

ERNST R. HAJEK, EDUARDO R. FUENTES, GUILLERMO A. ESPINOSA
Departamento de Biología Ambiental. Facultad de Ciencias Biológicas
Pontificia Universidad Católica de Chile, Santiago

**BASES PARA UNA GEOGRAFIA CLIMATICA
DE CHILE CENTRAL**

Dedicamos este trabajo a la memoria del insigne profesor de la geografía española, don Manuel de Terán.

1. INTRODUCCION

El énfasis de la ocupación y uso del territorio chileno ha estado centrado en las pocas zonas planas; pero, de hecho, más del 80 por 100 del país está compuesto por un continuo de elevaciones y pendientes. La Cordillera de los Andes, la Cordillera de la Costa y sus zonas aledañas (fig. 1) son, en realidad, verdaderos mosaicos constituidos por fondos de valles, laderas, cumbres y bolsones de diverso tipo (Cunill, 1970; Corfo, 1965; Börgel, 1966 y 1983), más que biombos rodeados por planicies. Esta concepción en mosaico del territorio de Chile central conlleva el aceptar que altitudinal, latitudinal y localmente se dan variantes climáticas que le confieren un aspecto diverso, tanto en potencialidades como en restricciones.

El concepto más clásico de «biombos climáticos» no ha reconocido que las zonas montañosas del país son, en realidad, áreas con recursos potenciales. Cada una de las porciones de este mosaico podría entonces relacionarse con un eventual uso, ya sea éste de tipo minero, terapéutico, turístico o deportivo, o de utilización de recursos naturales

renovables (leña, plantas medicinales y pastoreo, entre otros).

Para la evaluación de estas potencialidades y restricciones es necesario emplear un enfoque multidisciplinario que permita conocer las reales posibilidades de cada sitio. Uno de estos criterios es el bioclimático, pero indudablemente que para una evaluación completa deberían considerarse, además, el punto de vista geoecológico y socioeconómico. En este trabajo sólo intentaremos bosquejar un esquema con algunas de las variables bioclimáticas que pueden a futuro ayudar a tipificar adecuadamente los ambientes montañosos de Chile central. Desgraciadamente, en Chile no existe aún ni suficiente información meteorológica para lugares de altura ni una red de estaciones suficientemente densa como para caracterizar adecuadamente el mosaico. Este trabajo, por tanto, está basado en la poca información dispersa y en lo colectado en un proyecto MAB-UNESCO de dos años de duración, y es, más que nada, una sugerencia de una línea de investigación. Esperamos que esfuerzos futuros y la superposición con los otros criterios mencionados permitan una elaboración más completa de las potencialidades de Chile central.

