

Citar como:

Azócar, A., Monasterio, M. 1980. Estudio de la Variabilidad meso y micro climática en el Páramo de Mucubají. En: Monasterio, M. (Ed). Estudios Ecológicos en los Páramos Andinos. Editorial de la Universidad de Los Andes, Mérida, pp. 225-262.

ESTUDIO DE LA VARIABILIDAD MESO Y MICROCLIMATICA EN EL PARAMO DE MUCUBAJI

AURA AZOCAR y MAXIMINA MONASTERIO

Facultad de Ciencias
Universidad de Los Andes
Mérida, Venezuela

INTRODUCCION

El modelado glacial intensivo ocurrido durante los últimos períodos fríos del Pleistoceno en el valle del Río Mucubají, originó formas de relieve netamente diferenciadas. Depósitos morrénicos forman largas morrenas laterales, con una elevación relativa del orden de los 100 metros, que enmarcan el valle actual en dirección Norte-Sur (Figura 1), condicionando una topografía de fondo de valle bordeada por los faldeos de morrena. Esta variabilidad del relieve condiciona a su vez una diferenciación en climas locales (meso o topoclimas) cuya diversidad y cuyas características principales de interés ecológico, nos proponemos analizar en el presente trabajo, tomando como punto de referencia sus similitudes o sus desviaciones con respecto al clima regional analizado por Azócar y Monasterio (1980), en el Capítulo 8.

La estructura y la orientación del valle de Mucubají condicionan una serie de diferencias climáticas locales, debidas entre otras cosas al efecto de la exposición. Los faldeos morrénicos que miran hacia el valle resultan, sea con exposición Este (morrena izquierda) o con orientación Oeste (morrena derecha). Es bien conocido que en condiciones tropicales la influencia de la exposición se manifiesta fundamentalmente en los contrastes producidos entre las laderas que miran al Este o al Oeste a través de dife-

rencias en insolación y radiación incidente. Otro efecto topoclimático importante es el ocasionado por los movimientos del aire hacia el fondo del valle lo que conduce a acentuar el fenómeno de inversión nocturna de temperatura, originando así mesoclimas más fríos en las partes más bajas de esta depresión flanqueada por las morrenas. Todas estas variaciones topoclimáticas resultan sin duda de primordial importancia en la diferenciación de habitats y de nichos ecológicos, los que de ninguna manera podrían ser caracterizados por la simple extrapolación de los datos obtenidos en la estación meteorológica de Mucubají.

En este trabajo nos proponemos analizar entonces la diversidad de climas locales en las distintas posiciones topográficas de este valle, correlacionando en lo posible estas variaciones con la diversidad de la vegetación.

En las morrenas laterales la asociación dominante es el Rosetal-Arbustal de *Espeletia schultzii*-*Hypericum laricifolium*, la que presenta diferencias locales en cuanto a valores de cobertura, densidad, composición florística o importancia relativa de un estrato sobre otro. En el fondo del valle existe un mosaico de comunidades en relación con los distintos niveles de depósitos fluviales o glaciales (pequeñas morrenas de retroceso), que serán analizadas con detalle por Fariñas y Monasterio (1980) en el Capítulo 10;

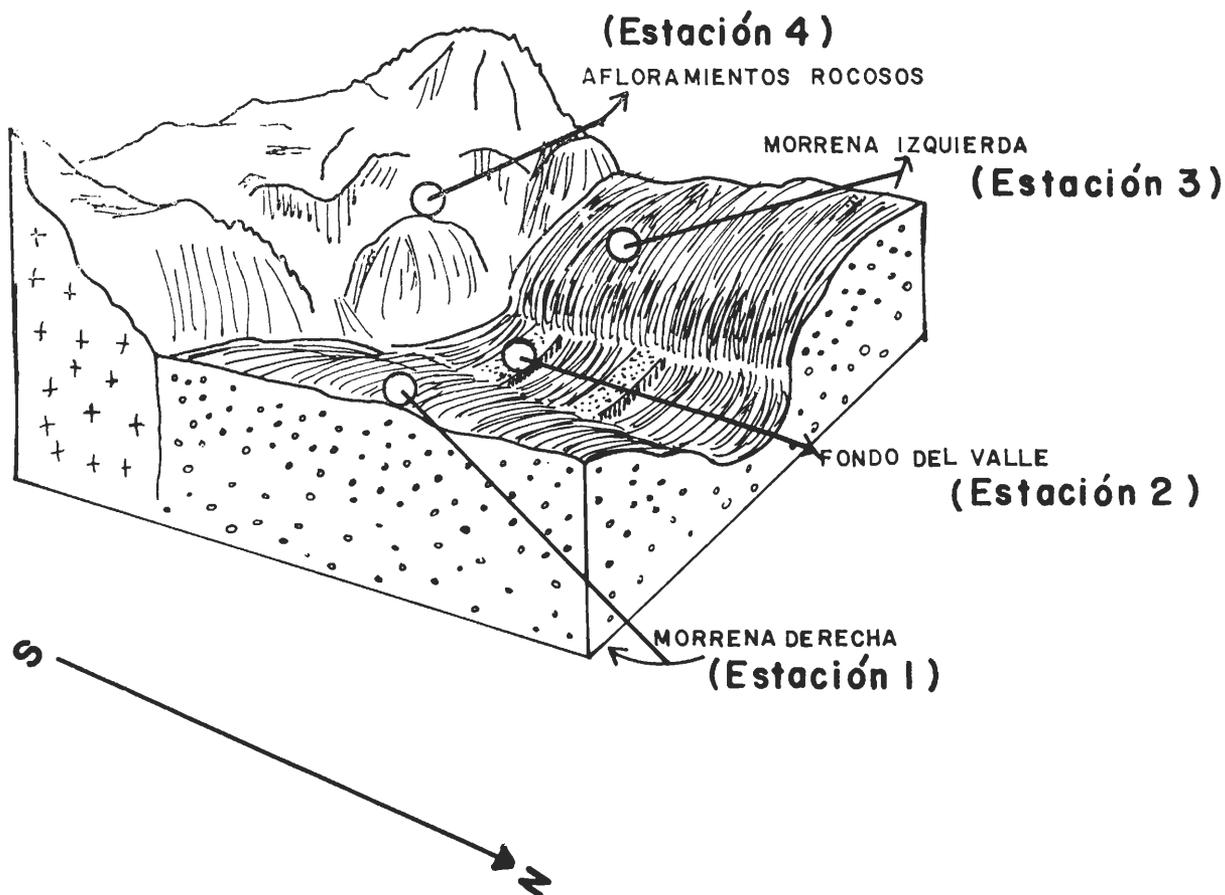


FIGURA 1: Modelo esquemático idealizado del corte transversal del área de estudio. Las flechas indican la localización de las estaciones de registro colocadas en junio de 1972 hasta junio de 1973.

las morrenas de retroceso presentan un Rosetal-Arbustal como las morrenas laterales, pero con diferencias específicas y estructurales. Por último en los afloramientos rocosos fisurados y rodados se encuentra el Bosque Altiandino de *Polylepis sericea* cuyo clima particular también analizaremos en el presente trabajo. En esta área parece evidente que el modelado glacial ha sido el principal agente en la diferenciación de los topoclimas actuales, a su vez asociados a la diversidad de habitats y de la vegetación. Los eventos históricos están influenciando notablemente la situación del presente.

MÉTODOS

Las diferencias florísticas o de vegetación que hemos anotado para la zona (ver descripción del área en el Capítulo 7) resultan en una dife-

renciación de comunidades originadas por la interacción de factores ambientales variados. Con el objeto de analizar y conocer algunas características ambientales de los distintos habitats, diseñamos un muestreo de datos topo y microclimáticos durante un año, en cuatro estaciones. Tres estaciones fueron colocadas en una transecta Este-Oeste que corta transversalmente las morrenas laterales y el Valle del Río Mucubají. La cuarta estación, fue colocada en el bosque, con el objeto de comparar el microambiente de dos tipos de vegetación diferentes, dentro de un mismo clima regional.

La distribución de estaciones puede observarse en la Figura 1 donde se reproduce un corte idealizado del valle con la posición de las cuatro estaciones, a saber:

Estación 1) Localizada en la vertiente con exposición Oeste, a 3700 msnm, sobre la morrena lateral derecha. La comunidad vegetal de páramo (1) está dominada fisonómicamente por *Espeletia schultzii*; pertenece a la Asociación Rosetal-Arbustal de *Espeletia schultzii-Hypericum laricifolium*.

Estación 2) Localizada en el fondo del Valle, a 3500 msnm. Sobre una terraza fluvial, elevada pocos m sobre el nivel del río. La comunidad vegetal está dominada por *Espeletia schultzii*, la cual en ésta posición crece solamente sobre depósitos fluviales gruesos o sobre morrenas de retroceso.

Estación 3) Localizada en la vertiente con exposición Este, de la morrena lateral izquierda, a 3700 msnm. La comunidad vegetal de páramo está dominada fisonómicamente por *Espeletia schultzii* y *Espeletia floccosa*.

En estas tres estaciones la fisonomía de la vegetación es fundamentalmente la misma, variando algo la composición florística, como es el caso de *E. floccosa* que se encuentra únicamente en la morrena izquierda (Estación 3) y también la cobertura de las especies en el estrato bajo (0-10 cm). Así por ejemplo en la estación 1 (morrena derecha), el estrato bajo es mucho más ralo que en las otras dos estaciones, presentando a veces suelo desnudo.

Estación 4) Localizada sobre derrumbes rocosos metamórficos del Grupo Iglesias, en la vertiente con exposición Norte, a 3750 msnm. La vegetación es un bosque de 6 metros de altura con *Polylepis sericea* como especie dominante.

Con excepción de la estación 2, en el fondo del valle, las tres estaciones restantes estaban aproximadamente a la misma altura (3700-3750 m).

El diseño de muestreo utilizado proporciona con un número reducido de estaciones la mayor variabilidad ambiental del área de estudio, pues implica, por una parte, gradientes topoclimáticos entre las laderas y el fondo del Valle; por otra parte toma en cuenta las dos exposiciones de

mayor significado ecológico en la zona tropical, y además permite comparar las características del habitat donde se desarrollan distintos tipos de vegetación.

Los datos climáticos se obtuvieron mediante dos tipos de muestreo. El primero, consistió en registros continuos de temperatura y humedad relativa durante un año, con dos termohigrógrafos marca FUESS, colocados a 10 y 150 cm en el aire, y dos termómetros de máxima y mínima colocados a las mismas alturas. Las alturas de medición fueron escogidas partiendo del hecho de que los dos estratos dominantes de la vegetación crecen a una altura promedio de 10 cm el más bajo y 150 cm el más alto.

Los instrumentos fueron instalados en junio de 1972 hasta junio de 1973 y eran calibrados semanalmente mediante un Psicrómetro de Aspiración de ASSMAN. Los datos de Temperatura y Humedad Relativa se calculan como medidas diarias basadas en valores horarios para cada 24 horas, y como medias mensuales a partir de promedios diarios y horarios.

El segundo procedimiento de muestreo consistió en realizar mediciones periódicas de temperatura del aire y del suelo, humedad relativa y evaporación, simultáneamente en las estaciones 3 y 4 y en intervalos de 30 a 40 días durante doce meses consecutivos. La temperatura del aire, la humedad relativa y la evaporación se medían a 10 y 150 cm de altura, la temperatura del suelo a 0 cm, 10 cm, 30 cm y 50 cm de profundidad.

Todas estas mediciones se realizaron en ciclos continuos de 24 horas, con intervalos horarios. Se utilizó un dispositivo que permitía medir todos los parámetros en el mismo sitio, obteniéndose de esta manera un gradiente altitudinal desde los 150 cm hasta los 50 cm de profundidad en el suelo.

(1) Utilizaremos páramo en contraposición a bosque, por comodidad de lenguaje sin implicar que el bosque de *Polylepis* no forma parte de los ecosistemas de páramo.

La temperatura y humedad relativa del aire se medían con Psicrómetro de Aspiración marca FUESS F6604, la evaporación con evaporímetro de PICHE y para las determinaciones de temperatura del suelo fueron utilizados geotermómetros marca FUESS. Simultáneamente fueron tomadas muestras del suelo por triplicado a 0-10 cm y 50 cm en las cuales se determinó la humedad, por el método gravimétrico.

En las estaciones 3 y 4 se estudió el perfil del suelo y se recolectaron muestras que fueron analizadas en el Laboratorio de Suelos del Instituto de Geografía y Conservación de Recursos Naturales de la ULA.

La Tabla 1 sintetiza el tipo de datos y los equipos utilizados en cada una de las estaciones de medición.

Con el procedimiento de muestreo, se perseguían dos objetivos principales. En primer lugar, comparar en base a datos de temperatura y humedad relativa el microambiente de las cuatro estaciones, y en segundo lugar, en base a datos más detallados, conocer el ambiente específico donde se desarrolla el Páramo de *Espeletia*, y compararlo con el ambiente que crea el bosque de *Polylepis sericea*.

