

## BIOCLIMATOLOGIA DE MONTAÑA EN CHILE. II ENTALPIA DEL AIRE

Drs. ERNST R. HAJEK\* Y PATRICIO RUBIO\*

### BIOCLIMATOLOGY OF MOUNTAINS IN CHILE. II AIR ENTHALPY.

*Air enthalpy was used as an index to study the bioclimatic characteristics of a mountain basin in Central Chile (about 33 degrees latitude south). The Brazol (1954) scale of thermal sensation was applied. Gradients were determined between 500 and 4000 m of altitude along the year and results are presented as isolines of air enthalpy for both the months of January and July. Altitudinal and latitudinal gradients were also compared. Practical use of this index for medical purposes is further discussed. (Key words: Environmental health; Climate: Air).*

Las actividades normales del hombre lo relacionan en forma permanente con su medio, ya sea bajo condiciones naturales o artificiales. Las relaciones más manifiestas son con el ambiente atmosférico en todos sus niveles de acción y el clima constituye, así, uno de los elementos de mayor preponderancia. La Biometeorología (o Bioclimatología en algunos países) ha sido definida en 1956 por la International Society of Biometeorology<sup>1</sup> como la disciplina que estudia las interrelaciones entre las condiciones físico-químicas de la atmósfera y los organismos vivos, plantas, animales y el hombre.

El hombre, inserto en este ambiente atmosférico, va a responder, por ejemplo, a la temperatura, pero ésta a su vez estará siendo modificada por la humedad, viento, niveles de radiación y otros factores, aumentando además la complejidad de estas relaciones con los cambios en el vestuario y en el propio metabolismo del individuo.<sup>2</sup>

La disipación continua de energía de alta utilidad como los alimentos, que se transforman en energía de baja utilidad como el calor, permite a los organismos, ecosistemas, y, por ende, a la biosfera, la creación y mantención de un elevado orden interior (baja entropía).<sup>3</sup>

Mirado en una perspectiva energética, el cuerpo humano pierde calor por radiación, conducción, convección y evaporación. El hombre, endotérmico, es capaz de mantener una temperatura corporal constante dentro de un rango relativamente pequeño, dependiendo esta temperatura de un equilibrio entre producción y disipación de calor, estando todo ello regulado por leyes puramente físicas y físico-químicas.<sup>4</sup>

La inadecuada respuesta del organismo (malestar climático) puede predisponer a enfermedades y es sabido que algunas de ellas son afectadas en su iniciación, duración e intensidad por la variabilidad de los factores climáticos.<sup>5, 6, 7</sup> Ello también es válido para todo tipo de enfermedades de carácter estacional, en que los factores del medio físico juegan un rol significativo.

Para muchos de los propósitos prácticos se ha reducido el análisis de las reacciones en el cuerpo humano en relación a las variables del ambiente físico, principalmente a la temperatura y humedad del aire. En este sentido, Brazol<sup>8, 9</sup> ha diseñado una escala para la evaluación bioclimática de la entalpía del aire, sobre la base de sus estudios de amplios sectores del mundo.

La entalpía del aire es el contenido total de calor de la atmósfera excediendo puntos "0" (cero) arbitrarios -18°C para el aire seco y 0°C para el vapor de agua.<sup>10</sup> Se ha sugerido<sup>11</sup> que una ventaja de este índice son sus unidades (kcal/kg), que son consistentes con las de unidades metabólicas.

Brazol ha caracterizado sobre la base de su escala, los climas hipertérmicos, óptimos e hipotérmicos a los cuales corresponden ciertos valores de entalpía (Tabla 1). La entalpía de 9,2 kcal/kg fue estimada como el óptimo climático para todo el mundo. Este valor es cercano al óptimo del intercambio energético (trabajo liviano) multiplicado por un factor de 2, lo cual da aproximadamente 9,0 kcal/kg. La sensación de bienestar térmico depende del tipo de actividad y de la entalpía del aire. Así, por ejemplo, se produce la sensación de bienestar térmico cuando un individuo en reposo (metabolis-

Recibido el 20 de julio, 1981. Aceptado en versión corregida el 27 de octubre, 1981. Contribución chilena N.º 38 al Programa "El Hombre y la Biosfera" (MAB-6). Proyecto Andino PNUMA/UNESCO (1105-7701).

