

# DOCUMENTOS CIENTIFICOS

## ASPECTOS FISIOLÓGICOS Y PATOLÓGICOS DE LA VIDA EN LA ALTURA

ALBERTO HURTADO

ACTA MEDICA PERUANA se complace en reproducir este primer documento científico. Se trata del valiosísimo trabajo de incorporación del Profesor Alberto Hurtado a la Academia Nacional de Medicina en 1937. Por su restringida difusión y permanente actuali-

dad debe ser conocido por los médicos del Perú. Debido a razones de espacio, la reproducción ha tomado los aspectos más preciados del trabajo del Profesor Hurtado, especialmente las consideraciones sobre el Soroche Agudo o Enfermedad de Hurtado.

### CARACTERÍSTICAS FISIOLÓGICAS DEL NATIVO EN LA ALTURA

La altura ha sido considerada, de tiempo atrás, como fértil campo de investigación. Las primeras observaciones fueron orientadas con un espíritu netamente fisiológico estudiando los efectos transitorios de un estado de anoxemia. Más tarde, el rápido desarrollo de las vías de comunicación y el fácil acceso a altos lugares con poblaciones permanentes, unido al sorprendente desarrollo de la aviación que remonta hombres a alturas realmente fantásticas, añadió a estos estudios una faz de utilidad práctica.

Más lento, y quizás todavía no apreciado debidamente, es el reconocimiento de que estas investigaciones tienen un significado más allá de lo fisiológico, puesto que sirven para explicar mejor las características de los procesos de anoxemia que encontramos en tantas entidades morbosas.

Una revisión de la inmensa literatura acumulada por innumerables investigadores en muchos años de trabajo, muestra, curiosamente, que la mayoría de estas investigaciones se relacionan con los efectos producidos por estadias más o menos cortas en la altura o en cámaras de baja presión atmosférica, pretendiendo, erróneamente, comparar las observaciones recogidas con las características fisiológicas del hombre del llano. Han olvidado que la interpretación de los fenómenos de anoxemia es incompleta y falsa sino se toma como base fundamental comparativa las características fisiológicas del único organismo realmente adaptado a la anoxemia crónica, es decir, al nativo de la altura, al hombre o animal que ha nacido y desarrollado en este ambiente. Monge ha sido uno de los primeros en señalar la absoluta necesidad de estudiar al nativo de la altura y fijar sus características biológicas de hombre adaptado. Salvo muy contadas excepciones, carentes de importancia, todas las investigaciones a este respecto se han hecho en el nativo de nuestros Andes.

Revisemos brevemente cuáles son las características biológicas de este hombre. Fue Barcroft y sus colaboradores, en 1923, los primeros que demostraron

una baja saturación de O<sub>2</sub> en la sangre arterial de los habitantes de la altura. Esta observación fue confirmada más tarde por una Expedición de la Facultad de Medicina de Lima; y por nosotros en Morocha. En investigaciones que en la actualidad llevamos a cabo en La Oroya (12,200 pies, presión barométrica = 480 mm Hg) hemos encontrado un promedio de 87.1% de saturación de O<sub>2</sub> en la sangre arterial de individuos normales y residentes en este lugar. Recientemente Talbott y Dill han observado igual disminución en residentes de los Andes Chilenos. Estas diversas observaciones han probado, de una manera concluyente, que el hombre de la altura vive en un estado crónico de anoxemia, y que el grado de ésta es proporcional a la altura en que se halla. Este hecho es el mejor argumento que se puede oponer a la teoría de secreción vital de O<sub>2</sub> en la membrana alveolar (Haldane).

La anoxemia crónica ha impreso ciertas modificaciones en el fisiologismo de estos individuos nacidos y desarrollados en estas condiciones. Desde un punto de vista respiratorio estos caracteres poseen un interés especial e importante. Forbes, en 1870, fue el primero en llamar la atención sobre el amplio volumen torácico de los indígenas de nuestras serranías. Los datos acumulados por Barcroft y otros en sus estudios de Cerro de Pasco, confirmaron esta observación, y Keith, después de examinar algunas radiografías torácicas tomadas en aquella expedición, concluye de igual manera.