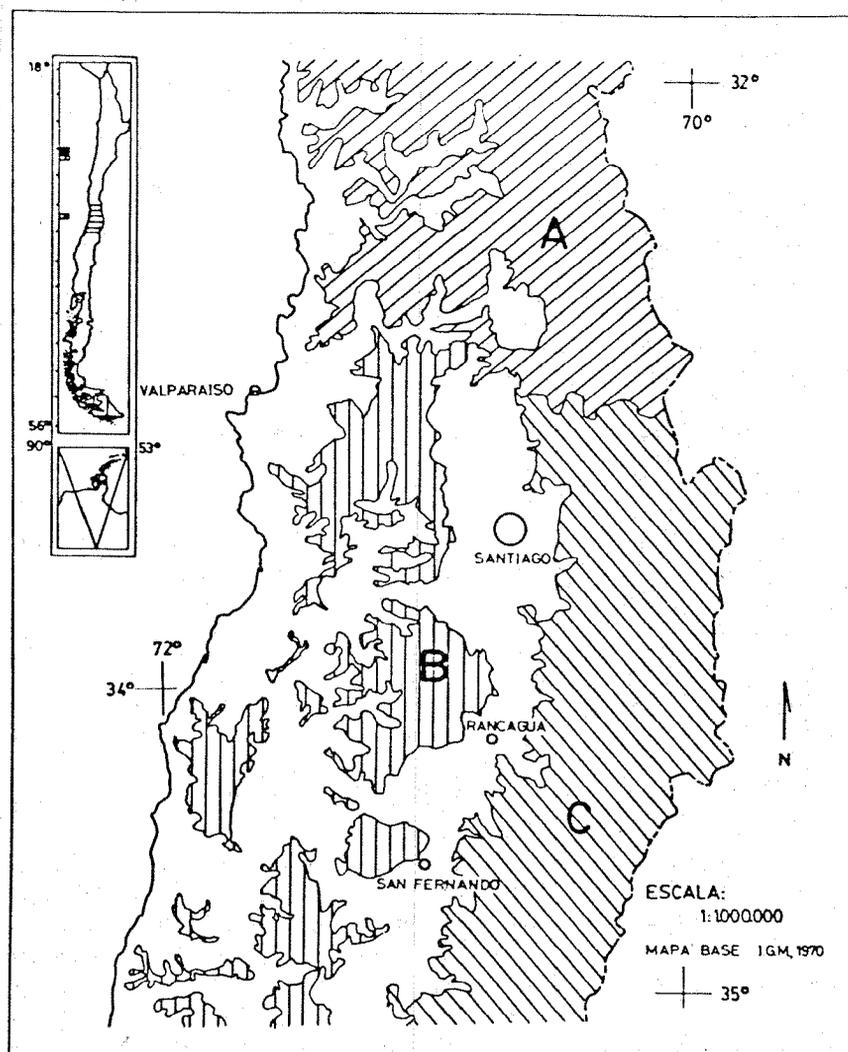


Fig. 1.—Principales unidades de relieve en un sector de Chile Central (32° - 35° lat. Sur). Las áreas achuradas corresponden a elevaciones (A=macizo andino-costero; B=Cordillera de la Costa; C=Cordillera de los Andes) y las unidades sin achurar identifican las tierras planas (terrazas marinas, depresiones tectónicas y valles aluviales).

2. ELEMENTOS DEL ESQUEMA

En un primer acercamiento al problema de caracterizar el mosaico de potencialidades es posible distinguir, al menos, cuatro tipos de factores: los cambios altitudinales, los latitudinales, los grandes efectos de biombo que se ejercen sobre los Andes y la depresión intermedia y, finalmente, los meso y microclimas.

a) Cambios altitudinales: gradientes y excepciones

Se acepta, en términos generales, que en Chile los ambientes de altura son una proyec-

ción de los climas dominantes a altitudes más bajas, en el área de clima de tendencia mediterránea (Di Castri y Hajek, 1976). Esto significa que en la cordillera andina central también se encuentra un período estival con temperaturas más elevadas y un invierno frío y lluvioso y/o nivoso. Se reconoce, además, en la zona central de Chile una tendencia general a un decremento de las temperaturas medias anuales con la altitud a razón de aproximadamente 0,5° C por cada 100 metros (Rubio y Hajek, datos no publicados). Esta disminución se traduce en un desfase estacional de los climas de altura en relación a sus homólogos de sectores bajos (Di Castri y Hajek, 1976 y datos no publicados).

En forma opuesta a este desplazamiento y al decremento término altitudinal ya expuesto, se presenta un viento tipo «foehn» que está asociado con un flujo supercrítico del aire que se desliza pendiente abajo por las laderas de los Andes. La causa se encuentra en una inversión de la circulación de la tropósfera media (Puzzio, 1976). Debido a estos efectos, se reconocen en varios valles de la zona mediterránea de Chile, como ríos Elqui (lat. 30° Sur) y Huasco (lat. 28° 30' Sur), por ejemplo, verdaderos bolsones de potencialidad azonal.

En el valle del río Huasco se ha medido un incremento de la temperatura en función de la altitud (de 0,2° C por cada 100 metros), desde los 4 a los 1.450 metros, aun cuando no ha sido posible establecer qué ocurre por sobre esa altitud debido a la ausencia de estaciones con registros meteorológicos.

Estas anomalías por el aumento de la temperatura con la altitud conducen a la existencia de una más alta productividad potencial en los valles altoandinos, en relación con sectores más bajos. En ese caso, las principales limitantes pasan a estar constituidas por las disponibilidades de precipitaciones, aguas y suelos, la amplitud de los valles y niveles de aterrazamientos, entre otros.

En cuanto a los gradientes de precipitaciones, se ha visto (Rubio y Hajek, datos no publicados) que para la zona central de Chile (valle del río San Francisco, lat. 33° Sur) la precipitación aumenta en 22 milímetros por cada 100 metros de altitud, entre 520 y 3.800 metros, aun cuando puede variar entre 18 milímetros y 22 milímetros en algunos tramos. En términos biológicos, las precipitaciones, al menos para el piedemonte y áreas de montañas bajas, donde caen en forma líquida, pueden asociarse con la potencialidad del lugar a través de la productividad primaria potencial calculada por medio de fórmulas empíricas, como la de Lieth de 1974 (Fuentes y Hajek, 1978).

A partir de la altitud de 2.000 metros sobre el nivel del mar, que frente a Santiago parece ser un límite vegetacional y faunístico importante (Hoffmann y Hoffmann, 1982; Fuentes, datos no publicados), parecería producirse un control dual de la productividad primaria potencial, constituyéndose la temperatura en el factor más limitante, durante el invierno, y la

disponibilidad de agua, en verano. Para esas áreas la productividad primaria potencial debería ser calculada usando las precipitaciones y la temperatura como en la ecuación de Lieth (1974).