\*Departamento de Biología Ambiental y de Poblaciones, Instituto de Ciencias Biológicas, Pontificia Universidad Católica de Chile, Santiago.

mo basal) se ve enfrentado a una entalpía del aire de 13 kcal/kg o cuando éste realiza un trabajo pesado (metabolismo basal multiplicado por un factor de 4) y se encuentra en un ambiente con una entalpía de 3,0 - 3,3, kcal/kg.<sup>12</sup>

De acuerdo a la Tabla 1, también es posible expresar la entalpía del aire como "temperatura equivalente". Entenderemos como temperatura equivalente a la temperatura que tendría el aire si todo su vapor de agua se condensara, usándose el calor latente para calentar el aire.<sup>10</sup> En este caso, a los 9,2 kcal/kg correspondería 13,8°C de temperatura húmeda o una temperatura equivalente de 37,5°C. Gregorczyk<sup>11</sup> ha partido de estos estudios básicos y ha hecho una interpretación de la entalpía del aire a escala global, para el mes de enero y julio. Hajek<sup>13</sup> ha estudiado los bioclimas de Chile en función de la entalpía del aire y ha definido las condiciones de sensación térmica en un gradiente latitudinal del mes de enero y julio, presentando además las condiciones normalizadas de 500 m de altitud para todo el país y todo el año calendario. Este autor establece que para el mes de enero el gradiente es de aproximadamente 0,23 kcal/kg y, en julio, de 0,22 kcal/kg por cada grado de latitud creciente. En Chile es posible observar 9 categorías de la escala de Brazol desde el norte del país hasta el sector antártico.

En la literatura especializada es posible encontrar trabajos de Bioclimatología humana sobre la base de ejemplos puntuales e interacciones, pero, en general, con escasas proyecciones en cuanto a su sentido geográfico;<sup>14</sup> este podría ser de enorme utilidad en este país con un gradiente climático relati-

vamente marcado en sentido latitudinal y altitudinal y que ya ha sido analizado con otra perspectiva en trabajos anteriores,<sup>15</sup> definiéndose además, las características generales de los bioclimas de montaña (Hajek et al. datos no publicados). Ello tendría proyecciones prácticas de prevención, ya sea médica o arquitectónica de enfermedades, al considerarse el componente climático con una mayor profundidad en las distintas fases de planificación nacional y como puede verse, también, en aplicaciones de terapia climática propuesta por diversos investigadores.<sup>14, 2</sup>

Los objetivos de este trabajo son analizar las características de la entalpía del aire en un gradiente altitudinal de la zona central del país y definir las condiciones de sensación térmica para una cuenca intermontana en la Zona Central de Chile, comparándolas con los gradientes latitudinales.

MATERIAL Y METODO

Para el análisis se utilizó la información de temperatura y humedad del aire en medias mensuales que se generó en los marcos del Subproyecto de Clima (UNEP/UNESCO 1105-77-01) para diversas altitudes desde los 500 a los 4000 msnm. Estos datos permitieron calcular la presión de vapor mediante las conocidas fórmulas psicrométricas, y la entalpía del aire, mediante la siguiente ecuación según Mollier, modificada por Bradtke y Liese.<sup>6</sup>

$$i = 0,24 t + \frac{0,622 (0,46 t + 595) e}{755-e}$$

Tabla 1. Escala de sensación térmica (según Brazol 1951, 1954)