Igual observación fue hecha por nosotros en 1928, y más tarde, durante una prolongada estadia en Morococha (14,800 pies de altura; presión barométrica = 410 mm Hg) emprendimos un detallado estudio de los caracteres biométricos de los indígenas residentes. De los datos adquiridos en el examen de varios centenares de individuos, concluimos que el indígena peruano de las serranías posee un amplio y voluminoso tórax, comparado bajo la base de estatura y área de superficie con individuos de otras razas y al nivel del mar, y que este amplio tórax posee un buen poder de expansión y una mayor capacidad de ventilación pulmonar, evidenciado esto último por una elevada capacidad vital. Quizás el aspecto más interesante de este estudio lo constituyó la demostración de que estos ca-

racteres biométricos de adaptación respiratoria se encontraban también en la niñez y adolescencia, pues las observaciones incluyeron nativos desde los 4 años de edad.

Preciso fue profundizar aún más esta observación clínica y antropológica para hallar la explicación adecuada. Con este fin, examinamos con la generosa ayuda del Prof. Pedro Weiss, macroscópica e histológicamente pulmones de nativos sanos, muertos accidentalmente, y que habían residido por largo tiempo en este lugar (Morococha). A esas observaciones añadimos idénticos exámenes en pulmones de perros y cuyes nacidos en la altura. Lo que se encontró fue interesante y significativo. Los pulmones presentaban una evidente dilatación de los alveolos y un mayor calibre y ensanchamiento de los capilares en la membrana alveolar, confirmando así nuestras presunciones clínicas de años antes, cuando declaramos que uno de los procesos fundamentales de adaptación a la altura consistía en un estado de enfisema que denominamos "fisiológico".

¿Cuál es el significado de estos procesos al nivel pulmonar? La dilatación alveolar y capilar significa una mayor área de contacto entre el aire y la sangre, favoreciendo así la difusión de los gases respiratorios. Experimentalmente esto ha sido comprobado por Andersen y Cloetta; Churchill, Vézar y Krogh en sus monumentales trabajos sobre fisiología capilar han demostrado que en condiciones en las que hay una mayor demanda por oxígeno, la red capilar se dilata y ensancha y nuevas vías circulatorias entran en función, aumentando así la superficie de difusión. La posibilidad de que este último proceso ocurra a nivel pulmonar encuentra base experimental en las experiencias de Wearn y sus colaboradores, quienes han observado directamente en el microscopio la red capilar de los pulmones. Es interesante anotar que en 1909, Spehl y Desguin, observaron que los pulmones de conejos residentes en Cold d' Olon (3,000 metros de altura) contenían una mayor cantidad de sangre comparados con los que se hallaban en Bruselas.

Idénticos procesos de adaptación pulmonar a una mayor demanda metabólica han sido observados en la actividad muscular. Estudios que estamos verificando en la actualidad en La Oroya nos permiten afirmar que estos procesos anatómicos de dilatación alveolar se traducen en una mayor cantidad de aire residual, acompañados de una elevada capacidad vital, observaciones estas que confirman concluyentemente la existencia de un enfisema "fisiológico", compensador, en los nativos de la altura. La observación original de Bert, quien en 1882 observó que la sangre de hombres y animales residentes en la altura tiene una mayor capacidad de combinación con oxígeno, ha sido confirmada por la mayoría de los investigadores. En los nativos de los Andes Peruanos, esto ha sido demostrado por Barcroft y otros, Fitzgerald, Monge y sus colaboradores, Hurtado y Guzmán Barrón.

La mayor actividad eritropoyética se refleja en un aumento de reticulocitos en la sangre circulante, y ha sido también confirmada por estudio directo de la médula ósea. A esta mayor formación de hematíes corresponde, quizás por mecanismos de equilibrio, una

mayor destrucción globular, evidenciada en una cantidad elevada de bilirrubina en el plasma o suero.

La policitemia "normal" de los nativos de la altura constituye un proceso de adaptación que no es considerado de importancia fundamental por la mayoría de los investigadores. Dill y colaboradores hallaron sólo un pequeño aumento de Hb a 44,000 pies de altura y demostraron que no hay relación entre el nivel de policitemia y los síntomas experimentados. Idéntica observación fue hecha por nosotros en más de 400 observaciones practicadas en Morococha, comprobando una marcada variación en el nivel policitémico de los nativos indígenas, todos los cuales estaban perfectamente adaptados. Sin embargo, el aumento de hemoglobina puede indirectamente elevar la tensión venosa de oxígeno, y de esta manera influenciar en igual sentido la tensión capilar.