TABLA 1. FACTORES CLIMATICOS MEDIDOS Y EQUIPO UTILIZADO EN LAS DIFERENTES ESTACIONES CLIMATICAS INSTALADAS EN EL PARAMO DE MUCUBAJI

Estaciones	Morrena der. exp. W 1	Fondo del Valle 2	Morrena izq. exp. E 3	Bosque Faldeo N 4
Temperatura y Humedad relat. 10 y 150 cm	Termohigrógrafo (1 año)	Termohigrógrafo (1 año)	Termoh. (1 año) Psicrómetro 11 med.	Termoh. (1 año) Psicrómetro 11 med.
Evaporación 10 y 150 cm	—	—	Evapor. PICHE 11 med.	Evapor. PICHE 11 med.
Temperatura del suelo 0-5-10-30 50 cm	—	—	Geotermomet. 11 med.	Geotermómet. 11 med.
Humedad del suelo	—	—	Gravimetría 0-10 cm 30 cm 50 cm	Gravimetría 0-10 cm 30 cm 50 cm
Radiación	Actinógrafo 1 semana	—	Actinógrafo 1 año	—

CARACTERISTICAS DEL CLIMA DURANTE EL PERIODO DE MEDICIONES MICROCLIMATICAS

En la Tabla 2 se expresan los valores de diferentes factores registrados en la estación meteorológica del MOP, en el período de mediciones microclimáticas.

Durante el período de registros climáticos, el clima regional como aparece en base a los datos climatológicos de la estación del MOP

ubicada (sobre topografía de morrena) a unos 2 km de la estación 1 (ver Figura 2), 150 m más baja, la podemos sintetizar así:

- a) La precipitación total en los doce meses de registro en las cuatro estaciones fue de 930,56 mm, este valor es 200 mm menor que el promedio anual del área, sin embargo el período seco no fue tan intenso ya que cayeron 82,1 mm que representan el 8,8% del total de precipitaciones.

TABLA N° 2. VALORES MENSUALES PROMEDIO DE VARIOS FACTORES AMBIENTALES EN EL PARAMO DE MUCUBAJI, DURANTE EL PERIODO DE MEDICIONES MICROCLIMATICAS, FEBRERO DE 1972 A JUNIO DE 1973

(ESTACION CLIMATOLOGICA DEL MOP)

	1972												1973					
	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	E	F	M	A	M	J
Temp. máx. media	8.4	10.3	9.8	8.6	8.4	10.2	8.8	10.0	10.5	10.9	11.1	11.9	15.2	13.8	13.2	12.3	10.8	10.6
Temp. mín. media	0.8	0.5	1.6	1.9	1.9	3.3	2.7	2.6	3.0	2.4	1.9	1.0	1.8	0.1	1.3	1.5	1.9	3.5
Temperatura media	4.1	4.4	4.6	4.5	4.9	6.3	5.5	5.7	6.2	6.2	5.8	5.3	6.7	6.8	7.2	6.9	6.3	6.9
Precipitación	56.4	18.4	45.3	23.8		148.9			83.7	101.9	37.6	7.1	6.5	1.5	29.4	53.9	73.7	111.6
Período de mediciones en las estaciones 3 y 4																		
Período de mediciones en las cuatro estaciones.																		

Para el período de mediciones comparativas entre el bosque y el páramo (enero 72 a enero 73), la precipitación total fue de 1067,9 mm o sea un valor muy aproximado al promedio del área, con una estación seca que representa el 10% del valor total de precipitaciones. En general el año 73 fue más seco que el año 72.

- b) La temperatura máxima media fue de 11,4°C y la mínima media de 2°C, es decir que la máxima promedio del año es 1°C mayor que la media de varios años de registros; en relación a las mínimas ésta está 0,50°C por encima de la media.
- c) Las temperaturas máximas y mínimas extremas, así como la mayor oscilación diaria en los siete años de mediciones disponibles se han registrado en el año en el cual realizamos nuestras mediciones (1972), así como también el mayor número de heladas en los primeros cinco meses del año las cuales son solamente comparables al año 1968.

RESULTADOS

Temperatura del Aire a 10 cm

En la Tabla 3 se sintetizan los valores de temperaturas máximas, mínimas y medias men-

suales, alcanzados en las cuatro estaciones. La morrena derecha (Estación 1) presenta el menor valor de temperatura media (3,2°C), 1,7°C más bajo que la media en el valle (Estación 2: 4,9°C); le siguen las estaciones colocadas en el bosque de Polylepsis (Estación 4: 5,4°C); en tanto que el valor más alto para los cuatro sitios: 6,1°C, se alcanza en la morrena izquierda.

Sobre la base de temperaturas máximas y mínimas absolutas se encuentra que en el valle y la morrena izquierda se alcanzan las máximas temperaturas. La máxima durante el año: 25°C, se registró en el valle (Estación 2). En la morrena derecha y en el bosque se presentan temperaturas máximas menores, y generalmente en la morrena derecha las máximas son aún menores que en la estación ubicada en el bosque.

Durante los meses del período húmedo, las temperaturas mínimas absolutas en las morrenas y el valle son muy semejantes mientras que en el bosque la temperatura mínima absoluta es siempre al menos 2°C mayor que en las otras estaciones. En los meses secos, las temperaturas mínimas son mucho más bajas que en los húmedos y muy diferentes en las cuatro estaciones. En el valle y la morrena derecha se alcanzan mínimas semejantes, de hasta 7°C por debajo de las mínimas alcanzadas en los meses húmedos.

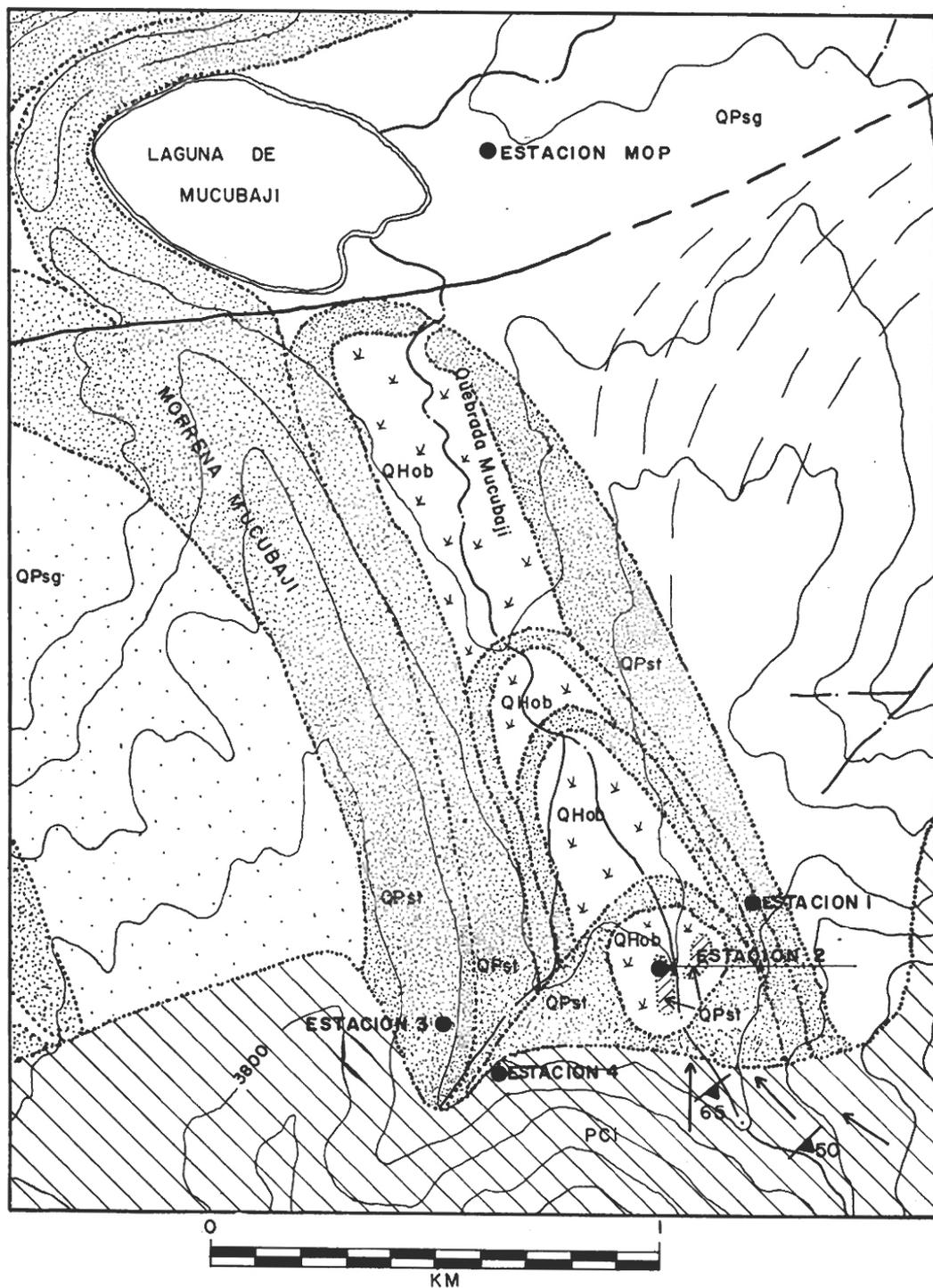


FIGURA 2: Mapa geológico de la zona de estudio (tomado de Schubert 1970). PCI: Grupo Iglesias, Precámbrico. QPst: "Till" glacial, morrenas, Pleistoceno. QHob: Holoceno, etc. Las flechas indican la posición de las cuatro estaciones y de la estación climatológica del MOP.

TABLA 3. TEMPERATURA MAXIMA, MINIMA Y MEDIA MENSUAL A 10 cm. EN LAS**CUATRO ESTACIONES**

Estación		Morrena Derecha 1	Valle 2	Morrena izquierda 3	Bosque 4
Media anual		3.2	4.9	6.1	5.4
Julio	Max.	13	15	15	12
	Min.	-2	-2	-2	0
	Med.	3	5.8	6.1	4.1
Agosto	Max.	12	16	15	10.5
	Min.	-1.1	-1	-1.5	1
	Med.	2.8	5.5	5.1	4.1
Septiembre	Max.	11.5	17	19.5	12.5
	Min.	-2	-2	-1.5	1
	Med.	3	4.9	5.5	5.4
Octubre	Max.	12	16	17	15
	Min.	-4.5	-7.5	-3	-1
	Med.	2.7	4.3	5.4	5.8
Noviembre	Max.	12.5	20	17	17
	Min.	-6	-8.8	-5	0
	Med.	2.8	2.8	4.2	6.9
Diciembre	Max.	15	20	20	17
	Min.	-7	-8	-5	-1
	Med.	4.1	5.1	5.7	6.0
Enero	Max.	15	23	22	19
	Min.	-7	-10	-3	-1
	Med.	2.6	5.3	6.1	6.7
Febrero	Max.	15	25	23	20
	Min.	-8	-12.5	-3	-1
	Med.	4.3	7.8	7	6.2
Marzo	Max.	16	18	22	16
	Min.	-5.5	-7	-2	-0.5
	Med.	3.3	3.2	7.7	6.5
Abril	Max.	16	16	21	16
	Min.	-6	-5	-4	1
	Med.	3.7	3.1	7.8	7.2
Mayo	Max.	15	15	20	12.5
	Min.	-4	-5	1	2.5
	Med.	3	5.8	6	4
Junio	Max.	12	14	18	12.5
	Min.	0	-1	1	2.5
	Med.	3.6	4.6	6.4	6

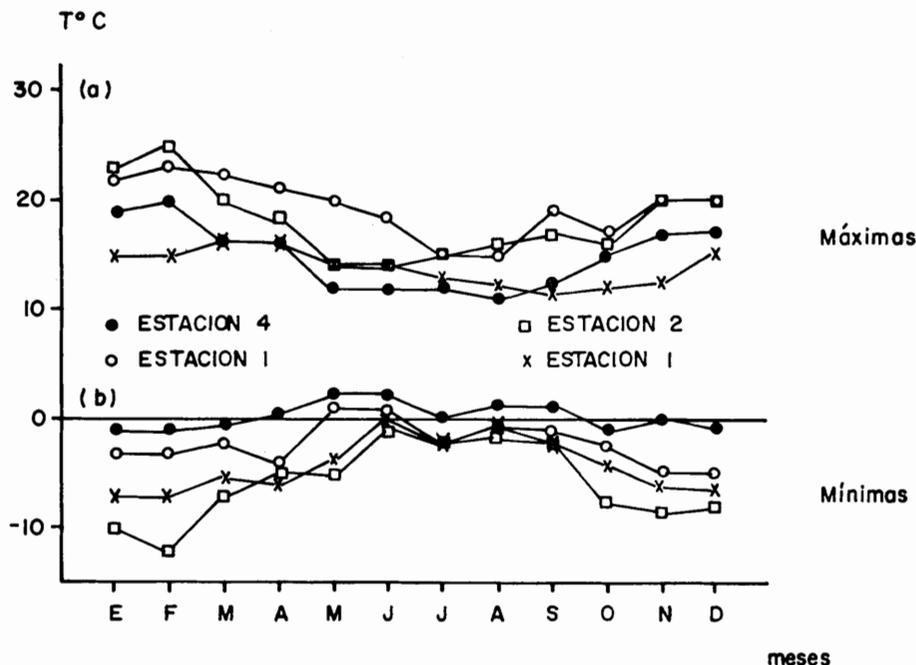


FIGURA 3: Temperaturas máximas y mínimas absolutas a 10 cm de altura en las cuatro estaciones, desde junio 1972 hasta junio 1973. (a) Temperaturas máximas. (b) Temperaturas mínimas. Estación 1 = Morrena derecha. Estación 2 = Fondo del valle. Estación 3 = Morrena izquierda. Estación 4 = Bosque de *Polylepis*.

