

## HOMBRE, CLIMA Y CAMBIOS DE ALTITUD \*

### ESTUDIOS RECIENTES EN BIOCLIMATOLOGIA

(Manuscrito recibido el 2 de Diciembre de 1952.— American Meteorological Society)

CARLOS MONGE M.

### I INTRODUCCION

Al estudiar los efectos del clima de montaña sobre el hombre y los animales, es de importancia fundamental establecer, en primer lugar, el concepto preciso del sujeto en estudio. En este trabajo partimos del

---

(\*) "El Comité de Bioclimatología de la American Meteorological Society fué fundado (1951) con los siguientes objetivos:

- a) Estimular el desarrollo de la enseñanza y de la investigación en bioclimatología;
- b) contribuir al esclarecimiento de los problemas técnicos y bioclimatológicos; y,
- c) estimular una más íntima relación entre la Sociedad y los organismos médicos o biológicos interesados en los efectos de la Meteorología y del clima".

Por invitación del Editor, Dr. E. W. Hewsen, se solicitó la contribución de un grupo de autores para escribir *Recent Studies in Bioclimatology* (Estudios Recientes en Bioclimatología), que aparecerá en *Meteorological Monographs* (Monografías Meteorológicas) Octubre, 1954. Vol. 2. Nº 8, con un prefacio del Dr. Jacques M. May, Director de Investigaciones, American Geographical Society, New York, con la colaboración de los Drs. C. W. Thornthailte; J. R. Mather; W. G. Wellington; J. D. Findlay; L. P. Harrington; H. F. Blum; C. Monge M.; G. and B. Duell; F. Sargent, II; H. Landsberg; K. Buettner; J. M. May.; J. H. Foulger; actuando como Editores los Drs. F. Sargent, II y R. G. Stone.

Agradecemos profundamente al Dr. F. Sargent, II, la autorización que nos ha sido concedida para traducir y publicar en español, en los *Anales de la Facultad de Medicina*, nuestra contribución a la Monografía y también por su valiosa ayuda en la revisión del trabajo".

Este trabajo sirvió de base para la conferencia sustentada en el Curso de Extensión de Post-Graduados, en la Universidad de San Agustín, Arequipa.

punto de vista de Galeno "El hombre es un todo con su ambiente", y trataremos, particularmente, del hombre aclimatado a las grandes alturas habitadas.

El ambiente externo y el medio interno del organismo, constituyen un sistema en equilibrio dinámico. Ahora bien, es preciso tomar en consideración que, la distribución vertical del hombre y de sus actividades en las altiplanicies andinas, trae como consecuencia que el ambiente no constituya una condición estática sino de movimiento, en función de los grados de desplazamiento del hombre y de los animales a diferentes altitudes. Ahora bien, a nivel del mar, el motor humano trabaja con una presión constante de oxígeno, mientras que el hombre de los Andes para balancear los efectos de los cambios de altitud y, por consiguiente de presión de O de las localidades que habita o a las que se traslada, se ve obligado a disponer de mecanismos fisiológicos *ad hoc*. La introducción pues, de esta nueva variable geográfica —cambios de altitud—, hace mucho más compleja todavía la dinámica biológica de los habitantes del altiplano.

Aunque reconocemos la importancia de todos los factores que integran el clima, nuestra atención, por razones obvias, va a concentrarse principalmente en la influencia hipóxica del clima de Montaña sobre el organismo. Puede, establecerse ya, que esta influencia sobre el medio interno, debe considerarse desde los siguientes puntos de vista:

1.— Efectos sobre el medio interno del hombre de los Andes en el que un sistema balanceado de equilibrio dinámico entre organismo y ambiente, establece la aclimatación.

2.— Efectos del clima hipóxico de las grandes alturas sobre los sujetos recién llegados, procedentes del nivel del mar; y efectos del clima hiperoxigenado de las tierras bajas sobre el hombre de los Andes. En ambos casos existe un proceso primario de adaptación a la agresión climática. La Adaptación conduce a la Aclimatación.

3.— Efectos de la atmósfera hipóxica de altitud sobre los organismos inhábiles a la adaptación y efectos del ambiente hiperoxigenado del nivel del mar sobre los recién llegados del altiplano. En el primer caso, se produce el Mal de Montaña, con sus formas clínicas: Aguda, Sub-aguda y Crónica; en el segundo, se registra un déficit del rendi-

miento físico y predisposición a procesos morbosos de orden respiratorio.

4.— Efectos de la agresión climática sobre el hombre aclimatado, esto es: la pérdida de la aclimatación: Mal de Montaña Crónico.

En resumen, la Bioclimatología de Montaña trata de describir los procesos de aclimatación; los de su pérdida y los de falta de aclimatación, tal como ocurre en los altiplanos habitados. Es pues indispensable, al formular su descripción, el estudio, no solamente del hombre aclimatado en los Andes desde una época prehistórica, sino también del individuo que sufre la influencia de la agresión climática y que no puede balancear el trauma hipóxico, como hemos señalado desde 1928. Nos encontramos todavía en las fases preliminares de investigación, pero disponemos, sin embargo, de información suficiente, gracias a los trabajos de investigadores peruanos llevados a cabo hasta la fecha, para afirmar que la influencia bioclimática se encuentra en la base de los procesos que determinan la forma, la función y la conducta sociológica del hombre de los Andes.

## II. FACTORES CLIMATICOS

El territorio del Perú se encuentra entre los paralelos 0° y 18° de Latitud Sur y los meridianos 70° y 81° de Longitud Occidental. El país está bordeado por el Océano Pacífico y consta de tres zonas perfectamente definidas: la "Costa", un estrecho territorio de tipo desértico, con valles pobremente irrigados; la "Sierra", que comprende los altiplanos y las cordilleras elevadas de los Andes que, en algunas partes, llegan a la altura de 22,000 pies (7.300 mt.), y cuyos picos se encuentran eternamente nevados; y la "Selva" que abarca una extensión considerable de bosques tropicales y los territorios irrigados por el río Amazonas.

Los valles estrechos de los flancos occidentales de los Andes, los altiplanos de alturas medias y elevadas, así como las gargantas que descienden de la Sierra hacia los llanos orientales de la Selva, despliegan una estructura de relieve sumamente original que crea un tipo de geografía vertical, dando a la fisiología del clima muy diversos aspectos.

Si nosotros consideramos que los elementos climáticos de temperatura, precipitación y humedad, presión atmosférica y radiación, están influenciados principalmente por la latitud, terreno, vientos, altura, macizos rocallosos y corrientes oceánicas, etc., debemos aceptar obligadamente que en el caso del territorio peruano se presentan tipos y variedades de clima muy diferentes. De acuerdo con Trewwatha, encontramos que existen climas secos, de tipo desértico, tropicales y subtropicales, en la Costa; una amplia variedad de climas en los altiplanos de los Andes, que pueden clasificarse como: climas indiferenciados de Altiplanos; y en fin, el clima tropical forestal lluvioso de la Selva.

La topografía de la Sierra puesto que es muy irregular y consiste de una diversidad de altiplanos situados a diferentes alturas dan lugar a una gran variedad de climas, como resultado de elementos marcadamente variables: Altitud, Exposición y Latitud. En las montañas, el clima va del extremo frío al clima templado, dependiendo de su elevación sobre el nivel del mar; la estación lluvioso tiene lugar de Octubre a Abril.

La existencia de inversiones climatológicas es muy común y tienen lugar en las gargantas que descienden hacia la selva, lo cual permite el crecimiento de caña de azúcar a niveles cercanos a los 6,000 pies de altitud\*. No sería sensato especular sobre el establecimiento de límites entre las zonas cálidas, templadas y glaciales.

Las informaciones meteorológicas representativas de las estaciones en el territorio del Perú se encuentran representadas en la tabla 1. Aunque estas informaciones no sean suficientemente extensas para establecer cuadros exactos meteorológicos, es incuestionable, que demuestran la presencia de una variedad de tipos climáticos. (Broggi).

Se ha hecho notar que la presión barométrica disminuye del nivel del mar hacia 17,000 pies, que corresponde a los lugares habitados más elevados; esto es de 750 mm. a 380 mm. Hay una disminución gradual de la presión de oxígeno del nivel del mar (153 mm. de presión parcial de oxígeno), hacia las alturas ecológicas más elevadas para el hombre (78 mm. de presión parcial de O<sub>2</sub>). Véase en la Tabla 1 los datos climatológicos.

---

(\*) Monge J. Geografía Física.