Grado	Sensación climática	Temperatura del aire			Entalpía del aire kcal/kg	Clasificación antropoclimática
		Seca °C	húmeda °C	Equivalente °C		
12	Calor letal	-	> 35	119	> 31	hipertérmicas
11	Calor intolerable	-	32-35	103-119	26-31	
10	Calor sofocante	-	26-32	76-103	19-26	
9	Calor bochornoso	-	18,3-26	50-76	12-19	
8	Muy caluroso	-	16,6-18,3	45-50	11-12	
Bienestar	En verano (calor agradable)	-	14,8-16,6	40-45	10-11	hipotérmicas
	Máximo (Otoño-primavera)	-	12,8-14,8	35-40	8,5-10	
	En invierno (fresco suave)	-	10,8-12,8	30-35	7,5-8,5	
4	Fresco	10-15	8,5-10,8	25-30	6,0-7,5	hipotérmicas
3	Frío moderado	5-10	3,5-8,5	15-25	3,5-6,0	
2	Frío	0-5	0,5-3,5	10-15	2,5-3,5	
1	Frío glacial	< 0	< 0,5	< 10	< 2,5	

donde  $i$  es la entalpía del aire en kcal/kg, 0,24 es el calor específico del aire seco en kcal/kg, 0,622 el peso específico del vapor de agua, 755 la presión media del aire en mm Hg, 0,46 es el calor específico de la presión de vapor en kcal/kg°C y 595 es el calor de vaporización en kcal/kg a 0°C.  $t$  y  $e$  son, respectivamente, la temperatura en °C y la presión de vapor en mm Hg.

La aplicación de la ecuación permitió determinar la entalpía del aire para cada uno de los meses del año y en incrementos de 500 m para las altitudes entre 500 y 4.000 m de la zona central de Chile. Esta información fue luego vaciada a diagramas de isopleas para todas las altitudes mencionadas y ajustadas a las diversas altitudes del valle del río San Francisco, (lat. 33°S) de acuerdo a las categorías de sensación térmica de Brazol (Tabla 1).

## RESULTADOS

Para un primer análisis que tenga la componente temporal y espacial altitudinal nos sirve la Tabla 2, que muestra los valores de entalpía calculados para los diversos puntos del transecto, entre los 500 y 4000 m.

En esta Tabla puede verse que la entalpía se mueve entre valores de 10,6 para el mes de enero a 500 m, y de -1,0 para el mes de julio a 4.000 m de altitud. Aplicada la escala de Brazol a los valores de entalpía obtenidos, se trazó en la Figura 1 un sistema de isopleas que define áreas según las condiciones existentes en diferentes altitudes a lo largo del año. En esta Figura destaca una gran área témporo-espacial con valores de entalpía inferiores a 2,5, es decir, en la categoría que Brazol define, dentro de los climas hipotérmicos, como de "frío glacial". Estos se extienden desde febrero a diciembre a los

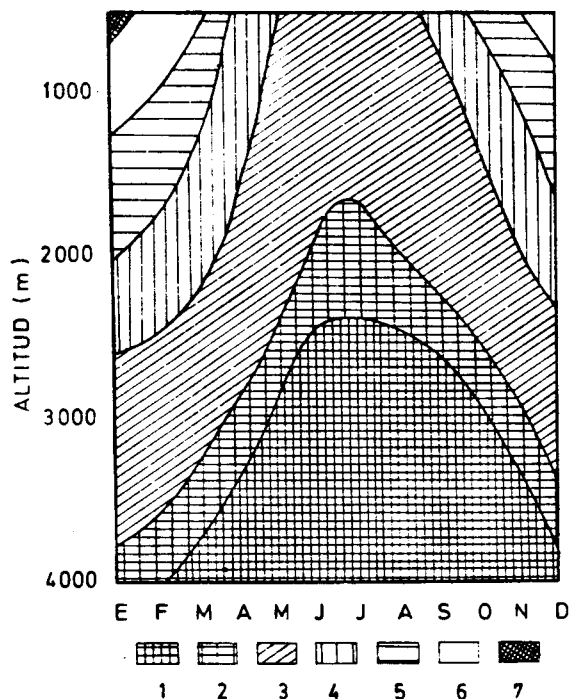


Figura 1. Isopleas de la entalpía del aire según categorías de Brazol<sup>8</sup> en un gradiente altitudinal entre 500 y 4.000 m en la zona central de Chile (para explicaciones de las categorías 1 a 7, ver Tabla 1).