Desde el punto de vista de adaptación hemológica, quizás mayor interés se encuentra en la consideración de las características morfológicas del hematíe, pues recordemos siempre que es este último la unidad respiratoria a nivel hemático. En nuestras observaciones de Morococha, indicamos que el glóbulo rojo de los nativos de la altura posee un mayor volumen y que posiblemente esto significaba una mayor área de difusión, facilitando así el suministro de O<sub>2</sub> a los tejidos. En las investigaciones que llevamos a cabo en La Oroya en estos mismos nativos, hemos hallado idénticas características morfológicas: el glóbulo rojo tiene un mayor volumen y diámetro resultando esto en una mayor área de superficie. Esta demostración la hemos confirmado, con un estudio comparativo hecho en individuos que viven en el llano.

No hay en la literatura observaciones referentes al volumen de sangre circulante en los nativos y residentes en la altura. Esta investigación tiene especial importancia para poder fijar apropiadamente los caracteres de esta policitemia "normal", y para que sirva de base comparativa a estudios patológicos a los que nos referimos más adelante. En nuestras observaciones en La Oroya (próximas a publicarse) hemos encontrado que el volumen total de la sangre circulante no está aumentado en los nativos (comparando los resultados con los obtenidos al nivel del mar), pero en cambio, hay una elevación en el volumen de hematíes y en la cantidad de hemoglobina circulante. Corresponde a esta alteración una reducción proporcional en el volumen plasmático. Esta mayor proporción de hematíes a plasma es responsable del aumento de viscosidad sanguínea en los nativos.

Desde un punto de vista circulatorio, el fisiologismo del nativo de la altura ha sido muy poco estudiado y afirmaciones definitivas no pueden todavía hacerse. Monge y sus colaboradores del Instituto de Biología Andina han hecho algunas interesantes observaciones sobre el ritmo del pulso, pero es evidente que el significado de estos estudios es limitado mientras no se lleven a cabo observaciones más amplias y que se relacionen con la velocidad circulatoria, cantidad de sangre puesta en circulación por el corazón, etc. Clínicamente es fácil observar en estos nativos una dilatación capilar generalizada, y cuyo significado posible-

mente es el mismo que hemos discutido en relación con el ensanchamiento capilar a nivel pulmonar: Una mayor área de difusión para el intercambio gaseoso. Desde este punto de vista es un proceso compensatorio.

El estudio metabólico del individuo de la altura tiene una importancia fundamental. En numerosas observaciones que hemos llevado a cabo en diversos lugares de los Andes Peruanos, no hemos encontrado alteración significativa en el metabolismo básico. Es preciso estudiar el intercambio gaseoso y el equilibrio ácido-básico en la actividad muscular. Las observaciones que se han hecho al respecto necesitan de una revisión adecuada para poder llegar a conclusiones definitivas.

## ADAPTACION AL NIVEL TISULAR

En los párrafos anteriores hemos indicado que el nativo de la altura posee ciertos caracteres peculiares en su fisiologismo, impuestos por el estado de anoxemia crónica en que vive, y que pueden interpretarse como procesos compensatorios. Estas observaciones sugieren una lógica pregunta: Bastan estos procesos para explicar la profunda diferencia que existe, bajo el punto de vista de adaptación, entre el nativo de la altura y el individuo que sube del llano? Peters y Van Slyke en su clásica obra responden en sentido negativo. En parte nos asociamos a esta idea, pues es fácil advertir que de los procesos conocidos de adaptación, la mayor parte, sino todos, se refieren a mecanismos a nivel pulmonar y hemático. En 1932, cuando comentábamos las observaciones hematológicas hechas por nosotros en Morococha, concluimos que el suministro adecuado de O<sub>2</sub> a los tejidos constituía el problema básico y fundamental de la vida en la altura, es decir, señalamos el nivel tisular como el de importancia máxima recordando que la sangre llega a este nivel con una mayor cantidad de oxígeno, pero a menor tensión, y esto dificulta su adquisición por los tejidos.