T A B L A I  
DATOS CLIMATOLÓGICOS

E S T A C I O N	Altitud pies	Longitud	Latitud	P R E S I O N		T E M P E R A T U R A		Precipi- tación mm.	Hume- dad		
				Barom. mm.	Oxígeno mm.	Máx.	Mín.			Cada 2 horas	Oscil. mm.
Lima (&)	450	77°03'	12°04'	750.66	150.13	33.8	9.6	18.49	24.2	36.3	87.4
Cajamarca (°)	8,700	78°30'	07°08'	554.72	110.94	27.4	-3.6	13.14	31.0	726.2	72.0
Huancayo (#)	10,900	75°20'	12°02'	515.87	103.17	25.0	-10.0	11.71	31.0	717.59	66.6
Puno (:)	12,600	70°01'	15°50'	483.30	96.66	24.0	-11.5	8.36	35.5	572.82	60.8
Chuquibambilla (#)	12,800	70°43'	14°47'	461.33	92.26	22.0	-18.5	7.11	40.5	609.50	61.9
Imata (.)	14,400	71°04'	15°49'	446.52	89.30	29.8	-23.2	3.41	53.0	540.60	65.6

(&) Media 20 años; (°) M. 15 años; (#) 18 años; (:) 17 años; (.) 13 años.

(DIRECCION GENERAL DE METEOROLOGIA DEL PERU)

T A B L A II

DATOS CLIMATOLÓGICOS

L O C A L I D A D	Altitud pies	Longitud	Latitud	P R E S I O N		T E M P E R A T U R A		Preci- pitación mm.	Humedad relativa%		
				Barom. mm.	Oxígeno mm.	Máx.	Mín.			Media ver- dadera	Oscil. 24 h.
MOROCOCHA	14,900	76°08'	11°37'	446	89	.....	.....	.....	.....	1189.5	59.60
OROYA	12,240	75°55'51"	11°31'25"	480	96	15°55	29°77	.....	.....	562.71	67
						Media	Media				
HUANCAYO	10,170	71°12'44"	12°04'20"	518	104	30°9	-10°0	12°5	40.9	754.84	77.54
LIMA	500	77°02'14"	12°03'02"	750	156	32°5	9°6	18°4	22.9	39.37	86.80

### III. EFECTOS DEL CLIMA DE MONTAÑA SOBRE EL HOMBRE ANDINO

Haremos una revisión de las características biológicas del hombre andino en relación con las del hombre de nivel del mar.

El hombre de los Andes ha sido estudiado por diferentes investigadores, desde el punto de vista fisiológico, en Huancayo, Oroya y Morococha (Véase Tabla II). Sus resultados serán frecuentemente usados junto con las observaciones originales del autor y sus asociados, en lo que se refiere al comportamiento, función y morfología de los habitantes del territorio peruano. \* \*

Para hacer posible el estudio de antropometría comparada, a diferentes altitudes, y ponernos en situación de correlacionar los hallazgos morfológicos con las informaciones fisiológicas, Vellard y Monge, han seleccionado diferentes localidades de investigación: el nivel del mar, un altiplano de altitud moderada y un ambiente de gran elevación. En cada uno de los lugares se seleccionó un grupo de nativos, de 20 a 24 años de edad, que nunca habían salido fuera de su residencia natural.

- a) GRUPO DE LIMA, nivel del mar: 100 marineros.
- b) HUANCAYO, 8.000 - 11.000 pies de altura: Grupo de 125 soldados.
- c) BOLIVIA, 11.000 - 15.000 pies: Grupo de 50 soldados.

#### 1 — Población y comportamiento humano

En este ambiente de altiplanicies de los Andes, el hombre está aclimatado desde una época prehistórica. Las siguientes sentencias tomadas de Isaiah Bowman son altamente significativas. "En esas regiones frías e inhospitalarias situadas en la parte más elevada del Perú, se encuentran las habitaciones humanas más altas del mundo, 17.100 pies (5.210 mt.), las praderas de mayor elevación y el más alto grado de adaptación a la altitud y al frío combinados". "Aquí sólo hay un paso del Artico a la Arcadia. Sin embargo, es el Artico el que se encuentra poblado". "La choza de piedra, techada de paja, que pasamos a los 17.100 pies y que goza de la distinción de ser la más alta del mundo es, por lo demás, igual a miles de otras de la misma región. Abri-

---

(\*\*) Véase la Bibliografía de autores y trabajos.

ba a una familia de cinco. Cuando pasamos tres chiquillos de mejillas rosadas, casi tan gordos como las ovejas que andaban por allí, se hallaban sentados en el suelo, en un rincón del corral, jugando con pelotas de lana".

En general, se puede asegurar que más de 50 millones de habitantes viven, sobre 6.000 pies de altitud, en diferentes partes del mundo. En el Perú existe una población de 8.000.000 de habitantes. Si nos referimos a la distribución geográfica por altitudes de la población del Perú, podemos hacer una síntesis de nuestros hallazgos en la forma siguiente: La población general está representada por un árbol cuyas raíces comprenden la agrupación de habitantes del nivel del mar, (2.400.000 o sea 25%) de la costa y de la selva (0 — 750 pies); el tronco está formado por las vertientes y quebradas orientales u occidentales de los Andes (410,122 ó 6%), y las ramas que constituyen la mayoría de la población (4.944.672 ó 66%) corresponde a los elevados altiplanos (6 a 15.000 pies), el "potencial de reserva humana" (Arca Parró). Conforme a lo establecido por Arca Parró es interesante señalar que el coeficiente de fecundidad, relacionado a la altitud correspondiente a tres regiones básicas, demuestra que es mayor en las grandes alturas (Coef. 164), que al nivel del mar (Coef. 144), y mucho mayor en las zonas de las "Cejas de Sierra y Montaña" (Coef. 174). En estas últimas localidades las condiciones climáticas de los valles son excepcionalmente favorables. Sin duda alguna, el índice de la Costa está influenciado por un voluntario control de nacimientos, lo que no ocurre en los altiplanos con la población indígena. "La infertilidad es contingente; afecta a los recién llegados y es vencida por la aclimatación". "El ambiente ecológico para el hombre alcanza en ciertos lugares 17.300 pies de altitud" (44). Las posibilidades de la vida en las grandes alturas, para las razas aclimatadas, son exactamente las mismas que las del hombre al nivel del mar. "La raza autóctona estuvo tan profundamente impregnada del ambiente telúrico que en la constitución de sus sociedades tenía que actuar imperativamente un determinismo bioclimático". "Así se explica el sentido de las migraciones a localidades del mismo temple y el nomadismo de retorno de la organización de los Mitimaes, todo lo cual trajo como consecuencia un incesante cruzamiento de los hombres que daba homogeneidad a la raza, cuidando siempre de la estabilidad del clima de altura". "La sociología incaica fué, pues, bioclimática; la influencia de los altiplanos se dejó sentir en el hombre, en la raza y las sociedades de América, en la paz, en la guerra y en la colonización (44). El mismo proceso se desenvuelve hoy. (Monge C.)

La observación clínica demuestra que, en los elevadísimos altiplanos y montañas de los Andes, el hombre es capaz de llevar a cabo esfuerzos muy considerables, como ocurre con el trabajo de las minas. El rendimiento al trabajo es mucho mayor en los hombres de los Andes que en los del nivel del mar al trabajar en la Costa (Monge). Existen centros mineros ubicados en las cimas más elevadas de las cordilleras, por encima del *habitat* natural de la población indígena. Allí, el trabajo solamente es posible durante un pequeño número de horas y los mineros están obligados a descansar a un nivel más bajo para pasar la noche.

Estos hechos de tremenda significación adaptativa nos mueven a anticipar categóricamente que existen profundas diferencias en la fisiología de los habitantes, dentro y fuera del ambiente ecológico. Se hubiera evitado y, se evitaría, muchas confusiones, si los investigadores tuvieran en mente estos hechos, al llevar a cabo sus trabajos.

## 2 — Morfología

Es perfectamente conocido que el clima de montaña, aún a moderadas altitudes determina un efecto característico en la arquitectura del cuerpo (33). La impresión de fortaleza física y el enorme tórax del montañés han sido relievados desde Hipócrates. Naturalmente, dicha contextura es más acentuada mientras la altura de residencia es mayor. Diferentes autores han llevado a cabo mediciones antropométricas y funcionales (23). Nosotros hemos dado más importancia al punto de vista de la Antropometría comparada que nos parece importante establecer. Para ello hemos considerado grupos de hombres aclimatados y residentes a distintas altitudes como hemos señalado anteriormente. Huancayo (10.000 pies); La Paz, Bolivia (15.000 pies); (45, 47), comparándolos con los datos obtenidos en la Costa.

