. Cardiol. 11: 150-157*
- 15.- Santolaya, R. y cols., 1973. Electrocardiograma y capacidad aeróbica en nativos residentes de altura del altiplano chileno como índice de aclimatación. *Rev. Med. Chile. 101: 433-448*.
- 16.- Santolaya, R. y cols., 1985. Hematocrito en diferentes poblaciones residentes en distintos niveles de altitud en los Andes del Norte de Chile. *Arch. Biol. Andina, Lima.13:152-173*.
- 17.- Santolaya, R. y cols., 1988. Inaplicabilidad de los patrones internacionales de capacidad vital (CV) en poblaciones adultas residentes permanentes de alturas: Chuquicamata (2.800 m). *Revista Médica del Cobre. Vol 1*.
- 18.- Santolaya, R. y cols., 1989. Respiratory adaptation in the highest inhabitants and highest Sherpa mountaineers. *Respir. Physiol. 77: 253-262*.
- 19.- Santolaya, R. y cols., 1992. Gases arteriales y equilibrio ácido-base en residentes permanentes sanos a distintos niveles de altura. *Acta Andina 1: 52*.
- 20.- Santolaya, R. y cols., 1993. Desarrollo Minero en la altura, un reto a la Medicina actual. *Minerales 48 (203): 51-62*.
- 21.- Santolaya, R. y cols., 1993. Capacidad de difusión pulmonar en residentes permanentes de altura. *Acta Andina 2: 23*.

- 22.- Santolaya, R. y cols., 1993. Capacidad aeróbica y frecuencia cardíaca máxima en distintos grupos residentes de altura. Acta Andina 2: 45-46.
- 23.- Torrance, J. D. y cols., 1971. Oxygen transport mechanisms in residents at high altitude. Respir. Physio. 11: 1-15.
- 24.- Valdivia, E., 1956. Mechanisms of natural acclimatization. Capillary studies at high altitude. Report. 55-101, School of Aviation Medicine.
- 25.- Velásquez, M. T., 1972. Análisis de la función respiratoria en la adaptación a la altitud (Tesis de Doctorado). Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Lima, 89 p