En 1926, Whipple demostró la importancia fisiológica de la hemoglobina contenida en los músculos, encontrando una elevada cantidad de esta substancia en perros sometidos previamente a una intensa actividad muscular. La posible existencia de idéntico proceso de adaptación a la altura ha sido por largo tiempo una preocupación nuestra, y afortunadamente tuvimos la oportunidad de adquirir la técnica original de Whipple cuando trabajamos en sus laboratorios. Las observaciones preliminares que hemos llevado a cabo en perros nativos de la altura, y en colaboración con Rotta, Merino y Pons, nos hace afirmar, provisionalmente, que un aumento de la hemoglobina muscular constituye un proceso de adaptación a la anoxemia crónica de la altura. Creemos que esta demostración, no hecha anteriormente por investigador alguno, posee una importancia incalculable y abre un nuevo horizonte en la explicación, hasta hoy inadecuada, del porqué el nativo de la altura es capaz de vivir normalmente y aún desarrollar una admirable eficiencia muscular en condiciones de anoxemia constante. La miohemoglobina facilita la adquisición de oxígeno por los tejidos, proceso éste en el que descansa todo el problema de la altura.

Antes de terminar el capítulo referente al hombre en la altura, es natural preguntar si los procesos de adaptación que se observan en él constituyen caracteres raciales (idiotras caracteres), transmitidos de generación en generación, o si representan caracteres adquiridos (paracarakteres) después de la vida fetal. Pregunta ésta de enorme significado biológico, y cuya respuesta no es posible formularla todavía. Transportado al llano, este hombre de la altura modifica su fisiologismo. Es esta "modificación", el retorno a un estado normal, o es, en cambio, una variación de carácter patológico? Más como una observación aislada e interesante es que, como una demostración de alto significado, mencionaremos el hecho de que en un recién nacido, estudiado en La Oroya, hemos encontrado en el momento mismo del nacimiento y en los días sucesivos, una mayor cantidad de hemoglobina y un mayor número de hematíes en la sangre circulante que en recién nacidos observados a nivel del mar (investigaciones inéditas de Pons y Merino). Posiblemente esto se relaciona con el suministro materno de una sangre anoxémica durante la vida fetal, es decir, que ha existido un estímulo eritropoyético antes del nacimiento.

## PROCESOS DE ADAPTACION QUE OCURREN AL ASCENDER A LA ALTURA

El individuo y animal procedente del llano y que asciende a la altura, experimenta ciertas alteraciones, la mayoría de las cuales pueden interpretarse como procesos de adaptación al estado de anoxemia que rápidamente se desarrolla. Es inútil insistir sobre la necesidad de mencionar estos procesos antes de poder discutir adecuadamente los fenómenos patológicos (Soroche) que suelen presentarse en aquellas condiciones.

El mayor número de observaciones que se han hecho se refieren a procesos respiratorios y hematológicos observados durante una breve estadía en la altura y en cámaras de baja presión atmosférica.

Anatómicamente ocurren interesantes alteraciones al nivel pulmonar. En 1894, Kronecker halló congestión y dilatación de los capilares en animales sujetos a una baja tensión atmosférica, y esta observación fue confirmada más tarde por Tigerstedt, Bartlett, Jacobi, Rippstein, Vacek y en los últimos años por Campbell y Schubert. Acompaña a estas alteraciones una dilatación de la cavidad alveolar, cuyas paredes se ensanchan sin que ocurran alteraciones estructurales, lo que corresponde a un verdadero proceso de enfisema "fisiológico". Esta última observación ha sido hecha por algunos de los investigadores ya citados y por otros.

En 1934, en colaboración con Kaltreider y McCann, observamos alteraciones similares en pulmones de cuyes sometidos por dos horas a una presión equivalente a 46,400 pies de altura. Recientemente Mori Chávez ha encontrado idénticos procesos en pulmones de diferentes animales, después de una breve estadía en diferentes lugares de los Andes.

A estas alteraciones anatómicas en el pulmón, las que pueden considerarse como rápidos procesos de adaptación, ya que fundamentalmente aumentan la superficie de difusión y facilitan la adquisición de O<sub>2</sub>,

corresponden otras alteraciones no menos interesantes. Prinzmetal demostró experimentalmente en animales que la anoxemia causa un aumento en el perímetro torácico y una mayor negatividad en la presión intrapleurar. Esta última observación ha sido confirmada recientemente por García Rosell en enfermos tuberculosos durante una ascensión a los Andes.