Uno de los corolarios más significativos en relación al uso potencial de la montaña andina está precisamente asociado a este desfase fenológico estacional que mencionamos. Ello, principalmente, por la reconocida importancia que tiene la utilización estacional de pisos altitudinales (de 2.000 a 3.000 y más metros) por el ganado transhumante (Aranda, 1971) y porque, además, las altas cumbres son el gran reservorio de agua para la estación seca de las zonas bajas de la Depresión Intermedia y Cordillera de la Costa. No menos importantes son los potenciales turístico y terapéutico.

Desde un punto de vista bioclimático es posible analizar el uso secuencial de los bolsones altitudinales de productividades desfasadas en relación a los fenómenos de transhumancia de ganado. Una primera contribución en este sentido es el estudio del comportamiento estacional de la línea de las nieves, ya que su retiro permite el uso de la cubierta vegetal. Se ha mostrado (Rubio y Hajek, datos no publicados) que en la zona central, el límite estacional de la nieve tiene la mejor correlación ($r = .986$; $P < .001$) con la posición de la isoterma de 2° C. Conociendo, entonces, el desplazamiento mensual de esta isoterma y su relación con las temperaturas de otros pisos altitudinales, podría anticiparse, en ausencia de datos directos, el límite de las nieves en un determinado sector y el momento en que podrían utilizarse los recursos disponibles en ese lugar.

b) Cambios latitudinales y su relación altitudinal

Las relaciones entre temperaturas y precipitaciones corroboran que la secuencia latitudinal de los climas de altura tiene vínculos con los bioclimas de las partes más bajas. A modo de ejemplo, en la figura 2 se muestran diagramas climáticos a distintas altitudes, pero a latitudes semejantes. En ellos puede verse la tendencia mediterránea de la zona central, aun cuando hay sobreposición con el

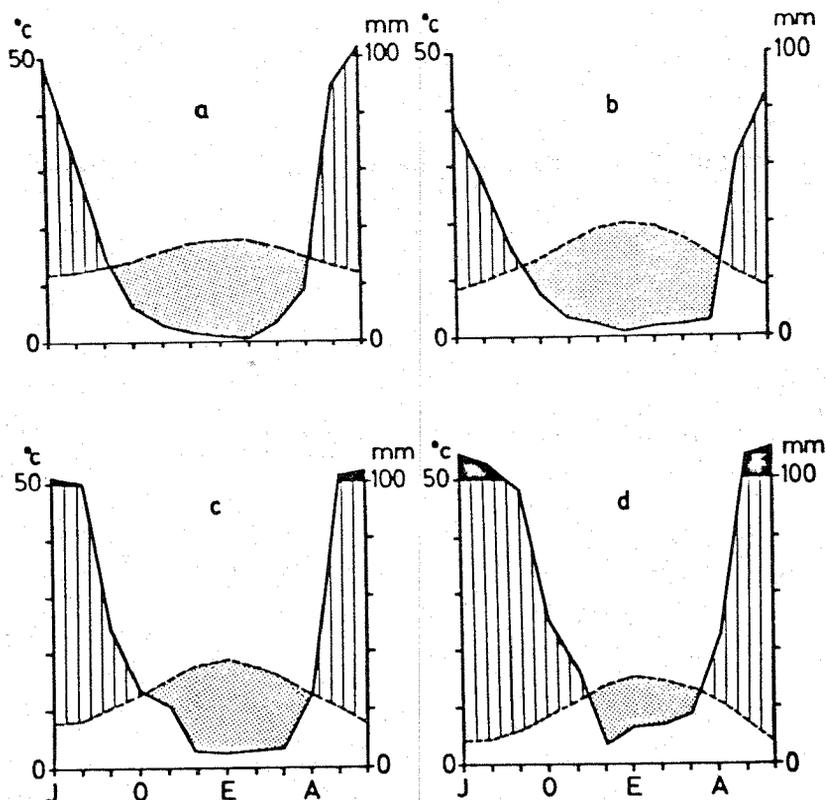


Fig. 2.—Diagramas ombrotérmicos correspondientes a localidades con distintas altitudes, en un perfil latitudinal de Chile central («a» es Valparaíso, lat. 33° 01' Sur, long. 71° 38' Oeste, 41 metros; «b» es Santiago, lat. 33° 27' Sur, long. 70° 42' Oeste, 520 metros; «c» es San José de Maipo, lat. 33° 39' Sur, long. 70° 22' Oeste, 1.060 metros, y «d» es Sewell, lat. 34° 06' Sur, long. 70° 22' Oeste, 2.134 metros). Puede observarse la misma tendencia climática (mediterránea) con lluvias de invierno y un período seco estival. A medida que aumenta la altitud disminuye la temperatura y se incrementa el número de meses con exceso de agua.