Como puede verse en la Tabla III, los tres diámetros dimensionales del tórax muestran un patrón característico. Mientras que el diámetro transversal permanece constante, el diámetro antero-posterior y la longitud del esternón, aumenta progresivamente con la altura. El volumen del tórax crece también, en relación. A mayor elevación mayor volumen torácico. Vellard llama la atención sobre el grupo de Lima que incluye algunas generaciones de sujetos con antepasados procedentes de las grandes alturas. En muchas observaciones se pone de manifiesto valores antropométricos torácicos muy próximos a los andinos. Es posible que ésto pueda ser interpretado como una influencia genética. La

T A B L A III  
ANTROPOMETRIA COMPARADA (TORAX)\*

L O C A L I D A D	Altitud pies	Talla mm.	Diámetro Torácico A.P.	Diámetro del tórax transverso	Longitud esternal	Volumen torácico	Nº de casos
HONDURAS		1,560	199.2	267	186	9,967	
LIMA	450	1,653	203.6	283.5	183.3	10,544	120
HUANCAYO	10170	1,603	208.3	284	185	11,019	124
BOLIVIA	de 11,500 a 15,000	1,616	213	283	199	12,150	53

(°) Hay una relación linear entre altitud y volumen torácico. El diámetro transverso del tórax es una constante en el Perú (Influencia genética?).

comparación con los soldados de Honduras que no han recibido dicha influencia hereditaria es muy sugestiva. Los hondureños muestran los valores más pequeños, referentes a la función respiratoria del tórax (54). En conclusión, como un primer efecto del clima de montaña existe una respuesta anatómica, un tórax ensanchado para incrementar, indudablemente, la función respiratoria del organismo.

### 3 — Fisiología

Para contrabalancear el ambiente enrarecido e hipóxico de altitud, el organismo, como un todo, establece respuestas compensadoras para aprovisionarse de una cantidad normal de oxígeno que satisfaga las necesidades del requerimiento metabólico. Todas las funciones respiratorias entran en juego para balancear el déficit del oxígeno ambiental.

El pulmón anatómico crece; la ventilación respiratoria pulmonar aumenta su "función fuelle"; la capacidad total está sumamente elevada; hay un incremento relativo y absoluto del aire residual, lo que sugiere un "enfisema fisiológico" verdadero (23, 25). Morfológicamente, se ha señalado una hipertrofia del lecho capilar (52), hecho que puede referirse a la antigua observación de D'Orbigny que señaló el gran tamaño de los pulmones de los hombres del altiplano boliviano (15). Boothby, (6) ha demostrado que la aclimatación a 6.200 pies eleva el  $pO_2$  alveolar y disminuye el  $pCO_2$ , confirmando el trabajo de la Expedición Anglo Americana de 1935 (14).

Hemos interpolado antiguos hallazgos en los Andes con los de otros investigadores y los de Boothby, pudiendo señalar que, efectivamente, los valores de oxígeno y ácido carbónico alveolar de los nativos están más allá de los señalados por este autor, como puede verse a continuación.

$pO_2$  : 45 mm;  $pCO_2$  : 29 mm (Boothby);  
 $pO_2$  : 50 mm;  $pCO_2$  : 26 mm (Andes)

En lo que se refiere a la función respiratoria de la sangre, nos ocuparemos únicamente del Sistema Hemoglobina, que es la base del aprovisionamiento de oxígeno al organismo (4, 14, 20, 22, 26, 31, 34, 41, 42, 45, 47, 55). Dichas observaciones se encuentran sintetizadas en la Tabla IV. Puede verse, por ejemplo, que el valor de la Hemoglobina del nivel del mar, de 16 gms.%, sube a 16.85 y 20.76, en niveles suce-

TABLA IV\*

HEMATOLOGIA Y BIOQUIMICA	LIMA Hombres del nivel del mar	HUANCAYO NATIVOS (Altitud 10,170 p.)	OROYA NATIVOS (Altitud 12,230 p.)	MOROCOCHA NATIVOS (Altitud 14,900 p.)
Hematíes ..... (mill./cu. mm.)	5.14	5.65	5.67	6.14
Hemoglobina ..... (mg./100 ml.)	16.00	16.85	18.82	20.76
Hematocrito ..... (hematíes %)	46.80	50.36	54.10	59.90
Reticulocito ..... %	0.5	0.47	0.8	1.5
Bilirubina total ..... (mg./100 ml.)	0.72	0.84	1.47	1.56
Bilirubina directa ..... (mg./100 ml.)	0.37	0.16	.....	0.46
Bilirubina indirecta ..... (mg./100 ml.)	0.35	0.68	.....	1.10
Volumen sanguíneo ..... (litros)	5.21	5.36	6.15	6.98
Volumen plasmático ..... (litros)	2.82	2.55	2.76	2.65
Volumen hematíes ..... (litros)	2.34	2.79	3.36	4.29
Hemoglobina total ..... (gm.)	788.00	905.01	1150.00	1464.00
Glucosa ..... (mg./100 ml.)	105.0	64.0	78.0	82.0
Acido láctico ..... (mg./100 ml.)	11.0	12.76	12.59	14.07
Acido pirúvico ..... (mg./100 ml.)	1.37	1.52	2.16	2.13
Presión parcial de oxígeno	150 mm.	104 mm.	96 mm.	89 mm.
Presión barométrica	750 mm.	518 mm.	480 mm.	446 mm.

(\*) Valores tomados de Hurtado y Col. [29] y Monge y Col. [47].

sivos de altitud. Como el volúmen total de sangre también aumenta de 5.21 lts. a nivel del mar, a 6.98 lts. en las más grandes alturas, se sigue de aquí que, a nivel del mar hay 788 gramos de hemoglobina circulante total, mientras que en las grandes alturas, el total de hemoglobina circulante aumenta a 905.01, 1.150 y 1.464 gms., respectivamente. En esas condiciones, la hemoglobina circulante en realidad se ha desdoblado a 15.000 pies, como una respuesta compensadora del hombre de los Andes.

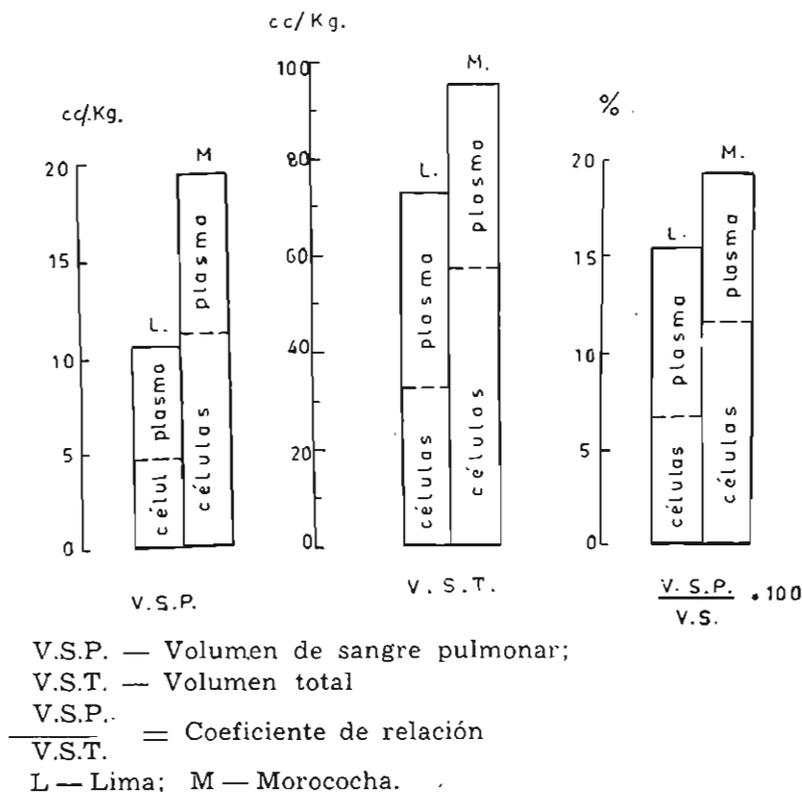
Más todavía, se puede notar que la mayor parte de este aumento se debe al aumento de los glóbulos rojos (Hurtado, Merino, Delgado; Monge y asociados). Igualmente se encuentra valores más elevados para la bilirrubina (11.73), y el ácido pirúvico (56) en la altitud. De esta manera, llegamos a una conclusión sumamente importante; ésto es que, para que el hombre de nivel del mar pueda convertirse en un hombre aclimatado sobre los Andes, debe construir dos litros más de sangre y 676 gramos más de hemoglobina y elevar la concentración de la bilirrubina sanguínea en 100% y la del ácido pirúvico, en 80%.