Todos los investigadores están de acuerdo en afirmar que un aumento de la ventilación pulmonar (mayor volumen de aire respirado por minuto) es uno de los procesos más constantes que ocurre en la altura, y que esto resulta en una elevación de la tensión del O<sub>2</sub> alveolar, con la correspondiente disminución de la tensión del CO<sub>2</sub>. Últimamente se ha indicado que este aumento en la ventilación se efectúa por estímulo del seno carotideo.

Una de las alteraciones que se ha observado con mayor frecuencia es la disminución de la capacidad vital al ascender a la altura, siendo esta disminución proporcional a la altura alcanzada. Este proceso se debe posiblemente a una menor elasticidad de la membrana alveolar por efecto de la congestión y engrosamiento capilar. Idéntica explicación se ha hecho a la reducción de la capacidad vital en casos de insuficiencia circulatoria, hipótesis que ha sido comprobada en los estudios experimentales de Drinker, Peabody y Blumgarí. Es importante anotar el hecho de que Schneider ha demostrado que la inhalación de oxígeno puro, en condiciones de baja presión atmosférica, aumenta la capacidad vital, observación que sugiere una correspondiente disminución en la dilatación capilar de la membrana alveolar e indica que este último proceso no es un efecto mecánico sino una reacción compensadora al estado de anoxemia.

Proporcionalmente a la disminución de la capacidad vital hay aun aumento moderado en el aire residual, como ha sido demostrado por nosotros en observaciones hechas en la cámara de baja presión atmosférica. Esta observación confirma el desarrollo de un proceso enfisematoso compensador durante las primeras horas de exposición a una baja tensión atmosférica.

Todos los que han estudiado los efectos de una baja tensión de oxígeno están de acuerdo en afirmar que en los hombres y animales, sujetos a esta influencia, se produce un rápido aumento en los hematíes y hemoglobina circulante. Las observaciones fundamentales de Barcroft y otros, han demostrado que esta eritrocitosis inmediata, es debida, a lo menos en parte, a la contracción del bazo, órgano de reserva y almacén de hematíes. Teniendo en cuenta la capacidad limitada de este órgano es posible que otros mecanismos también intervengan en la liberación de hematíes. Se ha sugerido que la médula ósea posee igual mecanismo.

Algunos investigadores han estudiado el volumen de sangre circulante en hombres y animales, después de algunos días de residencia en la altura, y la mayoría de ellos afirman que ocurre un ligero aumento en el volumen absoluto de hematíes.

Con respecto al equilibrio ácido-básico en la sangre circulante se ha observado en diversas investiga-

ciones, una ligera tendencia a la alcalosis al llegar a la altura. Preciso es recordar que la cantidad de CO<sub>2</sub> en la sangre circulante sufre una reducción apreciable en estas condiciones. Una mayor alcalinidad favorece la adquisición de oxígeno por la hemoglobina circulante pero dificulta la liberación de este gas a nivel de los tejidos. Interesante a este respecto es la reciente observación de Edwards en los Andes Chilenos. Este investigador ha encontrado sólo un ligero aumento de ácido láctico en la sangre, en condiciones de reposo y después de la actividad muscular, y advierte que en la altura no hay acumulación de grandes cantidades de esta substancia, lo que sugiere la existencia de un mecanismo de protección. Diversas observaciones referentes al metabolismo básico de los recién llegados a la altura ha indicado que no existen variaciones apreciables; el consumo de oxígeno, computado bajo la base del área de superficie del cuerpo, tiene más o menos idénticos valores en el llano y en la altura.

Desde un punto de vista circulatorio la mayoría de las observaciones, se han hecho con referencia al ritmo del pulso, tensión arterial y venosa, y es preciso que se hagan investigaciones más completas para poder escribir el capítulo definitivo de la inmediata adaptación circulatoria a un estado de anoxemia.