Por otra parte en la morrena izquierda la mínima es menor que en el bosque, pero mayor que en la morrena derecha o en el valle. En la estación del bosque las mínimas absolutas varían poco a través de los diferentes meses, dando como resultado que en los meses secos sean mucho más altas que en las otras tres localidades.

En la Figura 3 se grafican los valores de temperaturas extremas en los diferentes meses en las cuatro estaciones. La mínima absoluta más baja se alcanza en el fondo del valle. (Estación 2) con $-12,5^{\circ}\text{C}$. En los meses de junio, julio, agosto y septiembre las mínimas son semejantes en las estaciones del valle y las morrenas, siendo en el bosque donde se registran las mínimas más altas, aunque durante algunos meses de la estación seca la temperatura puede bajar ligeramente de 0°C . En relación a las máximas, la morrena izquierda registra en la mayor parte

de los meses del año las temperaturas más altas; para los meses húmedos el bosque registra las máximas más bajas, pero en los meses secos es la morrena derecha (Estación 1) la que presenta las máximas menores.

En la Figura 4 se grafica la marcha horaria mensual de la temperatura en las cuatro estaciones. En primer lugar se evidencia el distinto comportamiento del curso diario de la temperatura, de acuerdo con la época del año; en los meses húmedos el ritmo diario de la temperatura no presenta una gran oscilación, pero en cambio en los meses secos las oscilaciones son mucho mayores. En segundo lugar puede verse que, si bien las mínimas absolutas se alcanzan en el valle, es la morrena derecha la que presenta las temperaturas nocturnas promedio más bajas. En relación a las temperaturas diurnas, es también en esta estación donde se registran las más bajas.

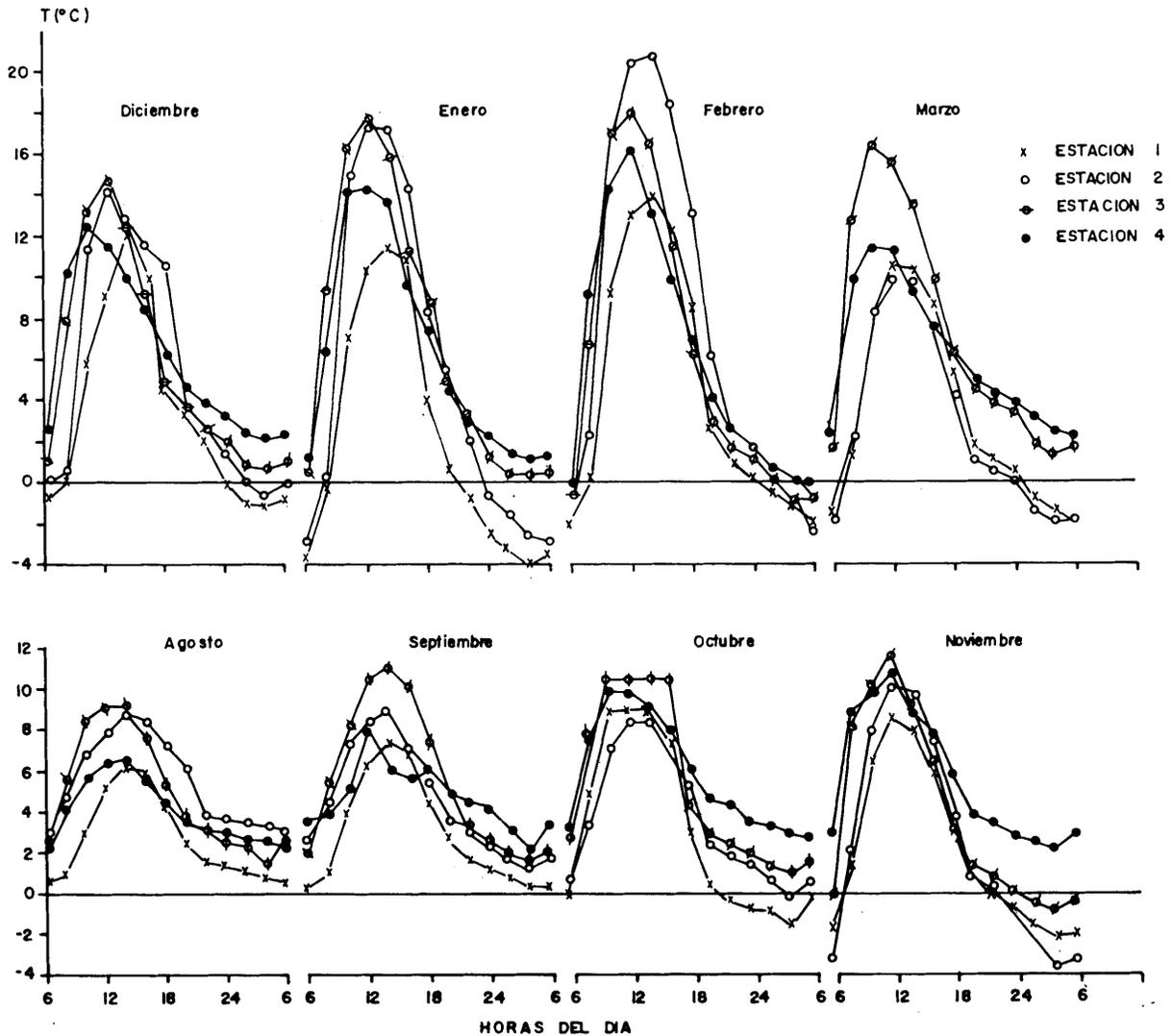


FIGURA 4: Marcha horaria de temperatura a 10 cm en las cuatro estaciones.

Durante un ciclo diario, la máxima temperatura se obtiene entre las 12 horas y las 14 horas, y las mínimas entre las 4. h y 5. h de la mañana; en las primeras horas de la mañana se experimenta un cambio brusco de temperatura que puede ser de 8°C o 10°C en promedio, esto ocurre principalmente en la morrena izquierda, el valle y el bosque, porque en la morrena derecha en esas mismas horas (6 y 8 de la mañana) el cambio es más gradual, presentándose un desfase que indica que el calenta-

miento rápido ocurre en esta área más bien entre las 8 horas y las 10 horas de la mañana.

En la Figura 5 se grafica el rango de oscilación térmica diaria para períodos de cinco días en las cuatro estaciones. Aunque durante casi todos los meses del año se pueden presentar temperaturas mínimas por debajo de 0°C es a partir de octubre y hasta abril cuando se presentan con mayor frecuencia. El mayor número de días con heladas, es decir el mayor

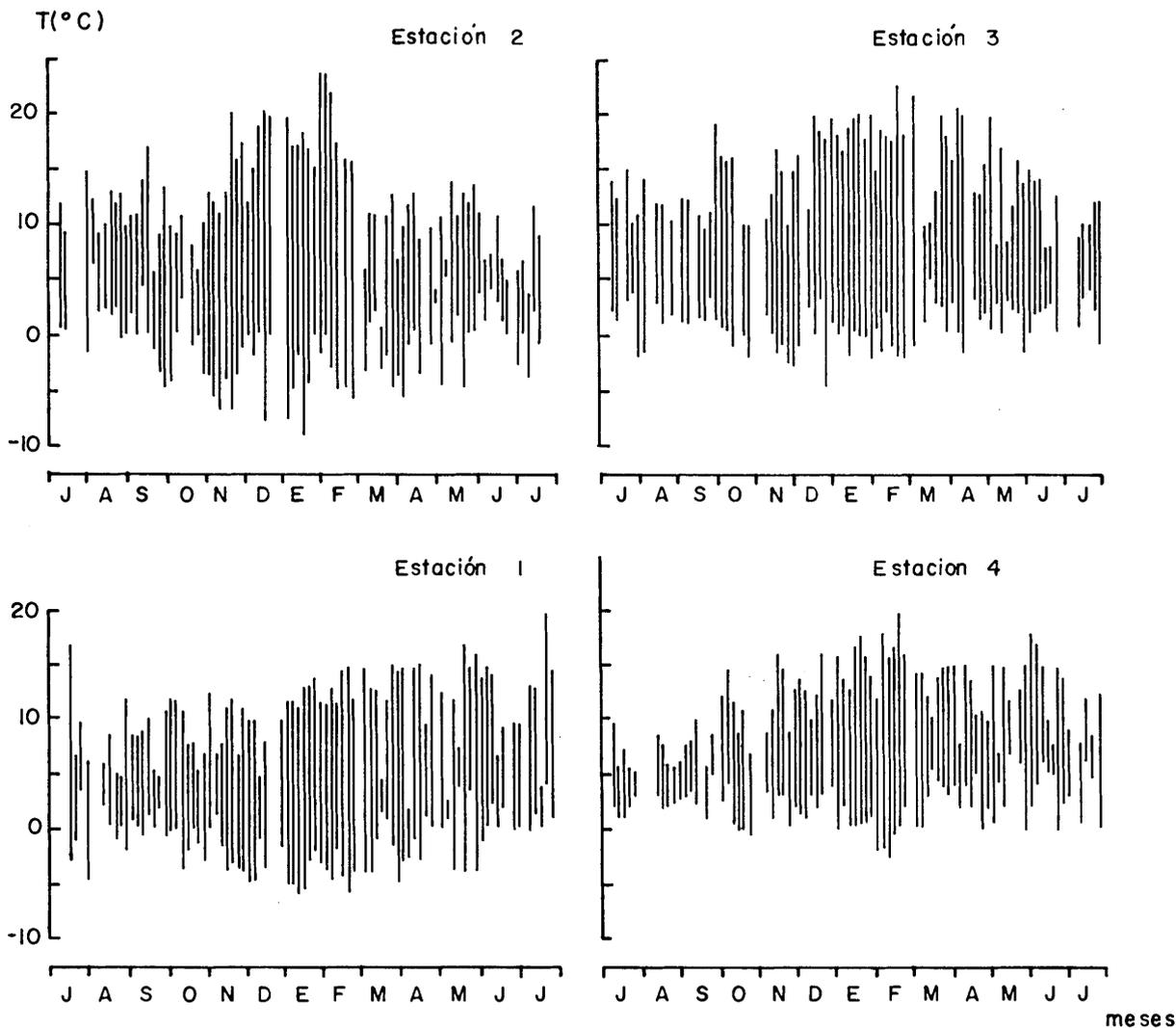


FIGURA 5. Oscilación térmica diaria en las cuatro estaciones cada cinco días (junio de 1972 a junio de 1973).

número de días con temperatura por debajo de 0°C , se presenta en el valle (235 días); el bosque en cambio registra la frecuencia más baja de heladas (39 días), 6 veces menos que en el valle y la morrena derecha y tres veces menos que en la izquierda. A su vez en esta última estación se registran la mitad de los días con heladas que se presentan en la morrena opuesta. Como puede verse en la Tabla 4 los días con temperaturas por debajo de 0°C se concentran en su mayor parte en los meses secos, aunque también ocurren en la época hú-

meda. Si comparamos los valores de la Tabla 4 con los de la estación meteorológica (80 días con heladas en promedio de 5 años), vemos que en las estaciones de páramo, a 10 cm del suelo, el número de días con temperatura por debajo de 0°C es significativamente mayor, mientras que en el bosque a la misma altura es menor.

En el valle y las morrenas (Estaciones 1, 2 y 3) se presentan heladas durante todos los meses del año, pero en número menor en la morrena izquierda.