efecto altitudinal. Está claro que las diferencias se observan en los montos y no en las tendencias.

c) Condicionantes bioclimáticos extensos

En Chile se dan extensos efectos topográficos tipo «biombo». La Cordillera de la Costa reduce las precipitaciones en la Depresión Intermedia y luego, indirectamente, influye en los bioclimas del piedemonte y áreas de altura de la Cordillera de los Andes. Cuando es baja y no constituye una barrera, las masas de aire penetran libremente; no así cuando hay cerros elevados que provocan la condensación y posterior precipitación de las masas de aire en la vertiente de barlovento.

En este sentido, el mosaico bioclimático no depende sólo de las características de la Cordillera de los Andes, sino que también de la acción de la Cordillera de la Costa y de la extensión de su efecto de biombo. Situaciones de esta naturaleza muestran una variabilidad en los sectores de interior del país que es

semejante a las áreas costeras [por ejemplo, San Fernando (lat. 34° 35' Sur; long. 71° 00' Oeste) y Valparaíso (lat. 33° 01' Sur; long. 71° 38' Oeste)].

En las figuras 3 y 4 se muestra el comportamiento de las lluvias considerando dos perfiles latitudinales de la zona central de Chile. Ellos muestran situaciones asociadas a una Cordillera de la Costa alta y maciza y Cordillera de la Costa baja y extendida. Puede verse que existe una disminución de los montos de precipitaciones observados cuando la Cordillera de la Costa es elevada. Cuando es deprimida, la influencia oceánica penetra profundamente en el continente.

En el caso de valles amplios y abiertos que cortan la cordillera costera existe una tendencia distinta; allí las precipitaciones disminuyen hacia el interior hasta que el valle se estrecha en la cordillera andina y, por efecto altitudinal, comienzan a aumentar los montos anuales de lluvia.

En esa misma figura puede verse las fluctuaciones de los montos de lluvias en relación

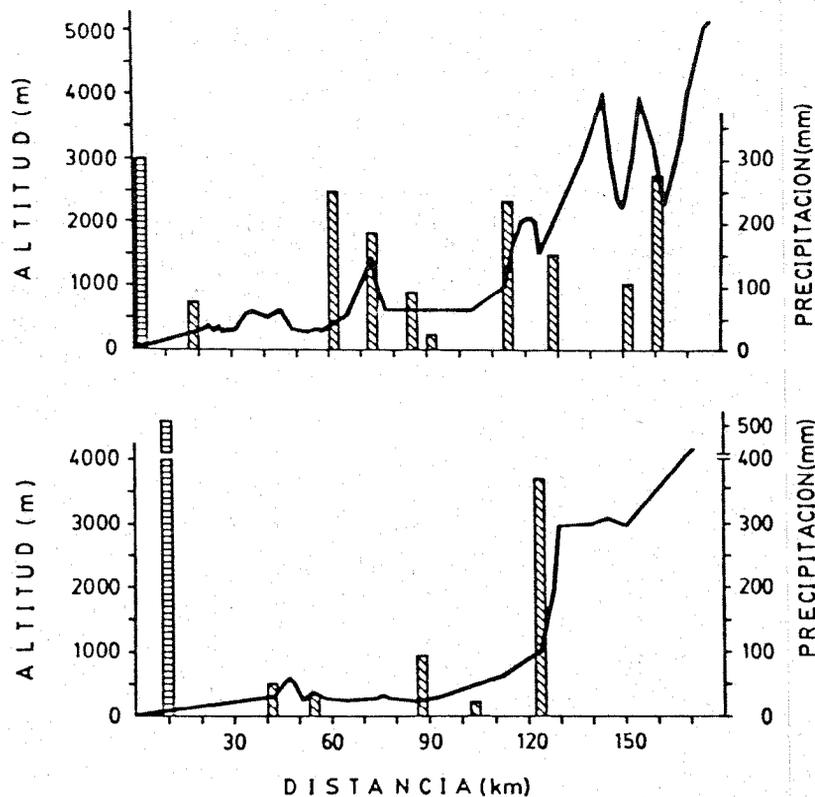


Fig. 3.—Variación de los montos de lluvias anuales en función de dos perfiles topográficos representativos (línea más oscura). En el cuadro superior se muestra la cordillera de la costa alta y maciza y, en el inferior, un sector bajo y extendido. Las barras muestran montos de precipitación anual. El achurado horizontal corresponde al total anual de precipitaciones de una localidad costera; el achurado oblicuo muestra la diferencia positiva entre la localidad costera y el monto anual de precipitaciones de estaciones de interior, a igual latitud. En esta figura se observa claramente el «efecto de biombo» de la cordillera de la costa alta y maciza. En la sección superior puede verse este mismo efecto en los valles altoandinos; no así en la sección inferior en que la cordillera de los Andes se muestra como un bloque.