Muchos investigadores están de acuerdo en afirmar que en condiciones de anoxemia aguda ocurre una dilatación del corazón. Meyer y Strohl han indicado que esta dilatación afecta preferentemente al ventrículo derecho, lo que quizás se explica por el aumento de tensión pulmonar que resulta de la congestión de los capilares de este órgano.

Alteraciones electrocardiográficas, consistentes en variaciones de la onda T y en el segmento S-T, en estados de anoxemia, han sido descritas últimamente. Una dilatación marcada y generalizada de los capilares ha sido igualmente observada en individuos recién llegados a la altura.

De esta rápida revisión de las observaciones más importantes que se han hecho en individuos y animales, durante las primeras horas o días de haber estado expuestos a una baja tensión atmosférica, es evidente que un mayor acopio de datos es necesario para la dilucidación definitiva del importante problema de la aclimatación.

El individuo que asciende a la altura experimenta alteraciones en su fisiologismo que lo acercan a las características fisiológicas del nativo y residente en la altura. Y que estas alteraciones, o mejor dicho procesos compensatorios, pueden ser realmente efectivos ha sido ya demostrado por la audacia humana, que no ha trepado en enviar un puñado de héroes a una altura de 28,000 pies, en un vano esfuerzo de conquistar al célebre Monte Everest.

## SOROCHE

Acosta, en 1596, en una admirable descripción de los síntomas que experimentó al atravesar una "sierra altísima", en el Perú, atribuyó aquellos al "ayre subtilísimo". Trescientos años más tarde Paul Bert

reemplaza estas palabras por términos más científicos, e indica que la patogenia del Soroche se debe fundamentalmente a la baja tensión del oxígeno atmosférico. Hasta hace muy pocos años nada de importancia había agregado a estas observaciones, pues si bien es cierto que siempre ha existido uniformidad de opinión en atribuir fundamentalmente la sintomatología de este síndrome al factor anoxemia, en cambio muchas han sido las teorías avanzadas en explicar el mecanismo de producción.

Encinas ha hecho una completa descripción de estas teorías, la mayoría de las cuales tienen hoy sólo un interés histórico. Pasemos igualmente por alto la sintomatología, tan rica y variada, de este síndrome. Mencionemos únicamente que gran parte de esta sintomatología se debe a alteraciones relacionadas con el sistema nervioso central y periférico, y que existen marcadas variaciones de individuo a individuo, tanto en la clase de síntomas como en la intensidad de ellos. Variaciones también existen en relación con el nivel de altura necesario para que ocurran estos síntomas, y el tiempo de estadía antes de la iniciación.

Ciertos aspectos climáticos aguardan todavía la explicación adecuada, tal como la existencia de ciertos lugares donde los casos de Soroche son más frecuentes, comparados con otras regiones a igual o mayor altura.

La causa del Soroche ha sido siempre atribuida a factores pulmonares. Kronecker, en 1894, y años más tarde Bartlett atribuyeron la sintomatología a los procesos congestivos pulmonares, que a su juicio alteraban seriamente la eficiencia de la función respiratoria. Recientemente, Mori Chávez, basándose en observaciones experimentales en animales, explica las alteraciones que

se observan a nivel pulmonar por factores nerviosos y humorales.

En 1922 Harrop observó que aquellos miembros de la expedición de Barcroft que presentaban, al nivel del mar, un coeficiente bajo de difusión al oxígeno, desarrollaron más tarde síntomas de Soroche al ascender a Cerro de Pasco. Fundándose en esta observación, y en estudios clínicos, Monge, en 1928, formula su hipótesis sobre la patogenia de este síndrome, clasificándolo como una Eritremia Aguda, y atribuyendo la sintomatología a un defecto de permeabilidad de la membrana alveolar.

A nuestro juicio las teorías pulmonares del Soroche no toman en cuenta el aspecto básico del problema de la altura, o sea que la dificultad no reside precisamente en adquirir oxígeno a nivel pulmonar, puesto que en la mayoría de los casos, con y sin Soroche, la sangre arterial abandona los pulmones con una mayor cantidad de este gas. La dificultad estriba en su adquisición por los tejidos, pues la baja tensión a que es transportado, hace difícil dicho proceso. Esta concepción fundamental y lógica del problema traslada al nivel de los tejidos el mecanismo responsable de la adaptación o la imposibilidad de adquirir ésta.