De otro lado, puede observarse igualmente que hay un sistema balanceado constituido por hemoglobina, hematocrito y bilirrubina, correspondiente a cada altitud y que, en las máximas alturas, dichos sistemas equilibrados, son enormemente considerables comparadas con los valores del nivel del mar (42, 45, 47, 49, 55, 72, 73). Evidentemente habría que establecer su relación con la saturación arterial de oxígeno que disminuye de 96% a nivel del mar, a 80% a 14.900 pies de altitud (29).

Empleando el "Método del Colorante" de Newman, Monge Cassinelli ha podido hacer determinaciones comparativas de los distintos volúmenes de sangre a nivel del mar y en Morococha, a 14.900 pies. Sus observaciones demuestran que hay un marcado incremento, absoluto y relativo, del volúmen de sangre pulmonar en las grandes altitudes. De esta manera, el pulmón asegura un mayor aprovisionamiento de sangre que proporciona una ingesta de oxígeno más considerable, un mayor transporte y un mayor consumo (Fig. 1).

Como consecuencia de la hiperventilación, el hombre aclimatado es capaz de reajustes respiratorios adecuados con el objeto de eliminar el ácido carbónico y mantener la fijeza del pH sanguíneo. Sobre este respecto, Hurtado y Aste-Salazar (27), dicen: "Los valores medios

Fig. 1



para  $(\text{Tot CO}_2)_b$ ,  $(\text{pCO}_2)_b$  y  $(\text{BHCO}_3)_s$ , muestran una definida reducción en las grandes alturas y el grado de reducción mantiene una relación lineal con la altitud hasta un nivel aproximado de 5.000 mts. a cuya elevación la disminución se vuelve más marcada. Desde un valor medio de  $40.8 \pm 0.46$  mm. Hg. a nivel del mar, el  $(\text{pCO}_2)_b$  cae a  $33.0 \pm 0.70$  a una altura de 4.860 mt. La reserva alcalina en términos de  $(\text{BHCO}_3)_s$ ,  $(\text{Tot.CO}_2)_s$ , ó  $(\text{Tot.CO}_2)_b$ , en sangre oxigenada a  $\text{pCO}_2 = 40$  mm Hg (T.40), también muestra una caída progresiva conforme la altitud se vuelve mayor”.

Estos trabajos confirman observaciones previas de Dill y sus asociados. A pesar de esta disminución definida del ácido y base en la sangre, el pH es normal, aunque se desvía ligeramente del lado de la alcalinidad. Monge señaló que la capacidad de los tampones aumenta en los altiplanos, en forma tal, que el pH es más estable —para la misma cantidad de trabajo— en las grandes alturas que a nivel del mar (43; 57).

Por razones de publicación no podemos considerar en detalle los efectos producidos en otros órganos y sistemas. Estamos obligados a presentar solamente un sumario muy breve. El hombre andino se comporta en relación a la fatiga y al rendimiento del trabajo como atleta (Monge, Cervelli, 1938) hecho confirmado también por su respuesta cardiovascular al esfuerzo. Así, el deporte del Ski se lleva a cabo a 17.000 pies de altura en Chacaltaya, Bolivia. Partos normales ocurren también a las mismas altitudes.

Estas observaciones hablan sobre la significación de algunas de las características del corazón andino: bradicardia, tensión arterial ligeramente más baja que a nivel del mar (16, 43, 49), aumento del índice cardíaco. La mayor parte del trabajo sobre adaptación cardíaca al altiplano ha sido hecha por Rotta (55, 61, 64, 65). De otro lado, el estudio electrocardiográfico muestra ciertas peculiaridades, a saber: una desviación del marcador del paso, ondas P invertidas, o trajinantes, acortamiento del intervalo PR, desplazamiento de la onda ST después de ejercicios moderados (Monge, Sáenz). El eje eléctrico muestra un ligero predominio horizontal sobre el vertical (45, 47, 55, 64, 66, 67). A menudo se encuentra una desviación del eje eléctrico hacia la derecha.

En lo que respecta al sistema nervioso vegetativo, hay un aumento del tono simpático y parasimpático (3, 9, 39, 50). La hipertonia vagal puede explicar la bradicardia paradójica después de esfuerzos moderados. El metabolismo básico es normal (10, 18, 19, 74). Arellano ha señalado un aumento de 10% de presión de líquido céfalo raquídeo como índice normal a 14,900 pies de altura (2).

El pulmón, la sangre y el corazón integran sus funciones respiratorias (46), con el objeto de balancear el aprovisionamiento de oxígeno y la eliminación de ácido carbónico a diferentes alturas. Además, debemos considerar muy variadas reacciones complementarias de sistemas, órganos y tejidos para satisfacer la ecuación de organismo y ambiente.

Como hemos establecido anteriormente, debe entenderse que los llamados valores normales representan sólo un estado constante de equilibrio condicionado por una atmósfera fija. Los procesos fisiológicos dinámicos, sin embargo, están operando incesantemente para mantenerse paralelos a la fisiología del clima cambiante en los distintos ambientes de altitud.

## IV CORRELACION DE FORMA Y FUNCION

Los efectos integrativos de las reacciones anatómicas y funcionales sobre el organismo humano conducen a un patrón antropológico característico. Efectivamente, hay una reacción lineal entre altitud, volumen torácico y volumen de sangre del pulmón. Desde un punto de vista evolutivo puede establecerse este postulado: "la posibilidad de un proceso adaptativo que permitiría al tórax contener una gran cantidad de sangre, comparativamente mucho mayor que la del tórax a nivel del mar". Puesto que la relación antropométrica, —tórax, altitud—, es más acentuada en las altiplanicies es de colegir que el volumen de sangre contenido en el tórax también debería ser más considerable. Para estudiar esta hipótesis se utilizó, como hemos mencionado, la Técnica de Dilución del Colorante de Newman (60), que permite las siguientes determinaciones: Volumen de sangre total, volumen sistólico, volumen de sangre del pulmón y tiempo circulatorio. La investigación fué llevada a cabo por Carlos Monge Cassinelli.

Como se había supuesto, basándose en consideraciones clínicas, se encontró efectivamente mayor volumen de sangre total y de sangre pulmonar en el hombre de los Andes, etc. Además, la relación volumen pulmonar a volumen total también se encontró más elevada. Así, en la Fig. 1 se puede observar que, mientras que el volumen de sangre por kilo de peso es de 11 mm. a nivel del mar, en Morococha alcanza 20 mm. Más todavía, la relación volumen pulmonar de sangre a volumen total es de 15% a nivel del mar y 20% en los altiplanos (57). De esa manera la hipótesis quedó confirmada.

En la Fig. 2, puede seguirse fácilmente el paralelismo de los procesos anatómicos y funcionales de orden adaptativo.

Ahora, nos encontramos en posición de postular la serie de reacciones anatómicas, fisiológicas y químicas que se encuentran en la base de la aclimatación: tórax ensanchado; aumento de la "función fuelle" del pulmón, mayor cantidad de sangre total, mayor volumen de sangre pulmonar, repercusión sobre la morfología cardio-aórtica y el predominio funcional del corazón derecho, aumento de la concentración de hemoglobina y de la hemoglobina total circulante, etc., etc. Quizá, alguna propiedad intrínseca del organismo permite al andino una capacidad de rendimiento de trabajo, en los Andes, superior a la del hombre de la Costa, al nivel del mar. Es evidente que estos procesos biodinámicos pueden ser interpretados como adaptaciones evolutivas al ambiente enrarecido del altiplano (48). Si en estos hallazgos se en-