TABLA 4 DISTRIBUCION DEL NUMERO DE DIAS CON HELADAS A 10 CM DEL SUELO EN**LAS CUATRO ESTACIONES**

Meses	J	J	A	S	O	N	D	E	F	M	A	M	Total
Estación 1	15	8	6	11	25	23	24	28	27	24	18	21	230
Estación 2	20	8	3	12	21	28	23	25	27	25	22	21	235
Estación 3	0	2	3	5	6	20	13	22	22	11	11	0	115
Estación 4	0	0	1	0	0	2	1	6	12	12	4	1	39

Finalmente, considerando que el factor más crítico en el ambiente son las temperaturas mínimas, se analizan en la Figura 6 los valores de la temperatura mínima media. Puede observarse que las estaciones se diferencian netamente, el bosque muestra los valores más altos durante el año; en la época húmeda, los promedios son más altos en el valle que en la morrena derecha, pero en la época seca los valores más bajos se registran en el valle. Si consideramos que la temperatura mínima es un factor que influye mucho sobre el crecimiento vegetal, tenemos que es en el fondo del Valle (Estación 2), donde se encuentran condiciones menos favorables. Balchin y Pye (1950), señalan que existe una estrecha correlación entre las temperaturas nocturnas o temperaturas mínimas y la tasa de crecimiento, a medida que desciende la temperatura nocturna disminuye la tasa de crecimiento.

Temperatura del Aire a 150 cm

En la Tabla 5 se sintetizan los valores obtenidos a 150 cm de altura en el aire, como puede verse la marcha de la temperatura a esta altura es similar a la de los 10 cm ya analizada.

En relación a las temperaturas medias, el valle y la morrena derecha son semejantes, igualmente la morrena izquierda y el bosque. En las estaciones del bosque y la morrena derecha (Estación 1 y 4) las máximas son siempre mayores a 150 cm que a 10 cm presentándose en estas dos estaciones un gradiente térmico en las horas del día, en el cual la temperatura disminuye al acercarnos al suelo.

En relación a las mínimas, las estaciones en las morrenas y el valle presentan mínimas más bajas a 10 cm que a 150 cm; en la estación de bosque en cambio en los meses húmedos las mínimas son semejantes, pero en los meses secos las mínimas se alcanzan a los 150 cm de altura, es decir el gradiente vertical está invertido con respecto a las 3 estaciones restantes. Si comparamos las temperaturas a las dos alturas en las cuatro estaciones se evidencia lo siguiente:

a) En el bosque (Estación 4), las temperaturas medias son semejantes a través del año, aunque en los meses húmedos es ligeramente superior a 10 cm y en los meses de la estación seca ocurre a la inversa, lo cual parece ser consecuencia de la influencia que ejerce la vegetación, ya que el bosque reduce el impacto del clima amortiguando la amplitud de la variación diaria.

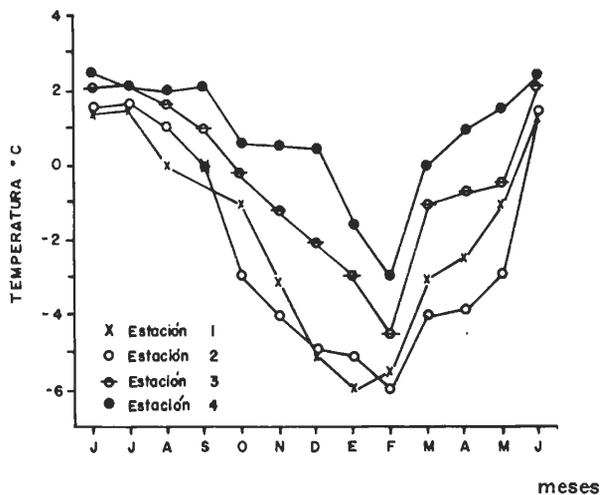


FIGURA 6. Temperatura mínima promedio en las cuatro estaciones. Registros a 10 cm (desde junio de 1972 a junio de 1973).

Estación 1 = Morrena derecha. Estación 2 = Fondo del valle.

Estación 3 = Morrena izquierda. Estación 4 = Bosque de *Polytepis*.

b) En la morrena derecha las mediciones son semejantes durante todo el año.

c) En el valle, en la estación seca las temperaturas medias a 10 cm son más altas que a 150 cm (hasta 3°C).

d) La media anual es semejante en las dos alturas en el bosque y la morrena derecha, mientras que en las otras dos estaciones, la media anual es 1°C más alta a 10 cm que a 150 cm.

Humedad Relativa a 10 y 150 cm

Los valores promedio de este factor se mantienen muy altos durante todo el año en las cuatro estaciones. Al igual que la temperatura, la humedad relativa muestra un ritmo diario y anual, en la figura 7 se comparan dos días tipo de la época seca (febrero) y la húmeda (julio), y el curso diario promedio para los mismos meses.

En la época seca, hay días muy claros, con mucha insolación y por consiguiente temperaturas altas, en las cuales la humedad relativa alcanza valores extraordinariamente bajos (menos del 20%) aún dentro del bosque (Estación 4), donde se obtiene por ejemplo un valor de 12% a las 10 h. Los menores valores registrados, alrededor de un 10%, en las horas más críticas con una temperatura de alrededor de 20°C, corresponden a un déficit de presión de vapor de 1,578 cm Hg que representa un valor bastante alto. Sin embargo estos valores mínimos de humedad relativa se mantienen durante poco tiempo (1 a 2 horas).

Para el mes de julio con menor insolación y temperatura más baja, los valores durante el día son sustancialmente más altos, el mínimo es de 70% lo cual implica un déficit de presión de vapor de 0,028 cm Hg. En general los valores mínimos se presentan entre las 10 de la mañana y 2 de la tarde.

La comparación del curso mensual nos indica que durante el mes de julio la humedad relativa es bastante alta y constante durante casi todos los días y en las diferentes horas; en el mes de febrero los promedios son un poco más bajos. Esto se debe a que durante la época seca las morrenas expuestas al Este o al Oeste reciben una iluminación diferencial, como veremos al analizar la radiación solar en el área. En cambio los frecuentes días nublados durante la época húmeda condicionan valores equivalentes en la cantidad de radiación recibida, opacándose en este caso los efectos de la exposición.

Radiación Solar

Se obtuvo un registro continuo de radiación solar en cal/cm², mediante un actinógrafo de Robitzsch, colocado en la estación 3 (morrena izquierda) durante un año y en las dos morrenas durante una semana. Al comparar los valores de radiación en las dos morrenas se encuentra que para los días nublados los valores son semejantes, pero para un día relativamente claro se obtuvo una diferencia de 93,1 cal/cm².

TABLA 5. TEMPERATURAS MAXIMAS, MINIMAS Y MEDIAS MENSUALES A 150 cm. EN LAS**CUATRO ESTACIONES**

Estación		Morrena Derecha 1	Valle 2	Morrena izquierda 3	Bosque 4
Media anual		3.0	3.8	5.4	5.3
Julio	Max.	13	15	13	13
	Min.	0	-1	1	0
	Med.	3	5.6	6	4.5
Agosto	Max.	13	15	14	12
	Min.	-1	0	0	1
	Med.	3.0	5.5	5.2	4.5
Septiembre	Max.	16	15	13	11
	Min.	0	-1	-1.5	1
	Med.	2.8	5.2	3.3	5.6
Octubre	Max.	17	15	13	14
	Med.	-2	-3	-5	-2
	Med.	3.1	2.6	3.7	5.0
Noviembre	Max.	20	20	24	20
	Min.	-6	-4	-3	-3
	Med.	2.6	2.6	3.8	6.1
Diciembre	Max.	20	17	24.8	21
	Min.	-7	-5	-4.5	-5
	Med.	2.5	2.6	4.7	5.6
Enero	Max.	21	20	24.5	21
	Min.	-7	-6	0	-5
	Med.	4.0	5	8	5.5
Febrero	Max.	20	22	22	24
	Min.	-9	-7	-1	-7
	Med.	3.5	6.5	8.1	5.6
Marzo	Max.	20	20	19	20
	Min.	-4	-8	-0	-3
	Med.	3.8	2.4	7.2	6.4
Abril	Max.	17	15	18	18
	Min.	-3	-3	0	-1
	Med.	4	3.5	7.5	7
Mayo	Max.	15	14	17	14
	Min.	-2	-3	-2	-2
	Med.	3.5	6	6.5	6.0
Junio	Max.	13	12	15	13
	Min.	0	0	2	2
	Med.	3.1	5	6.5	5.5

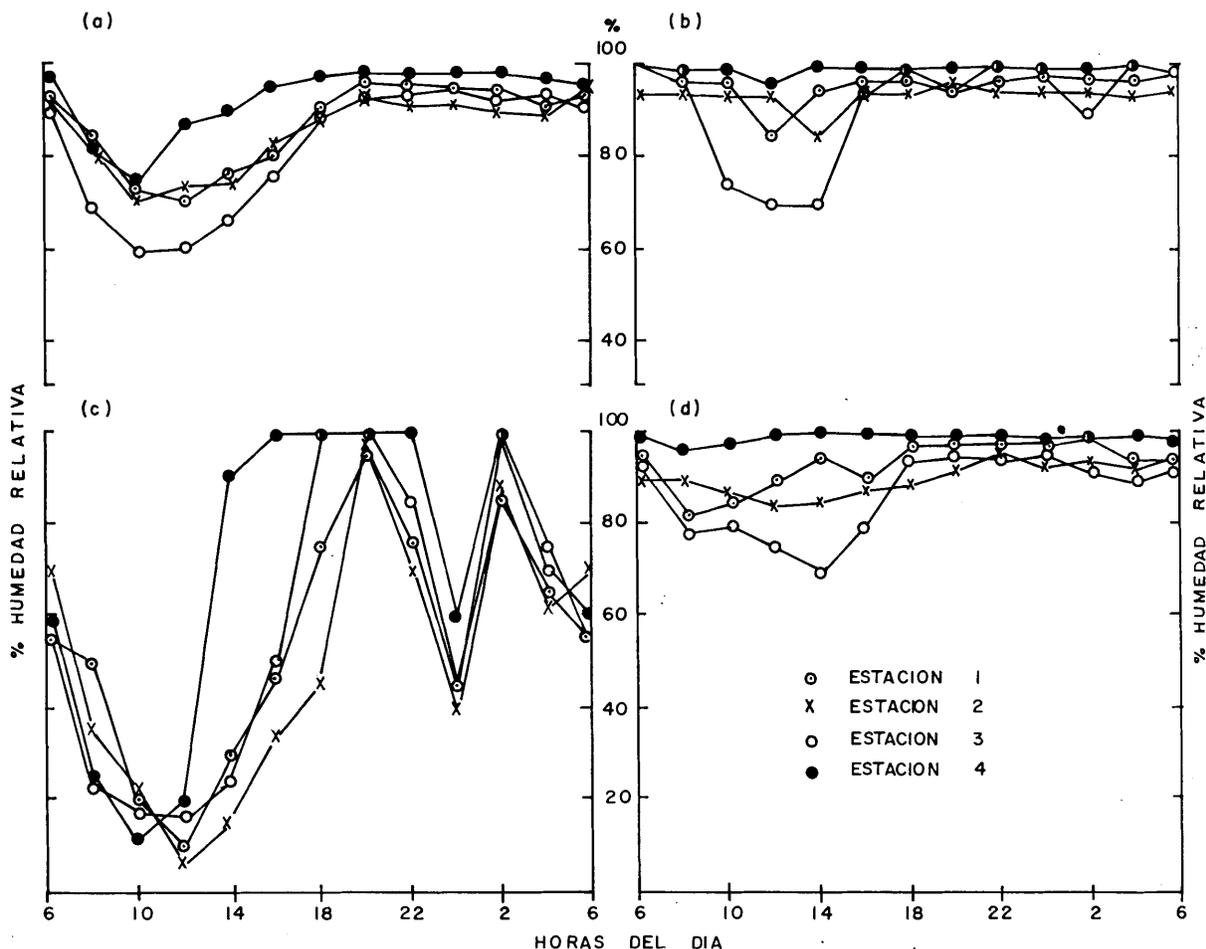


FIGURA 7. Ritmo diario y mensual de la humedad relativa en las cuatro estaciones, registros a 10 cm.

(a) Marcha horaria mensual de febrero

(b) Marcha horaria mensual de julio

(c) Marcha diaria el 27/2/73

(d) Marcha diaria el 7/7/73

día, obteniéndose en la morrena izquierda 607,0 cal/cm². día y en la morrena derecha 513,9 cal/cm². día o sea un 15% más de radiación en la morrena izquierda. Esto se debe a que en las horas de la mañana, solamente la ladera con exposición Este, o sea la morrena izquierda, recibe iluminación directa, pero en las horas del atardecer cuando solamente la ladera con exposición hacia el Oeste debería estar iluminada, esto se ve impedido debido a la alta nubosidad en estas horas. En días completamente nublados las condiciones son idénticas para las dos laderas y por lo tanto ambas reciben la misma cantidad de radiación.