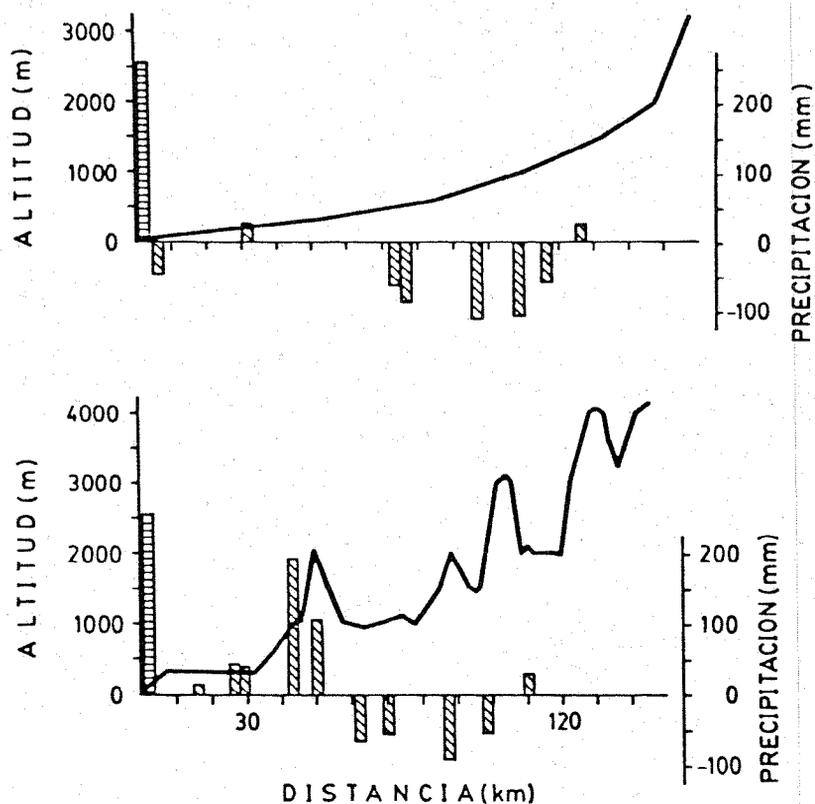


Fig. 4.—Variación de los montos de lluvias anuales en función de dos perfiles topográficos representativos (línea más oscura). Las barras muestran montos de precipitación anual. El achurado horizontal corresponde al monto anual de precipitaciones de una localidad costera; el achurado oblicuo muestra la diferencia (negativa o positiva) entre la localidad costera y el monto anual de precipitaciones de estaciones de interior, e igual latitud. En la sección superior se muestra el perfil topográfico del valle del río Aconagua (32° lat. Sur) y, en la parte inferior, la cadena de cerros del Cordón Chacabuco (32° 30' lat. Sur). En esta figura se denota claramente el «efecto de biombo» provocado por la cordillera costera.

a las variaciones topográficas, considerando una cordillera que no presenta un valle abierto.

En la figura 5 se muestra cómo la amplitud de los valles puede hacer variar los montos de precipitación en el interior. En un valle excavado en una cordillera maciza y alta también se observa la presencia del efecto de biombo climático, aunque menos marcado que cuando no hay un río. Por el contrario, en un valle abierto sobre una cordillera baja y extendida, las lluvias se incrementan en dirección al interior y no hay «efecto de biombo».

d) Condicionantes bioclimáticos a meso y microescala

El aspecto topográfico local en áreas de montaña juega un papel de primordial importancia ya que, junto con el factor altitudinal, condiciona las situaciones micro y mesoclimáticas más diferenciadas.

A modo de ejemplo, en la tabla 1 se muestran datos de mediciones realizadas en laderas de exposición polar y ecuatorial en un sector de la Cordillera de la Costa de Chile central.