Las observaciones de Harrop no han sido confirmadas por ninguna otra investigación posterior, y carecen de la corroboración esencial para ser admitidas sin réplica: la demostración de un coeficiente bajo de la difusión en el momento mismo del soroche. En cambio las recientes observaciones de Guzmán Barrón, Dill, Edwards y Hurtado en Ticlio (4,740 metros de altura; presión barométrica 432 mm. Hg), tienen un significado que podemos clasificar de concluyente, en

**TABLA Nº 1**  
**INVESTIGACION EN EL SOROCHÉ**  
(Ticlio a 15,500 pies de altura)

SANGRE ARTERIAL		p O <sub>2</sub>		AIRE ALVEOLAR		HEMOGLOBINA	
‰ saturación O <sub>2</sub>		AIRE ALVEOLAR		p CO <sub>2</sub>		Cms. x 100 cc.	
Soroche	Sin Soroche	Soroche	Sin Soroche	Soroche	Sin Soroche	Soroche	Sin Soroche
74.6	72.9	53.9	49.8	23.9	26.9	17.1	14.7
70.3	78.7	50.9	49.5	24.8	26.4	17.8	17.2
81.7	73.8	....	44.1	....	30.1	16.9	14.7
....	65.4	....	....	....	....	....	15.8
....	75.3	....	45.0	....	29.7	....	17.9
....	73.3	....	74.0	....	28.3	....	18.3
PROMEDIOS							
75.5	73.2	52.4	47.1	24.3	28.3	17.3	16.4

(De Guzmán Barrón, Dill, Edwards y Hurtado)

excluir factores pulmonares de la etiopatogenia, del Soroche. Estos investigadores demostraron que la ocurrencia del Soroche en un grupo de 10 individuos no tuvo relación alguna con la tensión del O<sub>2</sub> y CO<sub>2</sub> en el aire alveolar, con el grado de saturación de la sangre arterial (grado de anoxemia) y con la cantidad de Hb circulante. A propósito de esta última observación creemos que la sustitución del término Soroche por el de Eritremia no tiene fundamento adecuado, puesto que la iniciación o severidad de los síntomas no tiene relación alguna con el grado de policitemia y aún más, este síndrome puede ocurrir sin policitemia demostrable. Los investigadores ya citados concluyen que probablemente el sistema tisular de transporte de O<sub>2</sub>, en el cual tiene un rol fundamental la miohemoglobina, desempeña un papel importante en la patogenia del Soroche. Si a esta conclusión añadimos nuestras observaciones de haber encontrado un aumento de esta substancia en animales nativos de la altura, la importancia de ambos estudios adquiere aspectos fundamentales.

Dill, Christensen y Edwards, en sus recientes estudios en los Andes Chilenos, tampoco hallaron relación alguna entre la sintomatología de falta de adaptación y la tensión del O<sub>2</sub> alveolar y el grado de anoxemia, determinado este último por análisis de la sangre arterial. Tales observaciones confirman y corroboran lo demostrado en Tielcio, e indican una vez más que la patogenia del Soroche no se encuentra a nivel pulmonar.

Las investigaciones de Campbell, en 1927, adquieren ante estos hechos una importancia singular. Este investigador observó una elevada tensión de O<sub>2</sub> en los tejidos de animales (conejos) que mostraban una buena adaptación a una baja tensión de oxígeno, mientras que en aquellos (gatos, monos) que exhibían síntomas evidentes de falta de adaptación, la tensión tisular de ese gas era más baja.

Grollman en 1930, en sus estudios de fisiología circulatoria en Pike's Peak, sugirió que las formas benignas de Soroche podrían deberse a una baja tensión de oxígeno al nivel venoso, indicando que esta tensión es la que mejor representa igual característica al nivel tisular. Indirectamente, Grollman colocó la patogenia de estos casos a nivel tisular.

Hay también cierta evidencia indirecta en favor de una teoría tisular del Soroche. Barcroft y otros han indicado la similitud que existe entre la sintomatología de este síndrome y la que ocurre en el alcoholismo agudo, y en 1926 Palthe demostró que este último proceso es esencialmente un estado de anoxemia tisular, debido a la imposibilidad en que se encuentran las células de los tejidos en utilizar el oxígeno.