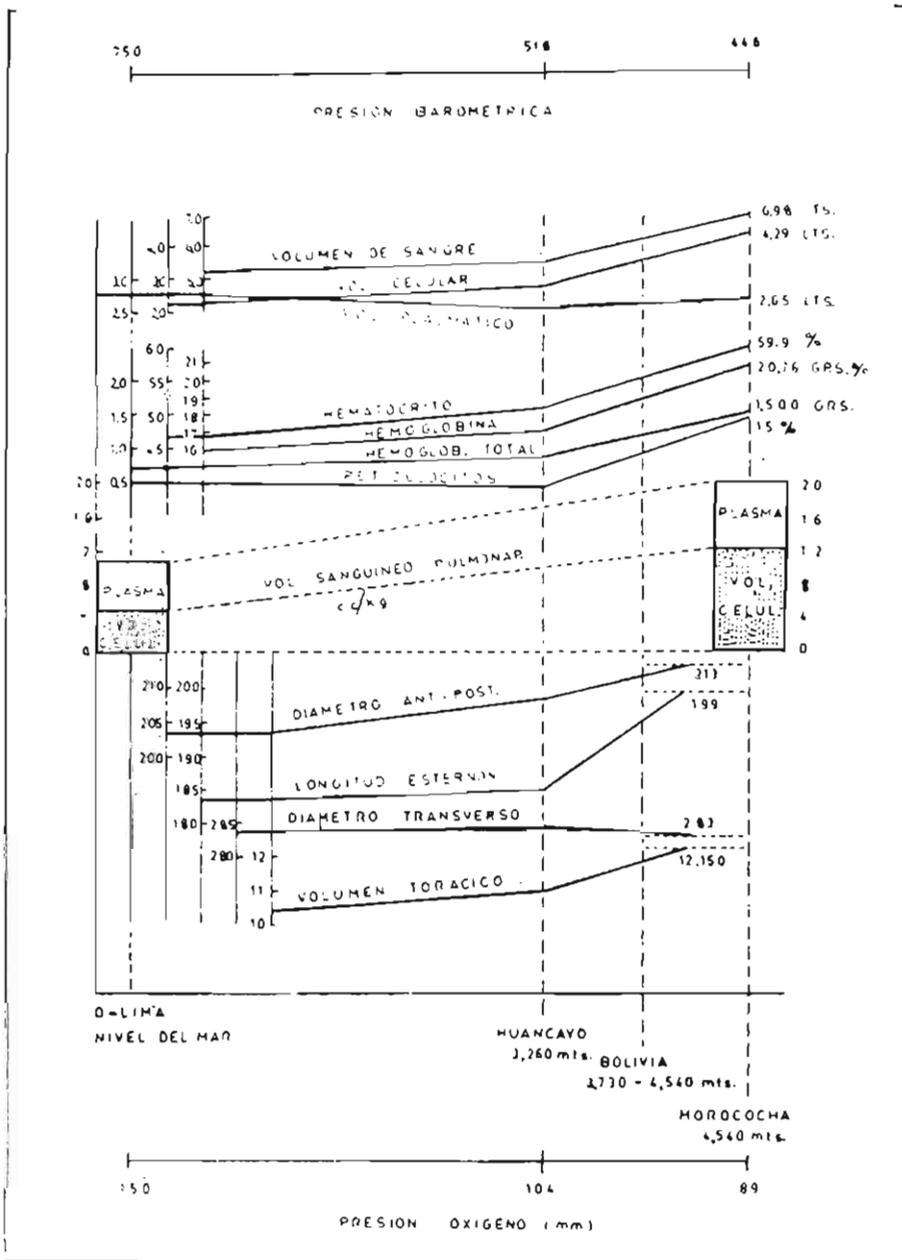


Fig. 2

Antropología morfo y fisiológica comparada. Volúmenes del tórax y sangre pulmonar y total a distintas altitudes.

cuenta o nó, una influencia genética, no estamos en condiciones de poderlo afirmar. (\*)

\*) Se ha encontrado que la *Drosophyla* mantenida durante un mes a 14.000 pies de altitud presenta un significativo cambio de las mutaciones que puede relacionarse con la acción de los rayos cósmicos que a esa altura son 15 veces mayores que a nivel del mar (76).

## V. EFECTOS DEL CLIMA DEL NIVEL DEL MAR SOBRE EL HOMBRE ANDINO

Para estudiar los efectos del clima tropical de las tierras bajas sobre el andino, hemos seleccionado, clínicamente y radiológicamente en Huancayo (10.170 pies de alt.), un grupo de 10 soldados (19 a 23 años), nacidos en las altiplanicies. En la primera fase de la experiencia fueron llevados a Morococha (14.900 ps.) donde permanecieron durante 15 días, después de lo cual fueron traídos a Lima a nivel del mar, continuando la investigación durante 6 meses. Los resultados encontrados en estos sujetos se pueden apreciar en la Tabla V.

### 1 — Hematología

Es interesante observar el aumento de los glóbulos rojos, hemoglobina, hematocrito, reticulocitos, bilirrubina y volumen de sangre cuando los sujetos son llevados de Huancayo a Morococha. Sólo el volumen del plasma disminuyó ligeramente. Los procesos neoformativos coincidieron con una crisis reticulocitaria. Los valores hematológicos de nuestros sujetos, sin embargo, no llegaron a alcanzar en Morococha los índices normales de los nativos de esa localidad. Esta observación debe interpretarse en el sentido de un proceso adaptativo que no llegó a su término.

Conducidos los sujetos a Lima, en 5 horas de viaje, se observó una disminución progresiva de los valores hematológicos durante las 8 siguientes semanas de observación. La numeración de glóbulos rojos, así como la cifra de hemoglobina y los valores del hematocrito cayeron muy por debajo de los valores normales a nivel del mar, estableciéndose una relación lineal con el tiempo. El volumen total de sangre disminuyó progresivamente volviéndose normal al cabo de 8 semanas; el volumen de hematíes, sin embargo, decreció más rápidamente. Tenemos la impresión de que el balance de destrucción había sobrepasado los límites normales. Durante este período de observación se destruyeron 274 gramos de hemoglobina.

Después del descenso a Lima, el valor de la glucosa sanguínea aumentó progresivamente. El ácido láctico no mostró cambio significativo; el ácido pirúvico se condujo en una forma verdaderamente interesante. Su concentración no cambió en Morococha, pero en Lima (nivel del mar), aumentó durante la tercera semana por encima de los valores nor-

TABLA V

HEMATOLOGIA Y BIOQUIMICA	HUANCAYO NATIVOS	MOROCOCHA Hombres de Huancayo	LIMA	HOMBRES DE HUANCAYO Nivel del mar	
	Altitud 10,170 p.	Altitud 10,170 p.	1ra. sem.	3ra. sem.	8va. sem.
Hematies .....	5.65	6.05	5.57	5.37	4.70
(mil./cu. mm.)					
Hemoglobina .....	16.85	17.98	16.49	15.95	14.30
(gm./100 ml.)					
Hematocrito .....	50.36	54.43	50.67	49.46	43.10
(hematies %)					
Reticulocitos .....	0.47	1.94	0.77	0.25	0.4
(%)					
Bilirubina total .....	0.84	0.84	0.91	.....	0.83
(gm./100 ml.)					
Bilirubina directa .....	0.16	0.38	0.26	.....	0.33
(gm./100 ml.)					
Bilirubina indirecta .....	0.68	0.46	0.65	.....	0.50
(gm./100 ml.)					
Volumen sanguíneo .....	5.36	5.58	5.55	5.49	5.17
(litros)					
Volumen plasmático .....	2.55	5.29	2.66	2.67	2.80
(litros)					
Volumen hematies .....	2.79	3.25	2.87	2.79	2.35
(litros)					
Hemoglobina total .....	905.01	1002.42	894.32	867.26	737.99
(gm.)					
Glucosa .....	64.0	73.0	80.0	85.0	85.0
(gm./100 ml.)					
Acido láctico .....	12.76	14.30	11.5	12.78	10.36
(gm./100 ml.)					
Acido pirúvico .....	1.52	1.44	.....	2.24	2.20
Presión parcial de oxígeno	104 mm.	89 mm.	150 mm.	150 mm.	150 mm.
Presión barométrica	518 mm.	446 mm.	750 mm.	750 mm.	750 mm.

males que corresponden a los índices del altiplano y, por consiguiente, se encontraron muy por encima de los índices normales del nivel del mar. Solamente al fin del cuarto mes esta sustancia volvió a su nivel normal (56).

## 2 — Equilibrio ácido básico

Hemos estudiado el equilibrio ácido básico sólo en la sangre venosa. El ácido carbónico libre tuvo el mismo valor en Huancayo y Morococha, pero aumentó en Lima, permaneciendo alto durante toda la experiencia. El bicarbonato fué más bajo en Morococha que en Huancayo, conservándose constantemente bajo a través de la permanencia en Lima. Como consecuencia de estas variaciones, el pH sanguíneo experimentó una desviación a la zona de acidosis durante todo el período adaptativo. En Morococha, la acidosis tendía hacia una zona intermedia entre los tipos de acidez fija y respiratoria, mientras que en Lima se desvió completamente del lado de la acidosis de tipo respiratorio.