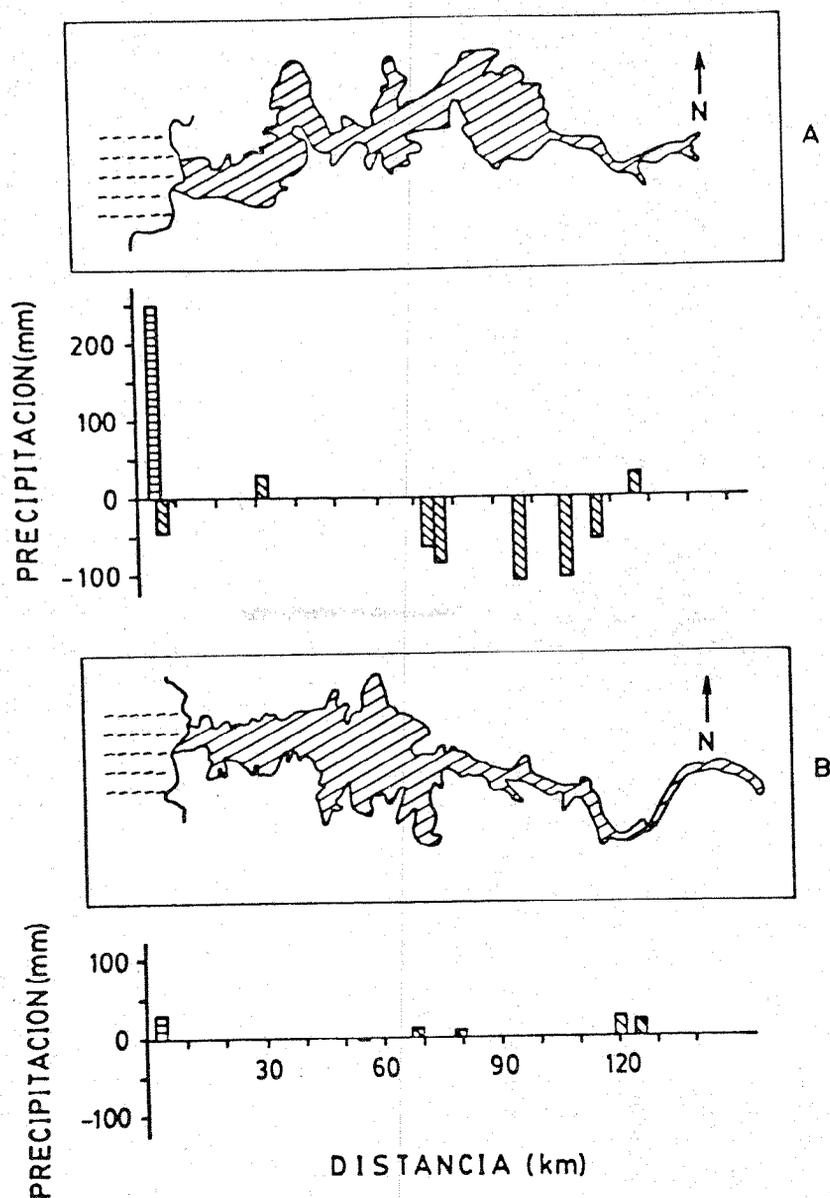


Fig. 5.—En los recuadros de esta figura se muestran dos valles orientados en dirección Este-Oeste. Aquél ubicado en la sección superior corresponde al río Aconcagua (32° lat. Sur), que corta una cordillera costera alta y maciza; en la sección inferior se muestra el valle del río Huasco (28° 30' lat. Sur), que ha disectado una cordillera de la costa baja y extendida.

Los gráficos corresponden a montos de precipitación anual en un perfil latitudinal. Las barras con achurado horizontal representan el total anual para una estación de costa; las barras con achurado oblicuo son las diferencias de precipitación (negativa o positiva) cuando se le resta a la estación de costa los montos anuales observados en localidades de interior, a igual latitud. Como puede observarse, en un valle amplio hay diferencias positivas; es decir, se incrementa la precipitación anual desde la costa hacia el interior; no ocurre lo mismo en el otro caso, ya que se denota allí un «efecto de biombo».