En la Figura 8 se grafica la marcha anual de la radiación solar, puede observarse que este factor es altamente variable a través del año. Los más altos valores de radiación se registran en enero (13,3 Kcal/cm²) y los más bajos en junio (8,1 Kcal/cm²). Esta variabilidad anual se corresponde con una alta variación diaria; en días claros, la radiación puede subir hasta 818 cal/cm². día, este es el máximo valor registrado, pero en días muy nublados el valor puede descender hasta un mínimo de 94 cal/cm². día que representaría el valor de la radiación difusa, el cual sólo alcanza un 11% de la radiación global. En los meses secos con una mayor radia-

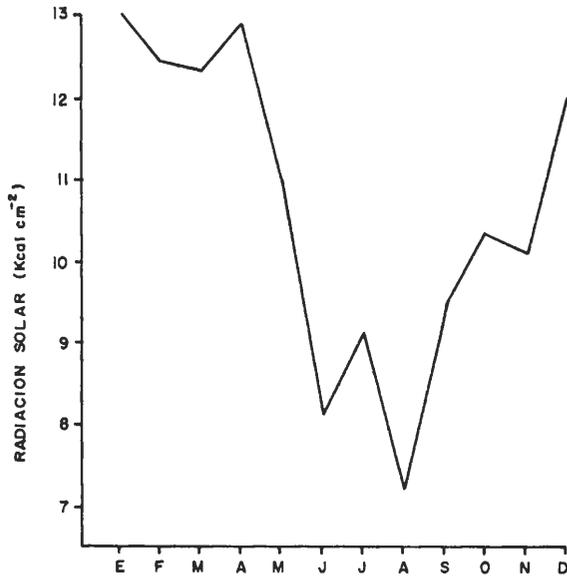


FIGURA 8: Marcha anual de la radiación global en el Páramo de Mucubají (julio de 1972 a junio de 1973).

ción total pueden presentarse sin embargo días nublados, lo mismo que en los meses húmedos se registran días esporádicos con mayor radiación.

En los meses secos la mayoría de los días presenta valores por encima de las 400 cal/cm². día y en los meses húmedos la mayoría de los días presenta valores por debajo de las 300 cal/cm². día. Estos valores de radiación son bajos comparados con aquellos señalados por Klikoff (1965) para la Sierra Nevada de California (Tundra alpina) que son del orden de los 600 a 800 langley (cal. g/cm²) por día en días soleados.

Si comparamos la marcha anual de la radiación solar en el páramo de Mucubají, con la marcha anual de este factor en Mérida, localizada en la misma latitud a 1700 m de altura (Burgos y col. 1965) se encuentra que en esta última área la radiación es más intensa, ya que los valores mínimos son de alrededor de 13 Kcal. cm⁻². mes⁻¹ y los máximos de alrededor de 17 Kcal. cm⁻². mes⁻¹, no obstante una alta nubosidad. En el páramo de Mucubají, en 343 días registrados, se obtuvo un valor total de 127,5 Kcal cm².

COMPARACION DEL CLIMA LOCAL EN LAS CUATRO ESTACIONES

Siguiendo la tendencia del clima regional, en el período húmedo las cuatro estaciones presentan características semejantes en relación a la humedad relativa. Como puede observarse en la Figura 9, los promedios mensuales de estos dos factores para el mes de junio son semejantes en las distintas estaciones. Así tenemos que para este mes y en general para todos los meses húmedos, el promedio de la temperatura mínima no llega a los 0°C, la máxima media no llega a ser mayor de 10°C, el mínimo de la humedad relativa nunca llega a ser menor de 80%. El que la temperatura y la humedad relativa sean semejantes en las cuatro estaciones durante la época húmeda indica que el factor más importante en la diferenciación de diferentes climas locales en esta área, viene dado por la insolación y la radiación. Como en esta época prevalecen condiciones de alta nubosidad y niebla durante la mayor parte de las horas del día, la radiación disminuye, originando que la atmósfera que rodea las plantas permanezca fría y húmeda. Es decir, la presencia de nubes y niebla durante la época húmeda, y en general en cualquier época, actuaría como un "buffer", en el sentido de que no permite que las temperaturas sean demasiado altas durante el día ni extremadamente bajas durante la noche, es decir se amortigua la amplitud de las variaciones diarias.

La relación entre los valores promedio de humedad relativa y temperatura, en febrero, un mes de la época seca, se expresa en la Figura 10, donde puede observarse una clara diferenciación entre los valores de las distintas estaciones. La morrena derecha (Estación 1) y el valle (Estación 2) presentan las temperaturas nocturnas más bajas, pero en el valle durante la noche se alcanzan valores de humedad relativa más altos; en las horas de mayor insolación, entre 10 y 14 horas, aunque en el valle se alcanzan temperaturas más altas que en la morrena derecha, los valores de humedad relativa son semejantes, indicando que el déficit de presión de vapor en el valle es mayor.

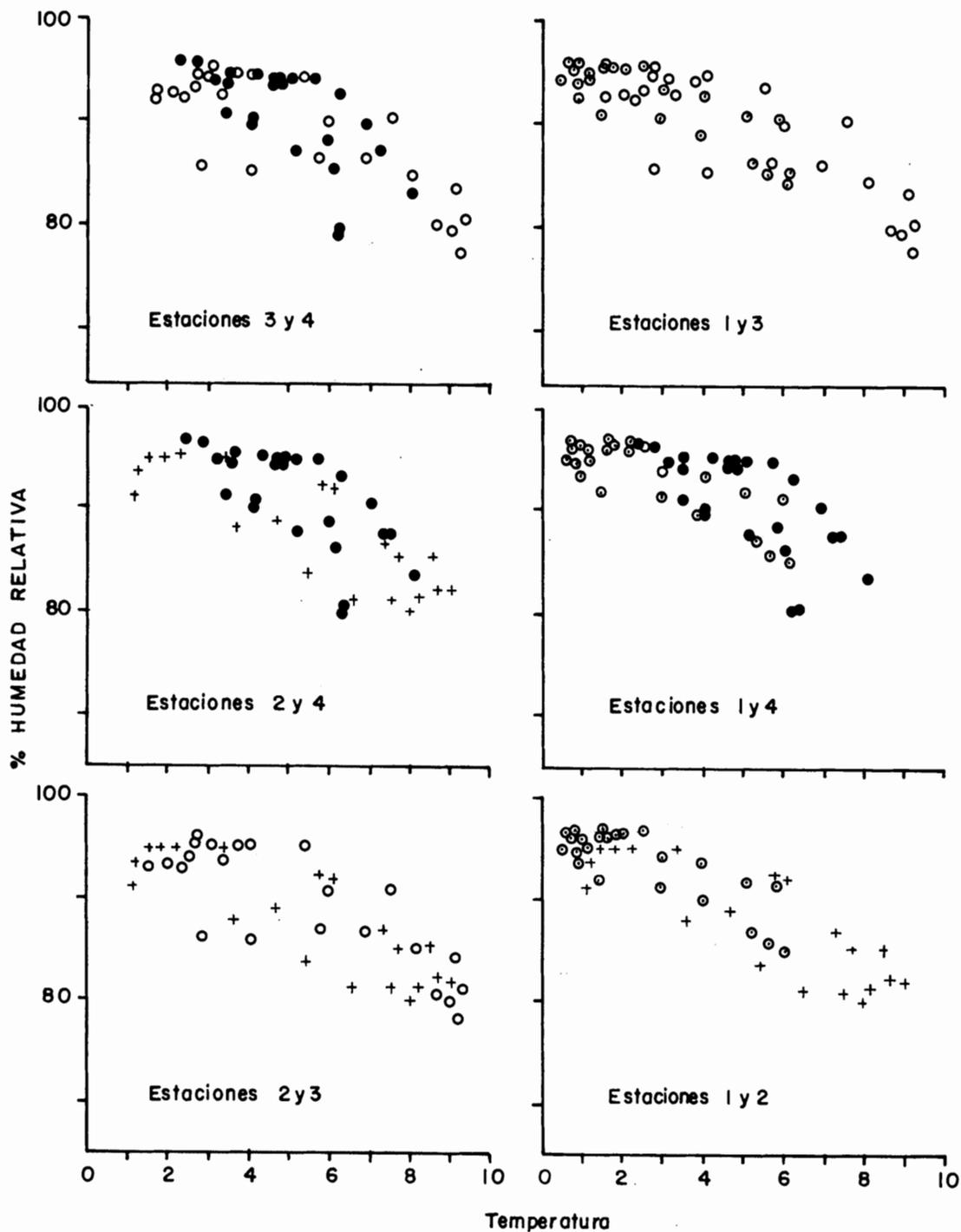


FIGURA 9: Promedios horarios de temperatura y humedad relativa durante el mes de junio (registros a 10 cm). ○ Estación 1 = Morrena lateral derecha. + Estación 2 = Fondo del valle. ○ Estación 3 = Morrena lateral izquierda. ● Estación 4 = Bosque de *Polylepis*.

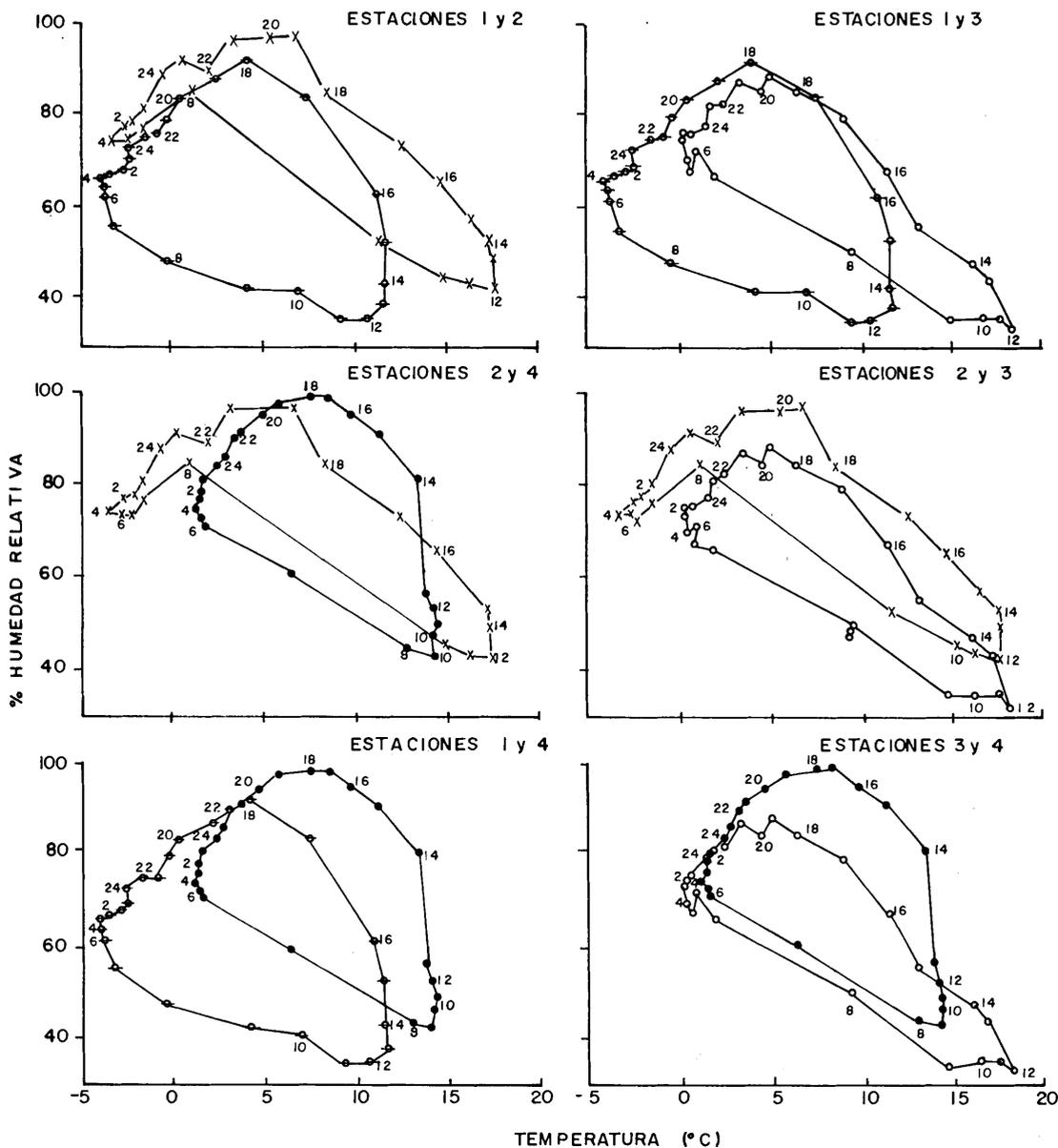


FIGURA 10: Promedios horarios de temperatura y humedad relativa en las cuatro estaciones durante el mes de febrero (registros a 10 cm). ○ Estación 1 = Morrena lateral derecha. + Estación 2 = Fondo del valle. ○ Estación 3 = Morrena lateral izquierda. ● Estación 4 = Bosque de *Polylepis*.

Si comparamos las temperaturas mínimas medias del valle con las de la morrena izquierda (Estación 3) y el bosque (Estación 4), encontramos que en estas dos últimas estaciones son mucho más altas, además las máximas son menores en el bosque que en el valle, mientras que en la

morrena izquierda son similares. Esta última estación y el valle presentan valores de humedad relativa semejantes, mientras que la morrena izquierda presenta valores más bajos, es decir que el déficit de presión de vapor será un poco mayor en la morrena izquierda que en el valle.