## 3 — Electrocardiografía

Los electrocardiogramas mostraron en Morococha varias alteraciones como aparece a continuación. Elevación del segmento ST con ondas T invertidas o difásicas, en las derivaciones precordiales, particularmente en V1, V2, V3 y en algunos casos, aún en V4 y V5. En general, en la mayor parte de los sujetos se señaló una clara desviación del eje hacia la derecha. En los electrocardiogramas tomados en Lima inmediatamente después del descanso (3 días) fueron observados otros cambios más. Las ondas T, alteradas en Morococha, readquirieron la forma normal y hubo una tendencia evidente hacia la normalización del electrocardiograma, en las primeras semanas. En exámenes posteriores, se observó un constante aumento de la amplitud de QRS, y, especialmente, del voltaje de la onda T señalada algunas veces en todas las derivaciones. Después de tres meses de observación, pudo constatarse que las anomalías del EKG desaparecían progresivamente. Pero, en algunos casos, las alteraciones no siguieron una línea definida de regresión, aún después de 6 meses de permanencia en Lima (41, 45, 47, 48, 55).

En conclusión y en forma resumida, debemos señalar que tan pronto como el andino va a un nivel de altura superior a su habitual resi-

dencia, se observa un incremento de la hematopoyesis que permite la aparición de formas inmaduras (reticulocitos) en la sangre periférica. Por el contrario, si el andino es traído a las tierras bajas del nivel del mar, debe destruir dos litros de exceso de sangre innecesaria para la vida a este nivel. De otro lado, aun después de 6 meses, los electrocardiogramas pueden aparecer anormales, lo que demuestra que la aclimatación no ha sido obtenida definitivamente.

## VI. EFECTOS DEL CLIMA DE MONTAÑA SOBRE EL HOMBRE DEL NIVEL DEL MAR

### 1 — Agresión climática

Con la idea de que el proceso de aclimatación solamente duraba unos cuantos días los investigadores antiguos sobre climatofisiología llegaron a conclusiones prematuras e incompletas. La Expedición de Barcroft (1925) tuvo esa dificultad. Además, la existencia de la "enfermedad adaptativa" y el Mal de Montaña Crónico, debidos ambos a la agresión climática, no se tomaron en consideración. Difícilmente podría asegurarse hoy que, "el hombre aclimatado no existe". (Barcroft) (5). Las observaciones y las experiencias del presente dan consideración debida a ciertos hechos fundamentalmente significativos que hemos señalado; a saber: los diferentes resultados a distintas altitudes; el medio ecológico; las diferentes clases de sujetos en estudio: nativos residentes, recién llegados; el tiempo de residencia, etc. La investigación sólo tiene significado si se reconocen todas las variables de una función para su debida integración. Como un punto de partida preciso para la discusión de estos problemas, permítasenos hacer la siguiente afirmación: La aclimatación ha existido desde una época prehistórica, desde que el hombre se estableció, vivió y se reprodujo en las grandes altitudes.

De otro lado, la aclimatación, también, puede alcanzarse por sujetos de nivel del mar llegados a la altura. Para conseguirla el organismo debe enfrentar o superar la agresión del ambiente hipóxico por medio de procesos biológicos que hemos llamado "Enfermedad adaptativa" (1928). Cuando la Adaptación ha terminado sobreviene la Aclimatación.

Las reacciones adaptativas preliminares desarrollan manifestaciones biológicas y clínicas (41). Desde el punto de vista biológico, se

puede asegurar que los valores registrados en la Tabla IV deben irse alcanzando progresivamente, tal como se observa en la Tabla V en los sujetos llevados de Huancayo a Oroya (1ra. y 2da. columnas) durante el proceso adaptativo.

Desde el punto de vista clínico, sus efectos están representados por el Mal de Montaña Crónico. Enfermedad que descubrimos en el año 1928 (33, 34, 35, 37, 38, 41, 43), reconocida ya como una entidad climato-patológica (2, 21, 22, 24, 63, 71, 72, 75). De otro lado, este proceso adaptativo puede no llegar a la aclimatación. En otros términos, la enfermedad adaptativa puede no curarse. En tal caso el Mal de Montaña por selección natural, —enfermedad o muerte— elimina a aquellos sujetos que no pueden adaptarse a la vida en la altitud.

Sébase, además, que, en algunos casos, el individuo parece estar aclimatado, pero no consigue reproducirse; lo que quiere decir, que sólo alcanzan una aclimatación individual. No hay, en tal caso, aclimatación de especie. (\*)

Si estos hechos fueran tomados debidamente en consideración, se evitaría muchas confusiones respecto de estos problemas, porque efectivamente, a través de un proceso de enfermedad, de muerte o de infertilidad, se ha creado una patología de raza que exige naturalmente una investigación urgente que abarque la complejidad del tema.

## 2 — El Proceso Adaptativo

Teóricamente, el objetivo de los procesos adaptativos debe consistir en que el hombre alcance los sistemas dinámicos del hombre aclimatado, que hemos señalado en el capítulo correspondiente a la aclimatación en los Andes. Haremos, brevemente, una síntesis de las investigaciones proseguidas sobre el particular. Barcroft (5) ofrece datos importantes respecto de los mecanismos sanguíneos. Los miembros de la Expedición Anglo-Americana (12, 13, 14, 30, 70, 71) llevaron a cabo un trabajo sumamente importante en Chile durante pocos meses, en el año 1935. Talbot (71), relievá que los valores bioquímicos encontrados en los miembros de un grupo nunca llegaron a alcanzar las características biológicas de los residentes aclimatados en las alturas estudiadas.

---

(\*) NOTA.— Es sensible anotar que esta interpretación haya sido mal entendida o generalizada. En realidad, tales casos son excepcionales dentro del medio ecológico, en el organismo humano. No estamos en condiciones de señalar su frecuencia.

Talbot y Dill (70) llegan a la conclusión de que se necesita muchos años, o meses, para superar la agresión del clima. Dill, Christiansen y Edwards (13), confirmaron los puntos de vista de Barcroft en lo que se refiere a que, únicamente, por la difusión del oxígeno del epitelio pulmonar, se verifica el intercambio de gases en el pulmón. Keys, Hall y Guzmán Barrón (30) establecieron que la curva fisiológica de disociación de la hemoglobina se desvía a la izquierda hasta una altura de 4.5 de altitud y hacia la derecha, por encima de ese nivel.

El estudio del equilibrio ácido básico demuestra que las gentes adaptadas tienen un pH del suero más elevado que las gentes aclimatadas (Monge). Dill, Talbot y Consolozio (14), señalaron que el  $pCO_2$  del aire alveolar nunca llega a alcanzar los valores normales de los residentes aclimatados a las grandes altitudes. Respecto de la actividad hemotopoyética, Hurtado, Merino y Delgado (29), establecieron que "hay un límite para la respuesta hematopoyética al estímulo de la policitemia resultante"; "hay una elevación proporcional de los reticulocitos circulantes y de la bilirubina del suero". Este hecho ha sido igualmente señalado por Monge (45, 47). Hurtado y Aste-Salazar (27), refiriéndose a los gases de la sangre arterial y al equilibrio ácido básico, establecen que, "el tiempo de exposición, además del nivel de la presión atmosférica determina principalmente las propiedades de la sangre arterial", conclusión muy bien fundamentada, puesto que se basa sobre la integración de dos variables. Hasta el presente, no hay conclusiones evidentes respecto a patrones fijos de procesos fisiológicos que conduzcan a la aclimatación. Nadie puede asegurar aun cuanto tiempo toma una persona para considerarse aclimatado. (\*)

Respecto a la fisiología de la reproducción, hemos podido demostrar que, en ciertos casos, la anoxia afecta el epitelio germinal de una manera selectiva, trayendo consigo un proceso de azoospermia que desaparece una vez que la aclimatación se ha realizado, Monge (40), San Martín (68) y Castañón (69), han discutido estos cambios del semen: número de espermatozoides, motilidad, pH, en la fase de infertilidad que ocurre durante la adaptación y en el período de recuperación. Estos conocimientos científicos aplicados a la reproducción han demostrado, en la práctica, su utilidad en la aclimatación de los animales a la altura.