4.000 m de altitud y se reducen a prácticamente un mes a los 2.500 m. Sucesivamente, al disminuir la altitud, las condiciones tienden a hacerse más favorables en la perspectiva de la sensación térmica humana. El área que en la Figura 1 se define con el número 5 corresponde, junto con la 6 y la 7, a las áreas más favorables, incluidas las categorías de fresco suave, bienestar máximo y calor agradable. Esta área es bastante restringida, comparada con el

Tabla 2. Entalpía del aire a lo largo del año en la zona central de Chile, entre los 500 y 4.000 m de altitud (Valores en kcal/kg).

Altitud m	ENE.	FEB.	MAR.	ABR.	MAY.	JUN.	JUL.	AGO.	SEP.	OCT.	NOV.	DIC.
500	10,6	9,6	8,9	7,5	6,2	5,2	5,2	5,6	6,3	7,5	8,4	8,8
1.000	8,8	8,5	8,1	6,9	5,6	4,5	4,4	4,8	5,3	6,4	7,5	8,3
1.500	8,1	7,8	7,3	6,3	5,0	4,0	3,6	4,1	4,5	5,6	6,6	7,6
2.000	7,5	7,3	6,6	5,6	4,3	3,3	3,1	3,4	3,9	4,8	5,8	6,8
2.500	6,2	6,0	5,1	4,4	3,4	2,4	2,4	2,4	2,7	3,5	4,3	5,5
3.000	5,0	4,9	4,0	3,3	2,4	1,5	1,2	1,2	1,6	2,3	3,1	4,4
3.500	3,8	3,8	2,9	2,3	1,3	0,5	0,1	0,2	0,6	1,1	1,9	3,2
4.000	3,2	2,6	1,9	1,2	0,3	-0,5	-0,9	-1,0	-0,5	-0,1	0,7	2,1

resto de las áreas ya más negativas desde un punto de vista del bienestar. El área óptima entre 8,5 y 10, donde se incluye el óptimo mundial Brazol<sup>®</sup> de 9,2 kcal/kg, ocupa una franja que se extiende entre los 500 y 1.200 m en forma diagonal hasta el mes de marzo.

A fin de presentar en forma areal lo que sucede específicamente en la cuenca del río San Francisco, se confeccionó la Figura 2, que señala para el mes de enero (E) y de julio (J) las condiciones de la entalpía del aire. Esta cuenca, delimitada en general entre unos 1.300 y 4.000 m de altitud, muestra 5 categorías de la escala de Brazol, que van entre más de 7,5 a menos de 2,5 kcal/kg en el mes de enero; es decir, sólo a partir de la parte inferior del valle se encontrarían condiciones relativamente aceptables desde un punto de vista del bienestar térmico (fresco suave hacia categorías más favorables). En la Figura 2 puede completarse esta visión para áreas más bajas, hasta los 500 m. En general, entonces, dominan las categorías frías para este valle durante el mes de enero. El mes de julio presenta condiciones limitantes aún mayores desde el punto de vista de la entalpía, con sólo tres categorías representadas, que van, desde la más fría ("frío glacial" según Brazol), a la de frío moderado; esta última sólo existe en una pequeña porción a la entrada del valle, en las áreas de tierras bajas que se localizan en la caja del río.

DISCUSION

Del análisis de las Figuras 2 y 3 más los antecedentes acerca del comportamiento de los gradientes de la temperatura y presión de vapor en el área, se puede inferir lo ya conocido acerca de que la entalpía se ve influida más por las temperaturas, cuando éstas son bajas y por la presión de vapor de agua cuando éstas son altas.<sup>11</sup>

Mirando este sector de estudio en un enfoque de tipo holístico, para establecer posibles perspectivas de aplicación, es indudable que en aquellas circunstancias terapéuticas que recomiendan un clima de estímulo por frío, se encontrará en el mes de enero un área con un gradiente relativamente adecuado para estos fines. En el mes de julio, esta área tiende a desaparecer y las alternativas se reducen sólo a los 3 tipos más fríos de la escala de sensación térmica. De allí que es altamente limitante en el sentido terapéutico en esta época del año.