El hecho que la temperatura mínima sea mucho menor en el valle que en las morrenas, se explica porque aquella estación se encuentra rodeada por las morrenas, presentándose entonces el fenómeno de inversión de la temperatura (Geiger 1965, Daubenmire 1959, Bliss 1966, Claussen 1965, Hedberg 1964). El aire de las pendientes superiores, más frío, tiene mayor densidad que el aire caliente que se ha acumulado en el valle durante el día, por lo tanto se desliza por debajo de la masa de aire caliente y la desplaza, determinando que la temperatura nocturna en el fondo del valle sea sustancialmente menor que en las laderas que lo rodean. Si comparamos la temperatura mínima, y aún las medias, del valle y la morrena derecha, se encuentra que aunque esta última está en posición de ladera, las temperaturas mínimas son semejantes a las del valle. Además debido a las máximas mayores del valle, la temperatura media de la morrena derecha resulta más baja que en el valle.

Diferencias de temperatura entre dos pendientes con distinta exposición, fueron analizadas, para un valle subalpino de la Sierra Nevada de California, por Claussen (1965), quien señala el hecho de que la pendiente con exposición norte, en el hemisferio Norte, presenta temperaturas máximas y mínimas mucho menores que en la exposición Sur. En nuestro caso, las laderas que rodean el valle se encuentran en exposición Este, la de la morrena izquierda y en exposición Oeste, la de la morrena derecha; si bien estamos en el hemisferio Norte, por nuestra posición muy cerca al Ecuador este efecto Norte-Sur tiene relativamente menos importancia y en su lugar adquiere mayor significación la exposición Este-Oeste, siendo la exposición Este más caliente o más favorable que la exposición Oeste.

Las diferencias térmicas entre las dos exposiciones se evidencian claramente en los resultados mostrados, la exposición Oeste presenta temperaturas mínimas y máximas mucho menores que las pendientes con exposición Este. Esto se debe fundamentalmente a que en las primeras horas de la mañana se ilumina solamente la pendiente con exposición Este, con un

desfasaje de alrededor de 2 h 30' en relación a la otra ladera; en la tarde tendría que ocurrir el fenómeno contrario iluminándose por mayor tiempo la ladera con exposición Oeste, pero este efecto se ve impedido por la alta nubosidad del atardecer, lo que determina que la ladera más favorecida en el aspecto térmico sea la que mira hacia el Este.

El hecho de que en la exposición Oeste se alcancen temperaturas mínimas similares al valle, emulando de esta manera el "efecto valle", se debe fundamentalmente a la menor cantidad de radiación que recibe.

Debido a que la temperatura nocturna tiene un efecto pronunciado sobre el crecimiento vegetal, Balchin y Pye (1950), este efecto debe ser más notorio en el valle y la morrena derecha ya que presentan menores temperaturas nocturnas. En las otras 2 estaciones las temperaturas nocturnas son más altas, siendo en el bosque donde se obtienen las temperaturas mínimas mayores, indicando que la pérdida neta de calor por irradiación debe ser muy pequeña en esta estación, posiblemente debido al efecto protector del bosque.

La comparación entre los valores de temperatura del aire en la estación meteorológica y los que se registran en las cuatro estaciones que hemos analizado, a 150 cm de altura, se muestra en la Tabla 6.

En la estación meteorológica la temperatura media mensual oscila alrededor de los 6°C, con una variación de 1,9°C; este valor es semejante, aunque algo mayor, que el promedio en las estaciones 3 y 4 (morrena izquierda y bosque), sin embargo existe una mayor oscilación de la temperatura media mensual en la morrena izquierda (4,4°C). Los valores del valle y la morrena derecha en cambio, son bien distintos a los de la estación meteorológica, más aún en los meses secos; pero en la morrena derecha la oscilación anual es pequeña, igual a la oscilación en la estación MOP (1,9°C). En síntesis, las temperaturas en las distintas localidades son diferentes a las de la estación meteorológica; esto significa que para estudios ecológicos del área, los datos climáticos regionales no pueden ser extrapolados a cualquier sitio particular.

TABLA 6 COMPARACION ENTRE LOS VALORES DE TEMPERATURA MEDIA EN LA ESTACION CLIMATOLOGICA DEL MOP Y EN LAS CUATRO ESTACIONES MICROCLIMATICAS A 150 CM DE ALTURA (JUNIO DE 1972 A JUNIO DE 1973)

	J	A	S	O	N	D	E	F	M	A	M	J	Media anual
Est. Meteor.	5.5	5.7	6.2	5.8	5.3	5.3	6.7	6.8	7.2	6.9	6.5	6.9	6.3
Estación 1	3.0	3.5	2.8	3.1	2.6	2.5	4.4	3.5	3.8	4.0	3.5	3.1	3.3
Estación 2	5.6	5.5	3.3	2.6	2.6	2.6	5.0	6.5	2.4	3.5	6.0	3.1	4.2
Estación 3	6.0	5.2	5.2	3.7	3.8	4.7	8.0	8.1	7.2	7.5	6.5	6.5	5.8
Estación 4	4.5	4.5	5.6	5.0	6.1	5.6	5.5	5.6	6.4	7.0	6.0	5.5	5.6

En cuanto a temperaturas medias la estación más parecida a la estación climatológica es la morrena izquierda.

En relación a la temperatura y humedad relativa podemos adelantar las siguientes conclusiones:

- Los climas locales en cada una de las cuatro estaciones analizadas son diferentes y éstos están determinados fundamentalmente por la posición topográfica y la exposición (topoclimas).
- El bosque o estación 4, presenta las condiciones menos extremas, pues registra durante todo el año las temperaturas mínimas más altas y las máximas más bajas, lo que determina que el rango de oscilación diaria en este ambiente no sea demasiado pronunciado. Tenemos entonces allí las condiciones menos extremas, más "mésicas", pero no las más favorables en relación a la fotosíntesis, pues las temperaturas diurnas

son bajas. Por otra parte, es aquí donde se presenta el menor número de días con temperaturas por debajo de 0°C.

- Debido al fenómeno de inversión térmica, el fondo del valle es más frío, con el mayor número de días con heladas de todas las posiciones topográficas.
- La morrena con exposición oeste presenta las condiciones térmicas más desfavorables, ya que a las bajas temperaturas nocturnas, semejantes a las del fondo del valle, se suma el tener las temperaturas diurnas más bajas de las cuatro estaciones.

CARACTERISTICAS AMBIENTALES Y DIFERENCIALES DEL PARAMO Y EL BOSQUE DE POLYLEPIS

Temperatura del Aire

En las Tablas 7 y 8 se sintetizan los valores de temperatura del aire a 10 y 150 cm, medidos en el bosque y el páramo en diferentes días

TABLA 7 TEMPERATURA DEL AIRE Y DEL SUELO EN EL PARAMO (ESTACION 3) FEBRERO DE 1972

A ENERO 1973

Fecha	Condic. atmosf.	Temp. del aire			Temperatura del suelo				
			150 cm.	10cm.	0 cm.	5 cm.	10 cm.	30 cm.	50 cm.
8/2	Nmll	Max.	14.6	18.8	16	13	10.3	8.8	8.5
		Min.	1.8	1.2	1	6	6	8.4	8.1
		Osc.	12.8	17.6	15	7	4.3	0.4	0.1
17/3	Nmll	Max.	16.2	17	22.2	22.2	17.7	12	11
		Min.	2.8	2	2.4	7	9.2	10	10.8
		Osc.	13.4	15	19.8	15.2	8.5	2	0.2
21/4	NM	Max.	12	12	12.5	10	10	9.2	9.2
		Min.	3	3	2	5	7	8.22	8.8
		Osc.	9	9	10.5	5	3	1	0.4
18/5	NMLL	Max.	11	10.8	16	13	11	10	9.6
		Min.	3.1	3.2	2	5	7.4	9	9.4
		Osc.	7.9	7.6	14	8	3.6	1	0.2
25/6	Nm	Max.	12.4	14.8	14	11.2	9.1	8.4	8.6
		Min.	-0.4	-0.4	1	3	5.8	7.2	8.4
		Osc.	12.8	15.2	13	8.2	3.6	1.2	0.4
22/7	NMLL	Max.	8.8	10.2	14.5	13	8.8	9	9
		Min.	3.4	3.8	4.5	6	6.4	8.6	8.6
		Osc.	5.4	6.4	10	7	4.4	0.4	0.4
15/9	NMLL	Max.	11	12	19.5	13.4	12.2	10	9.4
		Min.	4.6	4.8	5	6	7.2	9	9
		Osc.	6.4	7.2	14.5	7.4	5.0	1	0.4
28/10	Nm	Max.	11	12	18	14.7	13.6	9.8	9.2
		Min.	4.6	4.2	5	6.4	7.2	8.8	8.8
		Osc.	6.4	7.8	13	7.8	6.4	1	0.4
25/11	Nm	Max.	12	13.8	22.5	18	11.6	10.6	10
		Min.	1.8	1.6	0	4.2	7.2	9.6	9.6
		Osc.	10.2	12.2	22.5	13.8	4.4	1	0.4
16/12	Nm	Max.	13.5	14.2	20	16.8	10.4	9.4	9.1
		Min.	2.1	2.2	2	6	7.4	8.4	8.8
		Osc.	11.4	12	18	10.8	3	1	0.3

N = nubosidad mayor del 50%
 n = nubosidad menor del 50%
 M = neblina intensa

m = neblina suave
 ll = lluvias
 ll = llovizna

del año, así como las condiciones atmosféricas prevalecientes en los dos ambientes en los días de medición; y en la figura 11 se puede observar la marcha diaria de la temperatura del aire a las dos alturas entre el 24 y 25 de junio en el páramo la temperatura mínima del aire es

La fluctuación térmica normal es del orden de los 15°C a los 10 cm y de 14°C a los 150 cm. En las horas del día la temperatura a 150 cm es ligeramente menor que a 10 cm, mientras que en las horas de la noche son muy semejantes en las dos alturas. La temperatura

máxima se alcanza en horas del mediodía; podemos notar que existe una pequeña diferencia entre las dos temperaturas del mediodía ocasionada posiblemente por la mayor nubosidad en un día que en el otro. En la figura 12 presentamos los valores obtenidos para el mismo día en el bosque, en esta estación la oscilación de la temperatura del aire fue de 12,0°C a 10 cm y de 10,5°C a 150 cm. Una comparación de las gráficas 11 y 12 nos indica que en el páramo la temperatura mínima del aire es alrededor de 1°C menor y la máxima 3,4°C mayor.

TABLA 8 TEMPERATURA DEL AIRE Y DEL SUELO EN LA ESTACION. BOSQUE DE POLYLEPIS

(ESTACION 4) FEBRERO DE 1972 A ENERO DE 1973

Fecha	Condic. atmosf.	Temp. del aire			Temperatura del suelo				
			150	10	0	5	10	30	50
8/2	Nml1	Max.	10.2	9.4	8.5	6	6	5.2	5.2
		Min.	2	1.8	1	4	5	5	5
		Osc.	8.2	7.6	7.5	2	1	0.2	0.2
17/3	Nml1	Max.	14.2	14.8	14.5	10	7.8	6.7	6
		Min.	2.3	2.6	2.6	5.5	6	6.4	5.4
		Osc.	11.9	12.2	11.3	4.5	1.8	0.3	0.6
21/4	NM	Max.	8	8.6	8.8	8	6.4	6	5.9
		Min.	1.6	3.4	3.4	5.5	5.6	5.8	5.8
		Osc.	6.4	5.2	5.4	2.5	0.8	0.2	0.1
18/5	NMLL	Max.	5.8	8.8	8.4	8	7	6.8	6.3
		Min.	3.1	3.6	3	6	6.5	6.2	6.2
		Osc.	2.7	5.2	5.4	2	0.5	0.6	0.1
25/6	Nm	Max.	10.5	12	12.8	11	5.6	5.9	5.8
		Min.	0	0	0.4	1.6	4.6	5.5	5.7
		Osc.	10.5	12	12.4	9.4	1	0.4	0.1
22/7	NMLL	Max.	7.8	7.8	9.6	6	6	5.9	5.8
		Min.	3.6	3.8	4.4	5	5.6	5.6	5.7
		Osc.	4.2	4.0	5.2	1	0.4	0.3	0.1
15/9	NMLL	Max.	9.4	8.8	8.6	7.8	6.6	6.1	6
		Min.	4	4.6	5	6	5	5.7	5.4
		Osc.	5.4	4.2	3.6	1.8	1.6	0.4	0.6
28/10	Nm	Max.	8.4	8.4	8.6	8	6	5.9	6
		Min.	3.8	4.4	4.5	5.6	5	5.4	5.9
		Osc.	4.6	4	4.1	2.4	1	0.5	0.1
25/1	Nm	Max.	8.6	9	9	6.4	5.2	5.3	5.3
		Min.	2.2	2.8	2.2	5	4.8	5.1	5.3
		Osc.	6.4	6.2	6.8	1.4	0.4	0.2	0.0
16/12	Nm	Max.	7.4	8.6	8	6	5.6	5.9	6
		Min.	2.4	2.9	3	4.2	5.2	5.5	5.9
		Osc.	5	5.7	5	1.8	0.4	0.4	0.1
26/1		Max.	17	17.6	11.2	6	5.5	5.5	5.5
		Min.	2	2	1.2	4	4.5	5.1	5.4
		Osc.	15	15.6	10.0	2	1	0.4	0.1