---

(\*) El Profesor Alberto Hurtado, Director de Investigaciones del Instituto de Biología Andina, lleva a cabo, en la actualidad, un vasto programa de investigaciones.

### 3 — El Proceso de Desequilibrio.

Cuando la aclimatación no se alcanza se desarrolla el Mal de Montaña Crónico (Monge). Consideraremos solamente dos aspectos de esta enfermedad: la forma inaparente, que concierne a la fisiología de la reproducción, y el Mal de Montaña Crónico, que constituye su mayor aspecto clínico. Algunas veces la altitud ejerce tal influencia perturbadora sobre las gonadas que la infertilidad se vuelve permanente. Nuestro trabajo experimental sobre este particular ha demostrado que gatos y conejos mantenidos a 14,900 pies de altitud muestran testículos cuyo epitelio germinal se encuentra enteramente destruido no obstante la aparente aclimatación. Con Encinas y Cabieses, hemos encontrado a 14,900 pies las mismas perturbaciones en la rata blanca, a pesar del hecho de que el aumento en peso de estos animales era perfectamente normal. La aclimatación, pues, era individual, pero no de especie. Moore (59) a 14,500 pies no confirmó estas investigaciones, pero constató formas subnormales de reproducción, canibalismo e incapacidad para la lactancia. Hemos encontrado también algunos casos de infertilidad temporal humana que desaparecía al retornar el sujeto a nivel del mar. Las referencias históricas (44) de la época de la Colonia confirman estos hechos.

No es este lugar para hacer la descripción del Mal de Montaña Crónico. Desde el punto de vista hematológico, la enfermedad puede estar representada por una muy elevada policitemia, hipervolemia, hiperhemoglobinemia, hiperviscosidad y muy baja saturación de oxígeno de la sangre arterial. Se encuentra una cantidad enorme de sangre a muy baja tensión de oxígeno que los tejidos son incapaces de extraer de la sangre. La asfixia es la consecuencia inevitable. Todos los sistemas, además, participan del proceso. Si al paciente se le conduce a lugares más bajos, puede balancear su medio interno con el ambiente hiperoxigenado, eliminando así el exceso de sangre desarrollado patológicamente. La vida, entonces, vuélvese normal. Pero, tarde o temprano, se presenta nuevamente el Mal de Montaña Crónico y el individuo debe bajar más aún o establecerse a nivel del mar. Sin duda alguna, el significado de la bioaclimatación es alcanzar un estado de equilibrio dinámico entre la fisiología del individuo y la del clima.

## BIBLIOGRAFIA

- 1.— Arca Parró, Alberto; 1944, **Censo Nacional de Población y Ocupación de 1940.**— Dirección General de Estadística del Perú.— Lima, Imprenta Torres Aguirre, S. A. I: CXXXVI-CXLI.
- 2.— Arellano, Alejandro; 1932, El líquido céfalo-raquídeo en la altura. Verificación de un caso de Enfermedad de Monge; **Rev. Neuropsiq.** Lima; II: 246-253; 1945, Presión intercraneal y gran altura; **Rev. Med. Ex-perim.** Lima, 188-215.
- 3.— Aste-Salazar, J. Humberto; 1936, Exploración funcional del sistema nervioso extra-cardíaco del andino; **An. Fac. Med.** XIX: 226-309.
- 4.— Aste-Salazar, J. Humberto; Hurtado, Alberto; 1944, The Affinity of Hemoglobin for Oxygen at Sea Level and High Altitudes; **Am. Journ. Physiol.** CXLII: 733-743.
- 5.— Barcroft, Joseph; 1925, **The Respiratory Function of the Blood**, Lessons from High Altitude; Cambridge, The University Press, 176.
- 6.— Boothby, W. M.; Bateman, J. W.; Helmholz, H. G.; Sheard, Ch.; 1945, Effects of High Altitude on the Composition of Alveolar Air; **Procc. Staff Mayo Clin.**, 2: 209-236.
- 7.— Bowman, Isaiah; 1938, **The Andes of Southern Peru**; Published by the American Geographical Society; New York, Henry Colt C<sup>o</sup>: 52-53. Los Andes del Sur del Perú, Edit. "La Colmena", 39-44.
- 8.— Broggi, Jorge A.: 1951, Climas del Perú. Conferencia de Ciencias Antropológicas IV Centenario de la Universidad Mayor de San Marcos (por publicarse).
- 9.— Cabieses-Molina, Fernando; 1946, Contribución al estudio del sistema nervioso vegetativo cardio-vascular en relación con la vida en las alturas; **An. Fac. Med. Lima.** XXIX: 5-124.
- 10.— Contreras, Leoncio; 1951, Metabolismo básico de residentes a 10,170 pies de altitud (Huancayo); Conferencia de Ciencias Antropológicas. IV Centenario de la Universidad Mayor de San Marcos (por publicarse).
- 11.— Delgado-Febres, Ernesto; 1949, La Bilirrubinemia; **An Fac. Med. Lima,** XXXII: 29-95.
- 12.— Dill, D. B.; Guzmán-Barrón E. S.; Hall, F. G.; 1936, Comparative physiology in high altitude; **J. Cell and Comp. Physiol.** 8: 3; 302-313.
- 13.— Dill D. B.; Christensen, E. H.; Edwards, H. T.; 1936, Gas equilibria in the lungs at high altitudes; **Am. Jour. Physiol.**; 115: 530-538.
- 14.— Dill, D. B.; Talbot, J. H. & Consolazio, W. B.; 1937, Blood as a physiochemical system; **J. Biol.** 118: 649-666.
- 15.— D'Orbigny, Alcides; 1944, **El Hombre Americano**; Buenos Aires, R. A., Edit. Futuro; 163.
- 16.— García-Godos, Mariano; 1945, Influencia de la posición del cuerpo sobre el pulso y la presión arterial. Observaciones hechas a nivel del mar y en la altura. **An Fac. Med. Lima.** XXVIII: 101-123.
- 17.— Hall, F. G.; 1936, The Effect of altitude on the affinity of Hemoglobin **J. Biol Chem.** 115; 485-490.

- 18.— Hurtado, Alberto; 1928, Algunas observaciones sobre el volumen del tórax, la capacidad vital y el metabolismo Básico en la altura; **An. Fac. Med. Lima**, 266-286.
- 19.—————; 1928, Estudios del Metabolismo Básico en el Perú (Tesis doctoral) **An. Fac. Med. Lima**. XI: 287-305.
- 20.—————; 1932, Studies at High Altitude, Blood observations on the Indian natives of the Peruvian Andes; **Am. J. Physiol**; 100: 487-505.
- 21.—————; 1939, Sobre un posible caso de Eritremia de la altura; **Actas Acad. Cien. Exac. Fis. y Nat. Lima**; II: 71-77.
- 22.—————; 1937, **Aspectos fisiológicos y patológicos de la vida en la altura**. Lima, Imprenta Rímac.
- 23.—————; 1942, Respiratory adaptation in the Indian natives of the Peruvian Andes; **Am. J. Phys. Anthropol.** 17: 137-159.
- 24.—————; 1942, Chronic Mountain Sickness; **J. A. M. A.** 120: 1278-1282.
- 25.—————; Rotta, Andres; 1934. La capacidad pulmonar en la altura. **Rev. Soc. Biol. Lima**, 1: 7-10.
- 26.—————; Pons, Julio & Merino, César; 1931, Estudios hematológicos. **An. Fac. Med. Lima**. XIX: 9-48.
- 27.—————; Aste-Salazar, J. H.; 1948, Arterial Blood Gases and Acid-Base Balance at Sea Level and High Altitude; **J. Applied Physiol.**, 1: 4: 304-325.
- 28.—————; Rotta, A.; Merino, C.; Pons, J.; 1937, Studies of myohemoglobin at high altitudes; **Am. J. Med. Sc.**, 194: 708-713.
- 29.—————; Merino, C.; Delgado, E.; 1945, Influence of Anoxemia on the Hematopoietic Activity; **Arch. Int. Med.**; 75: 284; 323.
- 30.— Keys, A.; Hall, F. G.; Guzmán-Barrón, E. S.; 1936, The position of the Oxygen dissociation curve of human blood at high altitude. **Am. J. Physiol.** 115: 292.
- 31.— Merino, César & Reynafarje, C.; 1949, Bone Marrow Studies in the Polycythemia of High Altitudes; **J. Lab. & Clin. Med.** 34: 637-347.
- 32.— Monge, Carlos; 1928, Sobre un caso de Enfermedad de Vaquez; Eritremia de Altura; **Crónica Médica**; 45: 3-77.
- 33.—————; 1928, La enfermedad de los Andes (Estudios fisiológicos y clínicos) **An. Fac. Med. Lima**, XI: 89-91.
- 34.—————; 1929, **Les Erythémies de l'Altitude. Leurs rapports avec la maladie de Vaquez**. Paris: Masson et Cie. Editeurs. 134 pages.
- 35.—————; 1929, "La Malattie delle Ande". **Giornale della Reale Acc. Med. Torino**. 92: 143-147.
- 36.—————; 1934, **Climatophysologie des Hauts Plateaux: Climatopathologie des Hauts Plateaux. Traité de Climatologie Medical** Paris; Masson et Cie. Editours. 7761, 785-1175-1181.
- 37.—————; 1937, "High Altitude Disease", **Arch. Int. Med.** 59: 32-40.
- 38.—————; 1939, "Perturbaciones Psíquicas en la Enfermedad de la Altura". **Rev. Neur. Psíqu.**, 2: 536-540.
- 39.—————; 1939, "El sistema Nervioso vegetativo del hombre de los Andes". **Jornadas Neurosiq. Pan-Amer. Panamá**, II: 56-59.