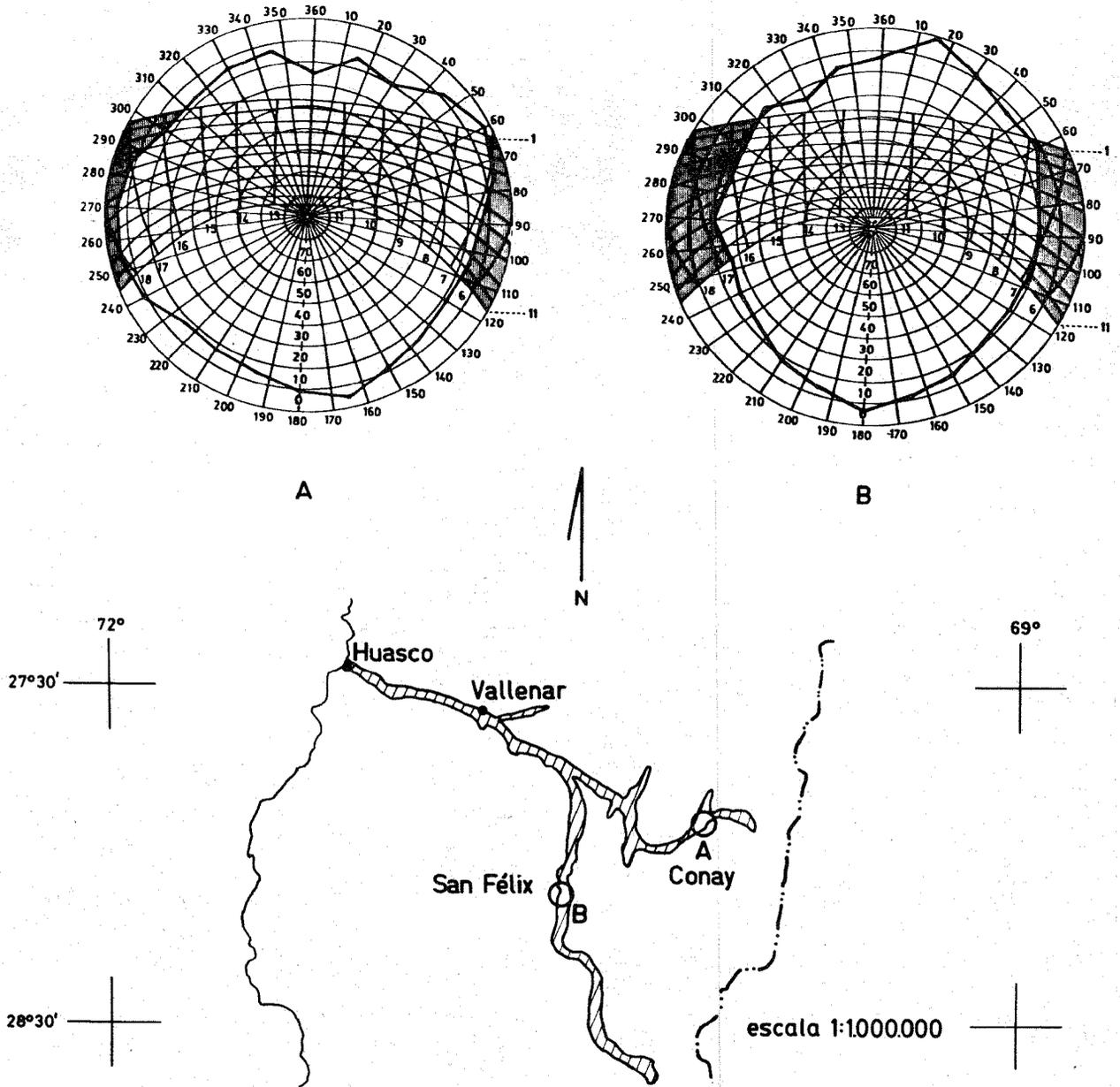


Fig. 6.—Estrechamiento del horizonte en dos localidades de la cuenca del río Huasco en el valle El Tránsito, de alineación Este-Oeste y en el valle El Carmen, de orientación Norte-Sur. «A» es Conay ($28^{\circ} 58' 15''$ Sur y $70^{\circ} 09' 08''$ Oeste, 1.450 metros sobre el nivel del mar) y «B» es San Félix ($28^{\circ} 55' 50''$ Sur y $70^{\circ} 27' 35''$ Oeste, 1.130 metros sobre el nivel del mar). En la parte superior de la figura se muestran diagramas solares de ambas localidades. La declinación solar en el solsticio de invierno y de verano se señalan, respectivamente, con el número 1 y 11. El área sombreada corresponde a la reducción de horizonte, que en el valle Norte-Sur (B) es mayor que en aquel Este-Oeste (A).

TABLA 1

Radiación solar total y radiación neta en tres situaciones topográficas en la Cordillera de la Costa de Chile (33° 04' Sur, 71° 00' Oeste, 1.000 metros sobre el nivel del mar)

	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.
<i>Radiación solar total</i> (cal cm ⁻² día ⁻¹):												
LEE.....	678	658	613	456	328	270	288	517	472	556	688	684
PL.....	720	670	578	414	286	230	249	446	451	563	737	756
LEP.....	678	593	449	296	188	143	161	273	361	502	702	720
<i>Radiación neta (cal</i> <i>cm⁻² día⁻¹):</i>												
LEE.....	453	440	413	269	143	102	177	355	316	397	484	471
PL.....	452	426	367	236	151	126	140	307	289	383	501	501
LEP.....	435	385	281	153	79	60	68	166	229	339	485	525

LEE = Ladera de exposición ecuatorial.
LEP = Ladera de exposición polar.
PL = Plano.

Aquí es claro que la altitud, las pendientes e inclinación de las laderas generan situaciones microclimáticas muy diferenciadas.