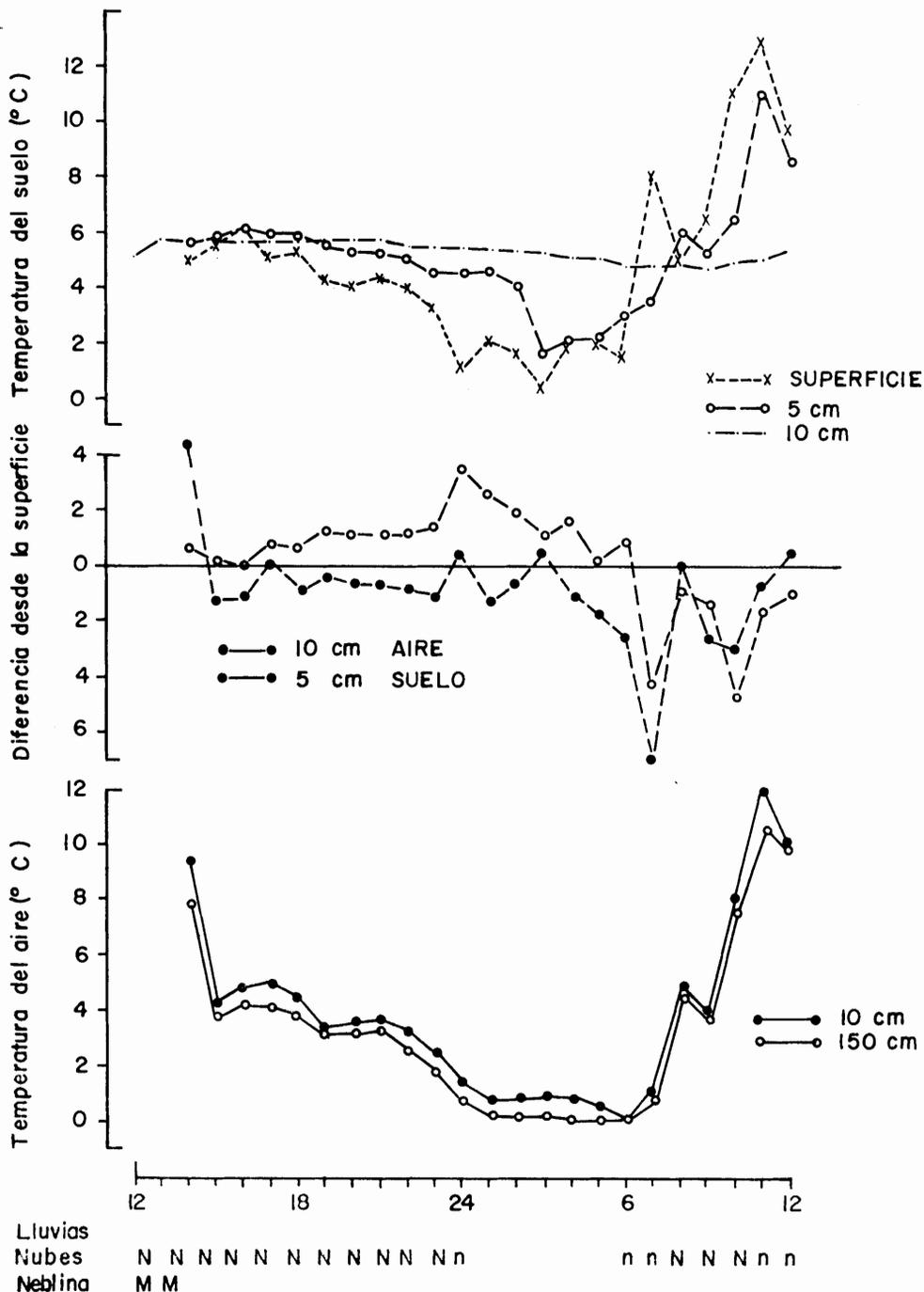


FIGURA 11: Ritmo diario de la temperatura del aire y del suelo en la estación 3 (Morrena lateral izquierda). Corresponde a un día de la época húmeda (24/25 de junio de 1972) donde prevalecieron condiciones de nubosidad, en contraposición las lluvias y la neblina fueron escasas. N = nubosidad mayor del 50%. n = nubosidad menor del 50%. M = neblina intensa. m = neblina suave. Ll = lluvias. ll = llovizna.

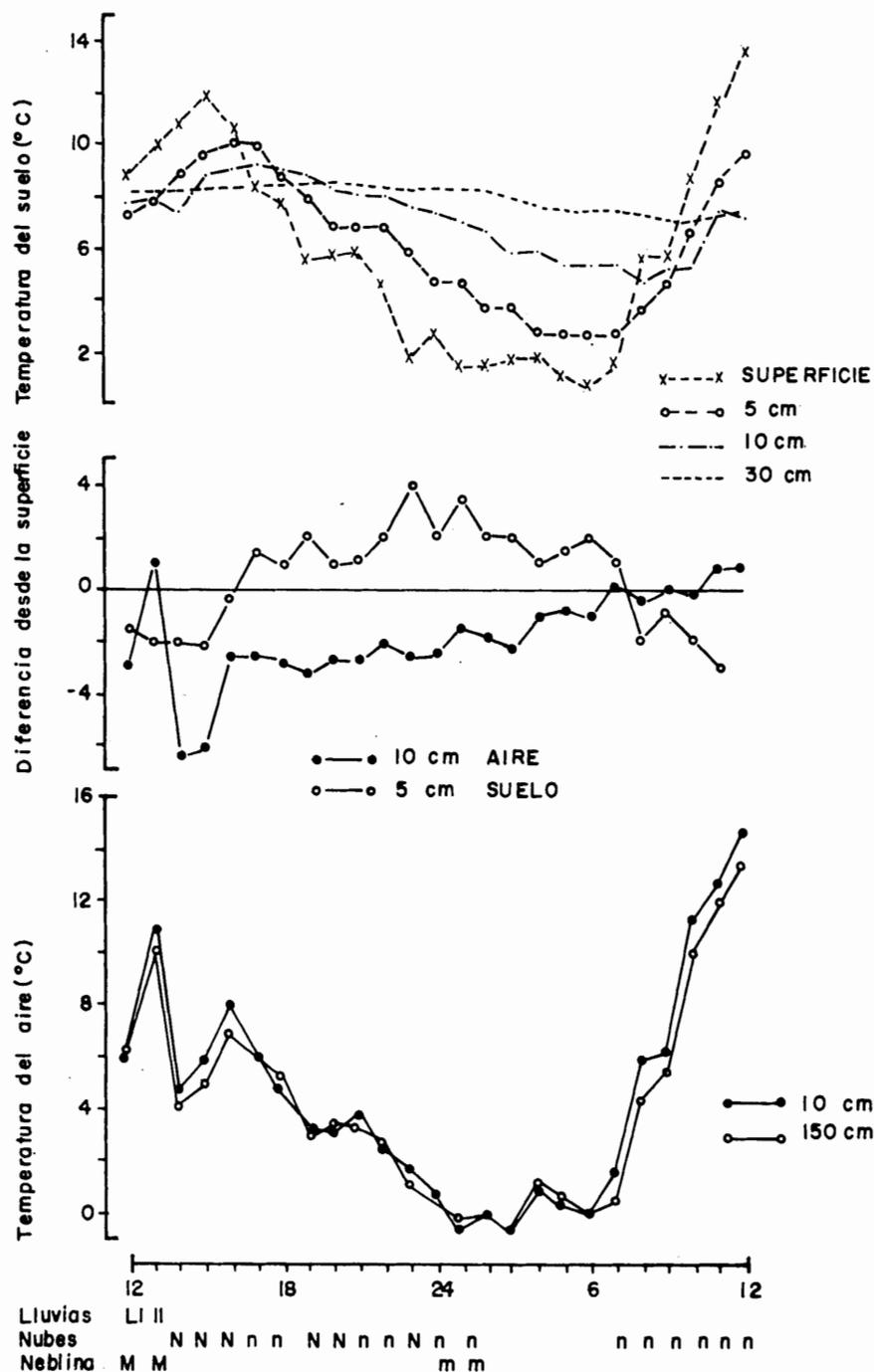


FIGURA 12: Ritmo diario de la temperatura del aire y del suelo en la estación 4 (Bosque de *Polylepis*). Corresponde a un día de la época húmeda (24/25 de junio de 1972) donde prevalecieron condiciones de alta nubosidad y escasa neblina.

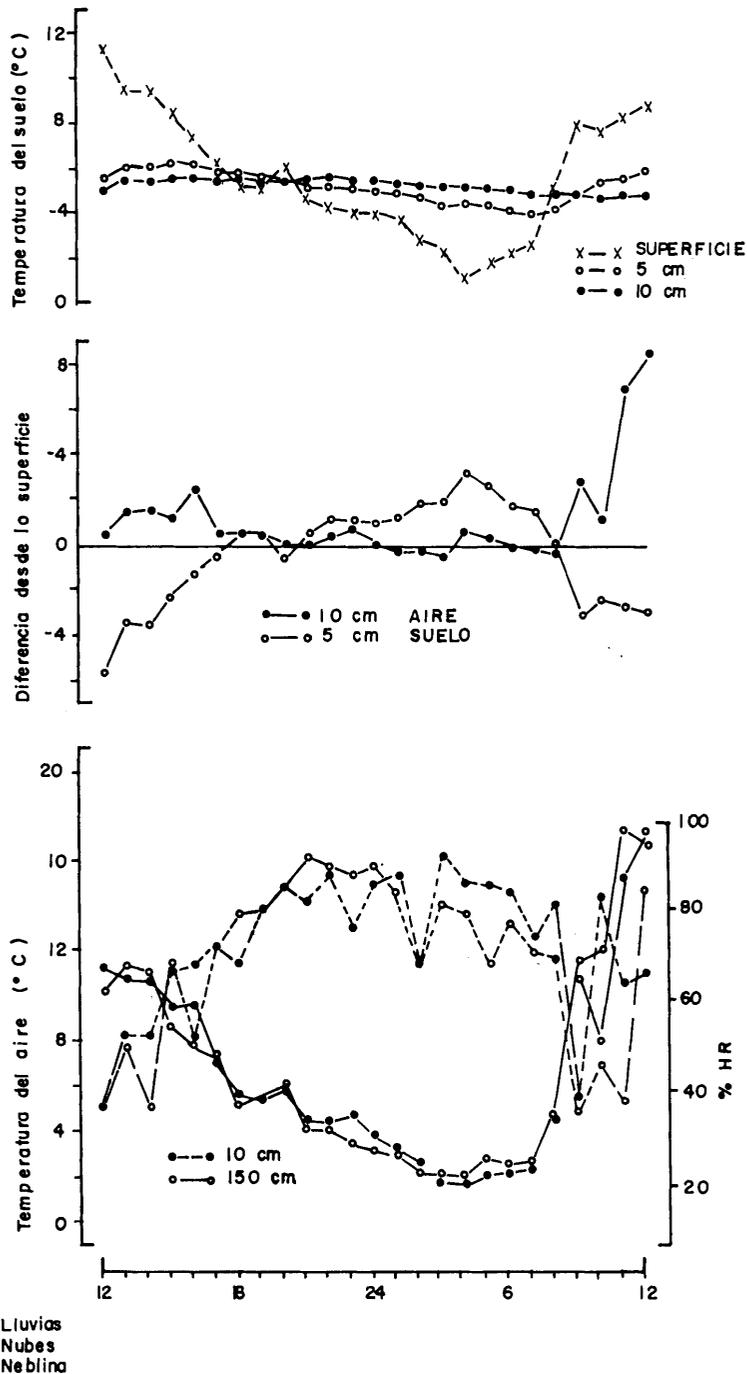


FIGURA 13: Ritmo diario de la temperatura del aire y del suelo y de la humedad relativa en la estación 4 (Bosque de Polylepsis). Corresponde a un día de la época seca (26/27 de enero de 1973) con cielo completamente despejado y sin lluvias ni neblina.

En la figura 13 se presentan los valores de temperatura del aire y del suelo y de humedad relativa medidos en el bosque el 27 de enero de 1973, en un día completamente despejado y con alta irradiación. La temperatura del aire presenta una oscilación de 16,2°C a 10 cm, la máxima fue de 18°C; sin embargo, si comparamos con los valores obtenidos el 25 de junio, vemos que la mínima fue menor en el mes de junio pero la máxima es más alta en este mes de enero.