40. —————; 1942, "Fisiología de la Reproducción en la Altura". Aplicaciones a la Industria animal. **An. Facul. Med. Lima**, 25:19-33.
41. —————; 1951, Syndromes Biologiques et Cliniques produit par les changements d'altitude; **Bull. Acad. Suisse Sc. Med.** 7: 187-200.
42. —————; 1942, "Life in the Andes and Chronic Mountain Sickness" **Science Press**, 95: 79-84.
43. —————; 1943, "Chronic Mountain Sickness". **Physiol. Rev.** 23: 166-184.
44. —————; 1948, **Aclimatization in the Andes: Historical confirmations of Climatic Aggression in the development of Andean Man** (Preface of Prof. Isaiah Bowman). **Baltimore**, John Hopkins Press, 46, 113. Aclimatación en los Andes, Confirmaciones históricas sobre "la Agresión Climática", en el desenvolvimiento de las Sociedades de América **An. Fac. Med. Lima**. XVIII: 4; 307-382, 1945.
45. —————; 1948, Physiological Adaptations of dwellers in the Tropics. **Proceedings of 4th International Congresses on Tropical Medicine and Malaria**. Washington. U. S. Government Printing Office. I: 136-147.
46. —————; 1949, **Fisiología de la Respiración en la Altura**. Anales 2º Congreso Indig. Interam. Lima. 222-237.
47. —————; 1952, Physiological Anthropology of the dwellers in America's High Plateaus, **Proceedings of the 29th International Congress of Americanists**. **Chicago**. The University Chicago Press III: 361-373.
48. —————; 1953, Biological Basis of Human Behavior. International Symposium en Anthropological Sciences. Wenner Green Foundation, New York. **Anthropology Today —The Univ. Chicago Press—** 127-144.
49. —————; Enrique Encinas, Miguel Cervelli, Hugo Pesce y Víctor Vilagarcía; 1935, "Fisiología Andina". **An. Fac. Med. Lima**. 17: 1-42.
50. —————; and Hugo Pesce; 1935, "El sistema Nervioso Vegetativo del Hombre de los Andes". **An. Fac. Med. Lima**. 17: 43-59.
51. —————; Jorge Mejía, Víctor Palti y Arturo Salas; 1938, "Sobre algunos puntos de la bioquímica de la sangre. considerado como un sistema físico-químico en las alturas habitadas del Perú". **An. Fac. Med. Lima**. 21: 237-62.
52. —————; y Pablo Mori Chávez; 1942, "Fisiología de la reproducción en la altura". **An. Fac. Med. Lima**. 25: 34-39.
53. —————; et al. 1948, "Adaptaciones fisiológicas de los habitantes del trópico en relación con los cambios de altitud". **An. Fac. Med. Lima**. XXXI, 4: 432-52.
54. —————; Jehan Vellard; 1951, Correlación entre forma y función a diferentes altitudes. Presentado a la Conferencia de Ciencias Antropológicas. IV Centenario de la Universidad Mayor de San Marcos.
55. —————; Contreras, L.; Velásquez, T.; Reynafarje, C.; Monge C., C.; Chávez, R.; 1948, Adaptaciones fisiológicas de los habitantes del trópico en relación con los cambios de altitud; **An. Fac. Men. Lima**. XXXI: 431-452.
56. — Monge, C. Carlos; 1949, Glucosa, Acido Láctico y Acido Pirúvico a nivel del mar y en la altura; **An. Fac. Med. Lima**. XXXII: 1-78.
57. —————; 1952, Volumen pulmonar a diferentes altitudes Lima.

- 58.— Monge, L.; Castañón, J.; Accame, F.; 1947, Aspecto zootécnico de la aclimatación en los Andes. **Actas I Congreso Nac. Ingeg<sup>o</sup> Agron. Lima.** Vol. II. Pág. 279-290. Imp. Enrique Lulli.
- 59.— Moore, Carl; Price, Dorothy; 1948, A Study at High Altitude of Reproduction; grow sexual maturity and organ weighths, **J. Experim. Zool.**: 108, 2. 171-216.
- 60.— Newman, E. V.; Merrell, N. Genecin A.; Monge, Jr. C.; Milnor, W. R.; Mckeever, W. P.; 1951, The dye dilution method for describing the central circulation; **Circulation**; IV: 735-746.
- 61.— Pérez Aranibar, Eduardo; 1948, **Contribución al estudio del corazón del hombre en la altura.** Tesis Doctoral. Facultad de Medicina de Lima, Edit. Médica Peruana.
- 62.— Ríos, César de los; 1949, Contribución al estudio de la Electrocardiografía en la Altura; Tesis de Bachiller. **An. Fac. Med. Lima.** XXXII: 115, 148.
- 63.— Rosa-Medina E.; 1930, Contribución al estudio de la Eritremia de las Alturas. (Enfermedad de Monge). Tesis de Bachiller. Facultad de Medicina, Lima.
- 64.— Rotta, Andrés; 1938, La Circulación en las Grandes Alturas. **An. Fac. Med. Lima.** XXI: 285-354.
- 65.—————; 1947, Physiologic condition of the Heart in natives of High Altitudes. **Am. Heart. J.**, 33: 669-76.
- 66.—————; 1951, **Corazón y Altitud.** Conferencia de Ciencias Antropológicas. IV Centenario de la Universidad Mayor de San Marcos, Lima, Perú.
- 67.— Sáenz, Ricardo; 1939, Electrocardiografía en la Altura; **An. Fac. Med. Lima.** XXII: 237-59.
- 68.— San Martin, M.; Atkins, J.; 1942, Estudios sobre fertilidad del ganado lanar en la altura; **An. Fac. Med. Lima.** XXV: 41-52.
- 69.— San Martin, M.; Atkins, J.; Castañón, J.; 1945, Algunos aspectos de la Fisiología experimental de la reproducción en la altura; **An. Fac. Med. Lima.** XXVIII: 32-64.
- 70.— Talbot, J. H.; Dill, D. B.; 1936, Clinical observation at high altitude; **Am. J. Med. Sc.**, 192: 626-636.
- 71.— Talbot, J. H.; 1936, Morphology and oxygen - combining capacity of the blood; **Folia Hematologica**: 55; 23-36.
- 72.— Torres, Hernán; 1937, La presión arterial en hombres a nivel del mar y en las altiplanicies andinas; **An. Fac. Med. Lima.** XX: 349-407.
- 73.— Urteaga, B. Oscar; 1942, Discusión sobre la patogenia de algunos tipos de Icteria con especial referencia a la Icteria Hemolítica y a la Enfermedad de Monge; **An. Fac. Med. Lima.** XXV: 88-99; b: 1942, Sobre la hematología y particularmente la excreción de la bilirrubina en la Enfermedad de Monge (Soroche crónico); **An. Fac. Med. Lima.** XXV: 67-8.8
- 74.— Velásquez, Tulio; 1947, El Metabolismo Basal en la Altura; Tesis de Bachiller; **An. Fac. Med. Lima**; XXX: 194-215.
- 75.— Wintrobe, Maxwell; 1949, **Clinical Hematology**; Lea and Febiger; Edit.; 586-588 (página citada).
- 76.— Winchester, H. M.; 1951, **Genetics**; The Riverside Press Cambridge, N.Y.