Es cierto que estos factores sólo están reflejando condiciones medias que se producen en el transecto altitudinal a lo largo del valle, pero bien pueden ser utilizadas para fines de planificación del establecimiento de áreas de recreación o profilaxis, tomando en cuenta los antecedentes planteados también por otros autores.<sup>14</sup> Debe tenerse presente, igualmente, que las sensaciones térmicas, especialmente con frío, pueden ser más tolerables con un adecuado

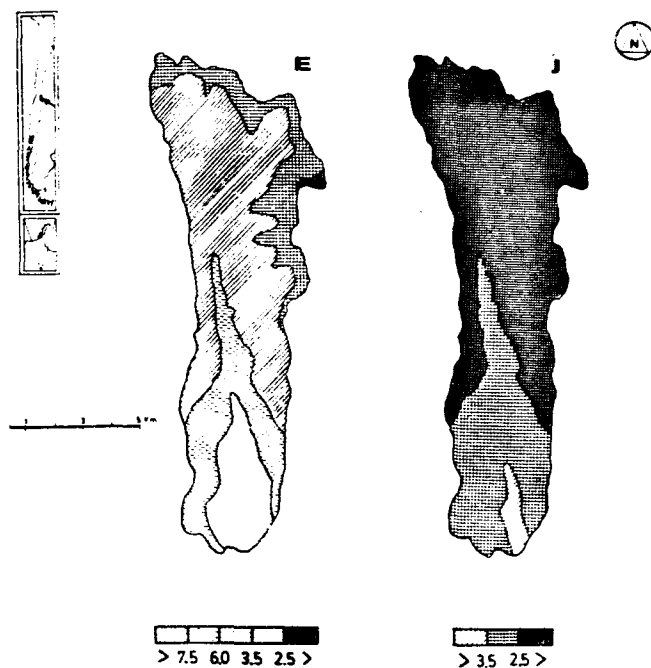


Figura 2. Distribución de la entalpía del aire para los meses de enero (E) y julio (J) en la cuenca intermontana del río San Francisco. Las unidades corresponden a Kcal/kg.

ejercicio, pero que ello indudablemente involucra un gasto energético que debe compensarse y que en caso de ciertas enfermedades no siempre puede satisfacerse. Por otra parte, de acuerdo a la clasificación de biometeorología médica se requiere en algunas circunstancias de los llamados "climas de estímulo", que contienen en conjunto condiciones frías, o con una ventilación mayor y, con mayor intensidad de radiación solar, todo lo cual se da en montaña en la zona central del país (Hajek et al, datos no publicados).

En este sentido, esta primera aproximación nos permite basar algunos caminos de análisis futuro en una perspectiva de bioclimatología humana en el sector.

Si proyectamos nuestro estudio hacia una macroescala desde el punto de vista del bienestar humano, vemos que en la montaña de la zona central del país, las condiciones de sensación térmica se deterioran rápidamente a incrementos altitudinales y que implican la creación de un gradiente fuerte entre las condiciones ambientales y la temperatura de la piel expuesta de aproximadamente 33°C. El rol mayor lo juega acá la temperatura y menos el componente higróico de la ecuación.

Comparados estos datos de entalpía para un sector de montaña con aquellos publicados por Hajek,<sup>13</sup> (Figura 3) en relación a todo el país en un gradiente latitudinal, puede deducirse que el gradiente que se genera al avanzar un grado de latitud hacia el sur es equivalente al avance de 100 m de altitud en la zona central. Este gradiente es de aproximadamente 0,20 kcal/kg para ambos incrementos, latitudinal y altitudinal. Dados los gradientes establecidos de temperatura y de presión de vapor, podría pensarse que para una gran porción del área mediterránea del país se mantendría una situación similar en las montañas.