Un efecto fundamental en cuanto a la radiación solar está dado por el estrechamiento del horizonte; es decir, por la cantidad de horas de sol que se presentan en un punto determinado. El estrechamiento depende de una serie de factores, entre los que se cuenta la latitud, época del año y cerros cercanos, entre otros. Este solo elemento es el responsable de muchas de las variaciones de luminosidad, humedad, evaporación y temperaturas que ocurren en pocas decenas de metros. En el caso de los valles de altura, su alineación (Norte-Sur o Este-Oeste), forma, tipos de pendientes, altitud y extensión, crean condiciones diferentes para la productividad biológica.

En la cuenca del río Huasco (28° 30' lat. Sur) los valles El Carmen y El Tránsito, ubicados en sectores vecinos, pero de alineación Norte-Sur y Este-Oeste, respectivamente, tienen una producción agrícola netamente diferenciada en cuanto a la estacionalidad y precocidad en la maduración de los productos. En el valle orientado Este-Oeste es posible cosechar (uvas, por ejemplo) con una anticipación de un mes en relación al valle Norte-Sur.

Así, las sumas térmicas son más elevadas y los periodos vegetativos más extendidos, a igual latitud, debido a la exposición a los rayos solares y a la bajada de vientos cálidos. A pesar de la falta de estaciones meteorológicas en el valle de El Carmen, pueden detectarse diferencias importantes cuando se relacionan con los estrechamientos de horizonte calculados para ambos sitios (véase la figura 6). De hecho, entonces, en tramos de muy poca distancia se pueden encontrar condiciones totalmente diferentes asociadas a este tipo de situaciones meso y microclimáticas, dadas por la topografía del sector.

Como consideraciones finales conviene destacar la gran variabilidad de los ambientes de altura, tanto en sentido espacial como temporal. Si bien se pueden detectar ciertas ligazones entre las cordilleras y las partes más bajas, de acuerdo al gran número de excepciones encontradas, algunas ya vistas, no es posible extrapolar directamente la información de uno a otro sector. De acuerdo a esto es necesario realizar estudios específicos, tanto de la variabilidad temporal (entre años) como topográfica de los sitios, lo que deberá hacerse a base de buenos registros, desgraciadamente hoy inexistentes.

Tal como hemos visto hay gradientes altitudinales y latitudinales, pero también hay ex-

cepciones y ellas son lo suficientemente numerosas como para invitar a estudios más completos que permitan caracterizar el potencial real de cada área.

La sobreposición de todos los factores analizados en este trabajo permite sostener la idea de que en los ambientes de montaña las variaciones se producen en espacios cortos. En ese sentido, las descripciones regionales comúnmente utilizadas en sitios planos posi-

bilitan su clasificación general, pero no son suficientes cuando se pretende realizar una caracterización con fines de uso de recursos. La posible mayor utilización de ambientes de altura en la explotación conservadora de los recursos naturales, en Medicina, en recreación, en manejo de fuentes de agua y en muchas otras proyecciones, bien merecen estos esfuerzos para caracterizar más específicamente los sectores correspondientes a la zona central de Chile.

BIBLIOGRAFIA

- DI CASTRI, F., y HAJEK, E. R. (1976): «Bioclimatología de Chile», Editorial Universidad Católica, Santiago.
- FUENTES, E. R., y HAJEK, E. R. (1978): «Interacciones hombre-clima en la desertificación del Norte Chico chileno», *Ciencia Inv. Agr.*, 5: 137-142.
- HOFFMANN, A. J., y HOFFMANN, A. E. (1982): «Altitudinal range of phanerophytes and chamaephytes in central Chile», *Vegetatio*, 48: 151-163.
- LIETH, H. (1974): «Primary productivity in ecosystems: Comparative analysis of global patterns», en: W. H. van Dobben y R. H. Lowe-McConnell (eds.): «Unifying concepts in ecology», W. Junk, *The Hague*, 67-88.
- PUZZIO, E. (1976): «El "terral" de Vicuña, Chile. Un viento local tipo "foehn"», *Revista de Geofísica IPGH*, n.º 4: 139-154.
- ARANDA, X. (1971): «Un tipo de ganadería tradicional en el Norte Chico: La trashumancia», Centro Demostrativo «Corral de Julio» y Departamento de Geografía, Universidad de Chile, Mimeogr.
- BÖRGEL, R. (1966): «Geomorfología cuaternaria en la cuenca de Santiago. Estudios geográficos», Editorial Universidad de Chile: 41-54.
- BÖRGEL, R. (1983): «Geomorfología», Tomo II Geografía de Chile, Instituto Geográfico Militar de Chile, Santiago.
- CORFO (Corporación de Fomento de la Producción) (1965): «Geografía económica de Chile», Texto refundido, Editorial Universitaria, Santiago.
- CUNILL, P. (1970): «Geografía de Chile», Editorial Universitaria, Santiago.