Hay sin embargo un tipo de Soroche, bastante raro e infrecuente, caracterizado por la presencia de una intensa congestión y edema pulmonar. Posiblemente en estos casos existe un factor cardíaco anterior, de debilidad miocárdica, y el episodio agudo y severo al llegar a la altura puede más clasificarse como un estado de insuficiencia circulatoria, que de verdadero Soroche. El siguiente caso ilustra esta clase de Soroche:

**Caso 1.**— Hombre, 58 años de edad, natural de Junín y de raza indígena. Durante los últimos 29 años

ha residido en la altura. Ha estado en Lima en varias ocasiones y jamás ha tenido Soroche al regresar.

Después de estar en Lima durante tres días regresa a La Oroya utilizando el tren. A la altura de Casapalca (13,600 pies de altura) siente un fuerte malestar, principia a toser y nota que el esputo contiene una gran cantidad de sangre "negra". Pronto se añaden a sus síntomas: cefalalgia, disnea intensa y cierta incoordinación mental.

Llega a La Oroya y permanece en su casa encontrándose en idénticas condiciones al día siguiente cuando lo examinamos.

El examen presenta: ortopnea, cianosis muy intensas, expresión de ansiedad. 120 pulsaciones y estertores húmedos y crepitantes sobre ambos pulmones. La expectoración es típicamente abundante, espumosa y roja (contiene sangre).

Una radiografía torácica muestra una evidente disminución de la transparencia pulmonar; esta alteración más marcada en ambas bases. Las diversas investigaciones practicadas entonces se encuentran en Tabla 2.

**TABLA N° 2**

**Investigaciones hechas en Caso 1\***

	Con Soroche	Sin Soroche*
<b>SANGRE VENOSA</b>		
Hematíes (millones por mm <sup>3</sup> )	4,350.000	5,480.000
Hemoglobina (gms. por 100cc.)	18.48	16.26
Hematocrito (hematíes %)	52.0	47.3
<b>SANGRE ARTERIAL</b>		
Contenido de CO <sub>2</sub> (Vol %)	37.58	38.68
Contenido de O <sub>2</sub> " "	18.86	18.35
Capacidad por O <sub>2</sub> " "	24.78	21.80
Saturación con O <sub>2</sub> (por ciento)	76.7	84.1
<b>CIRCULACION PULMONAR</b>		
Total (segundos)	13 4/5	
Arterio-capilar (segundos)	6 1/5	
Venosa " "	7 3/5	
<b>CAPACIDAD PULMONAR</b>		
Aire Residual (litros)	2.19	2.70
Aire de Reserva "	0.34	0.62
Capacidad media "	2.53	3.32
Aire complementario "	1.16	2.10
Capacidad vital "	1.50	2.72
Capacidad total "	3.69	5.42
Relación Residual Total X 100	68.5	49.8

(\*) Investigaciones hechas en La Oroya (12,200 pies de altura)

(\*\*) Dos meses después de las primeras investigaciones.

Bajado a Lima el enfermo mejora lentamente y después de dos meses asciende nuevamente. Un detenido examen en esta oportunidad revela signos de insuficiencia circulatoria (disnea, congestión de las bases pulmonares y edema de las extremidades); sin embargo no presenta esta vez síntomas agudos de falta de adaptación.

En casos como el que acabamos de describir, existen factores pulmonares los que, indudablemente, influyen en el cuadro fisiopatológico. Hay una evidente alteración en la capacidad pulmonar (aumento del aire residual y disminución acentuada de la capacidad vital) y un elevado grado de anoxemia (disminución de la saturación de la sangre

arterial). Es interesante observar la normalidad del tiempo de circulación pulmonar en el circuito arterio-capilar, lo que indica una buena permeabilidad de la membrana alveolar al gas usado (éter) en la determinación.

En relación con estos casos de Soroche, con congestión y edema pulmonar, los que posiblemente dependen, a lo menos en parte, de alteraciones miocárdicas establecidas anteriormente, es interesante mencionar que Campbell ha encontrado signos de degeneración miocárdica en animales expuestos a una baja tensión atmosférica por varias semanas y que Tigerstedt y Mori Chávez han observado un proceso de edema pulmonar en animales, sujetos a iguales condiciones experimentales.