Más hacia el sur, probablemente por una disminución de altura de la cordillera y por una entrada de masas de aire continental desde el Este, estos gradientes podrían ser distintos y no aplicaría su comparación con el gradiente latitudinal. Igual cosa podría esperarse en cuanto a los gradientes al nivel del Antiplano de la zona norte, donde el clima está caracterizado por otro tipo de régimen.<sup>15</sup>

En síntesis, la entalpía del aire es un buen índice para caracterizar ambientes en una perspectiva bioclimática humana y sirve como base para aplicaciones terapéuticas.

## REFERENCIAS

- 1.—International Society of Biometeorology. General objectives. *Oegatgeest* (Leiden). 1972. p. 14.
- 2.—TROMP SW. Medical Biometeorology (Weather, climate and the Living organism). Elsevier, Amsterdam. 1963.
- 3.—ODUM EP. Ecología. Interamericana, México. 1972.
- 4.—BOWMAN WC, MJ RAND, GB WEST. Farmacología. Jims. Barcelona. 1970.
- 5.—BREZOWSKY H. Der Einfluss des Wetters auf den Organismus. *Materia Medica Nordmark 2*. Sonderheft. 1-12. 1961.
- 6.—ABEL H, A BAUMGARTNER, W DONLE. Energie und Wasserumsätze bei der Atmung. *Univ. München. Met Inst Wiss Mitt 28*: 1, 1977.
- 7.—ABEL H, A BAUMGARTNER, W DONLE. Jahreszeit und Witterung im Krankheitsgeschehen. *Univ. München. Met Inst Wiss. Mitt 40*: 1, 1980.
- 8.—BRAZOL D. La temperatura biológica optima. *Meteoros N.º 99*, 1951.
- 9.—BRAZOL D. Bosquejo bioclimático de la Republica Argentina. *Meteoros N.º 4*: 381. 1954.
- 10.—MUNN RE. *Biometeorological methods*. Academic Press, New York. 1970.
- 11.—GREGORCZUK M. The distribution of air enthalpy on the globe. *Zeitschr. Meteorol 20*: 204, 1968.
- 12.—LESKO R, M GREGORCZUK. Bioklimatische Verhältnisse an Küsten des Schwarzen Meeres und der Adria auf Grund der Luftenthalpie. *Wetter u. Leben 21*: 160, 1969.
- 13.—HAJEK ER. Die bioklimatischen Verhältnisse in Chile auf Grund der Luftenthalpie. *Univ. München, Met. Inst Wiss Mitt 35*: 149, 1979.
- 14.—SARGENT F, SW TROMP. A survey of human biometeorology. *WMO Techn Note 65*. 1964.
- 15.—CASTRI F di, ER HAJEK. *Bioclimatología de Chile*. Edit. Universidad Católica, Santiago. 1976.
- 16.—BRADTKE F, W LIESE. *Hilfsbuch fuer raum und aussenklimate Messungen*. 2ª ed. Springer, Berlin. 1952.

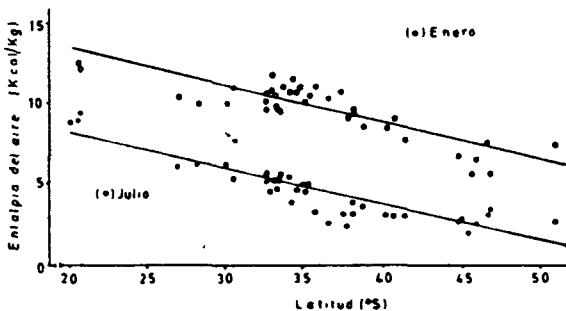


Figura 3. Relaciones entre latitud y entalpía del aire para enero y julio en Chile. Enero ( $p < 0,001$ ;  $r = -0,88$ ); julio ( $p < 0,001$ ;  $r = -0,90$ ), según<sup>13</sup> modificado.

Reprint requests:  
Dr. Ernst R. Hajek  
Casilla 114-D  
Santiago de Chile