Para la misma fecha, la temperatura máxima del aire en el páramo fue de 25,2°C y la mínima 1,5°C a 10 cm; a 150 cm la máxima fue 20°C y la mínima 3°C. Si se compara la temperatura del aire con la temperatura en la superficie del suelo se encuentra que la primera es más baja durante el día (Figura 14). En general para todos los días medidos, la temperatura del aire tiene como característica la de presentar una amplitud mayor en el páramo que en el bosque, es decir las mínimas son más bajas y las máximas más altas en la primera de las estaciones nombradas.

Nuestros resultados muestran asimismo la influencia de la nubosidad y la neblina sobre la temperatura del aire en ambas estaciones.

Temperatura del suelo

Las Tablas 7 y 8 reúnen los valores de temperatura del suelo en el páramo y el bosque tomados durante ciclos continuos de 24 horas, con intervalos de 30 a 40 días. Tanto las temperaturas máximas como las mínimas se alcanzan en los niveles más superficiales del suelo, dando como resultado una inversión del gradiente a lo largo del ciclo diario, es decir durante las noches las temperaturas a mayor profundidad son más altas mientras que en el día son más bajas.

En el páramo es más notable el gradiente de temperatura a través del perfil, especialmente en los meses secos. En la Figura 11, se presentan los valores de temperatura del suelo en un día del mes de junio, nublado durante las horas diurnas y despejado du-

rante la noche. La temperatura en la superficie del suelo sigue el mismo curso que la temperatura del aire, aunque la mínima es mayor en unas décimas de grado. A los 5 y a los 10 cm de profundidad, la temperatura también presenta oscilaciones durante el ciclo diario, pero más atenuadas que en la superficie; las temperaturas máximas y mínimas se alcanzan a horas distintas debido al desplazamiento de la onda térmica a través del suelo. Pero a los 30 cm se detecta una oscilación mínima, lo mismo que para los 50 cm, así vemos que a 30 cm la temperatura varía entre 8,4°C y 7,2°C y a 50 cm entre 8,6°C y 8,4°C.

Durante la mayor parte del ciclo diario la temperatura del aire es menor que la temperatura de la superficie del suelo, en cambio a 5 cm de profundidad se presenta una inversión, durante la noche la temperatura es más alta que en la superficie y durante el día es más baja.

En la Figura 12 aparecen los valores de temperatura del suelo en el bosque, para el mismo día. En superficie y a 5 cm la temperatura sufre variación durante las horas del día, pero a 10 cm permanece más o menos constante. La temperatura en la superficie del suelo es mayor que la del aire durante la mayoría de las horas del día, en especial en las primeras horas de la mañana cuando las diferencias pueden ser hasta de 7°C; a 5 cm la temperatura es más alta que en la superficie en las horas nocturnas y más baja durante el día.

Una comparación de la temperatura del suelo en el páramo y en el bosque (Figuras 11 y 12) nos muestra que a todas las profundidades las máximas son mayores en el páramo; también la mínima en superficie es menor en el páramo, pero a partir de los 5 cm ya son menores en el bosque.

Las temperaturas medidas en el bosque el 26 y 27 de enero (Figura 12), muestran que la superficie del suelo es más fría que el aire durante las horas de insolación, pero en las horas nocturnas los valores son semejantes. A partir de los 5 cm las temperaturas son más

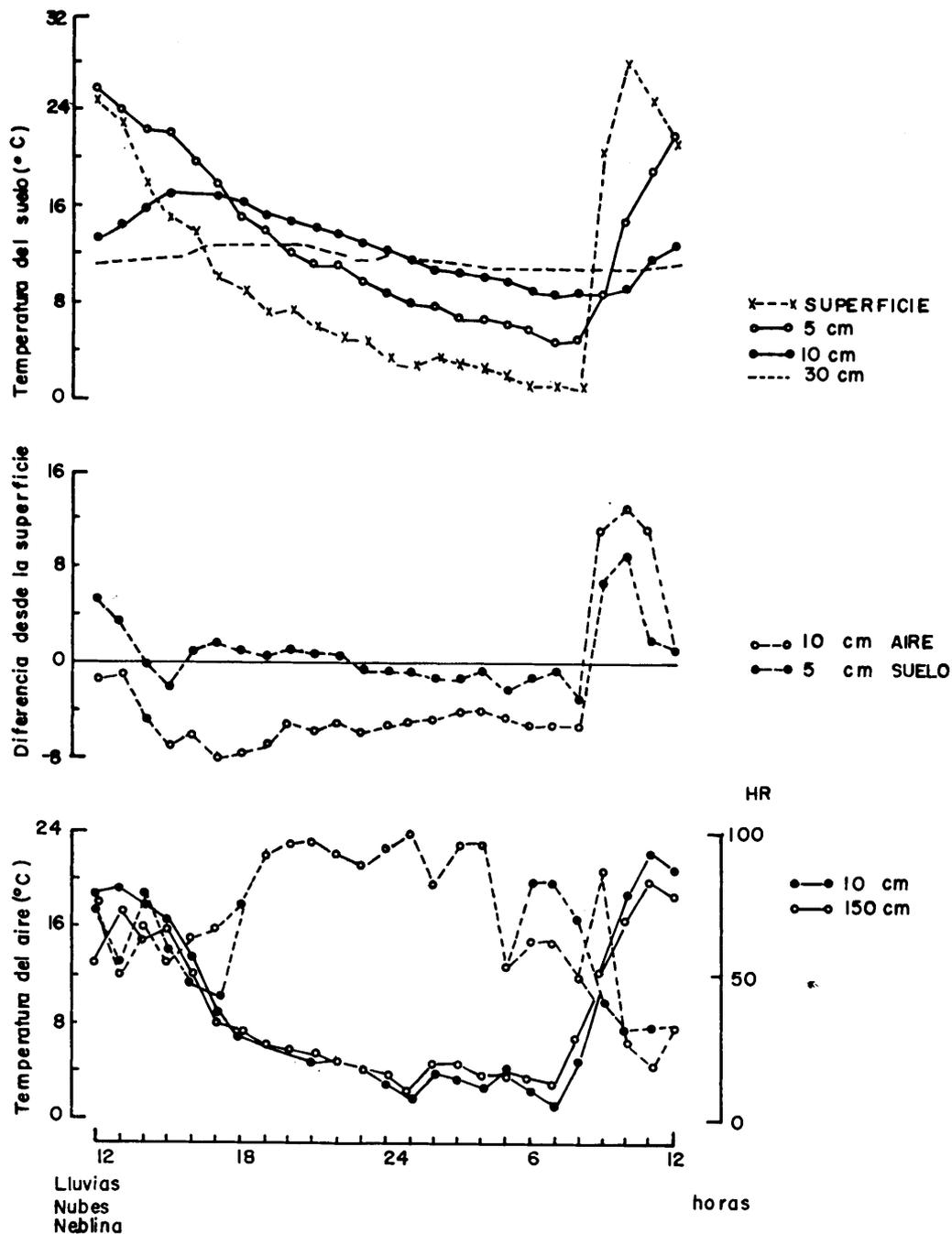


FIGURA 14: Ritmo diario de la temperatura del aire y del suelo y de la humedad relativa en la estación 3 (Morrena lateral izquierda). Corresponde a un día de la época seca (26/27 de enero de 1973) con cielo completamente despejado y sin lluvias ni neblina.

o menos constantes en todas las horas del día presentándose un gradiente invertido, durante el día la superficie es más fría, en tanto que es más caliente en la noche.

En el páramo las diferencias térmicas entre los distintos niveles del suelo son más notables (Figura 14). En la superficie se obtiene una oscilación de 27°C; a los 5 cm de profundidad la temperatura es mayor que en la superficie durante casi todo el día. Comparando las dos estaciones vemos que en superficie la temperatura mínima alcanza el mismo valor (1°C), lo que varía son las máximas: 28°C en el páramo y 11,2°C en el bosque; a los 5 cm el páramo presenta una mínima de 5,4°C y el bosque 4,1°C, a los 10 cm se tienen valores de 9°C y 4°C respectivamente.

Una característica notable de la temperatura del suelo en ambas estaciones es el calentamiento rápido en las primeras horas de la ma-

ñana, lo mismo que las oscilaciones bruscas en horas del día, especialmente en la superficie y los primeros cm de profundidad; este incremento rápido en las mañanas y los cambios que pueden presentarse durante el día presumiblemente deben estar relacionados con las variaciones en radiación debidas a la neblina y a los cambios bruscos de nubosidad. Durante la noche se presentan también oscilaciones de ciclo corto, en que las temperaturas bajan para volver a aumentar al poco tiempo.

La Figura 15 representa las condiciones de temperatura a través del perfil para horas diferentes, el 11 de marzo, en las dos estaciones. El páramo presenta una gran variabilidad a través del perfil para todas las horas; en cambio en el bosque ésta es menor, solamente a las 12 del día se nota una mayor diferenciación en las distintas profundidades; a los 30 cm las temperaturas son similares durante todo el ciclo diario.

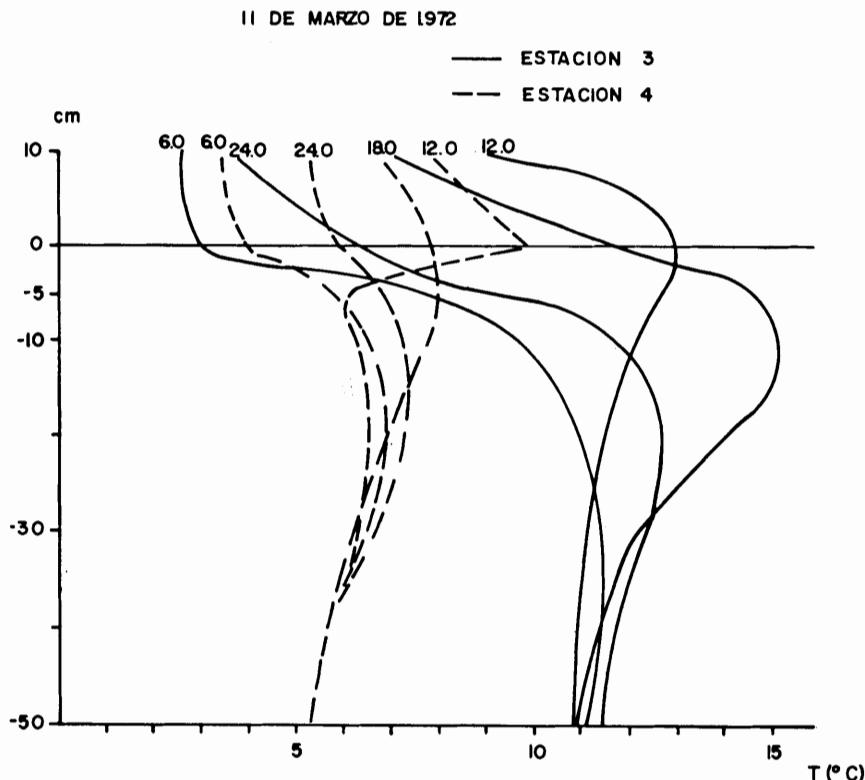


FIGURA 15: Condiciones de temperatura a través del perfil del suelo en diferentes horas, durante la época seca; en el Bosque de *Polylepis* (estación 4) y en el Páramo con *Espeletia* (estación 3).

Para el mes de julio (Figura 16) en las dos estaciones hay menos variación a través del perfil que en el mes de marzo, las temperaturas en superficie son semejantes en horas tempranas y muy diferentes en horas de mayor insulación. Las mínimas se alcanzan entre las 24 y las 6 de la mañana y las máximas en horas del mediodía.

Puede notarse además que en el bosque existe a partir de los 5 cm una tendencia a la constancia térmica en cada nivel. En las Figuras 17, 18, 19 y 20 se hace una comparación de la marcha diaria de la temperatura del suelo en los dos ambientes a todas las profundidades, para el 17 y 18 de marzo. Las conclusiones que se derivan son válidas para todos los días medidos:

a) Para todos los niveles de profundidad en el suelo, en el bosque se presentan temperaturas menores que en el páramo.

- b) A nivel superficial la temperatura es más fría durante las horas del día (entre 7 am y 5 pm) y más caliente en horas de la noche; esto hace que haya una mayor oscilación térmica en el páramo. La mayor diferencia encontrada fue de $13,5^{\circ}\text{C}$ (en el mes de noviembre); en relación a las temperaturas mínimas, en el bosque son levemente mayores, aunque en algunos días fueron semejantes.
- c) A nivel de los 5 cm, el páramo registra un rango de oscilación diaria mayor que el que presenta el bosque, donde excepto en el mes de junio, la oscilación diaria no pasa de los 5°C .
- d) Para los 10 cm de profundidad, el bosque presenta una isoterma diaria alrededor de los 5°C ; la máxima temperatura medida fue de $7,8^{\circ}\text{C}$ y la mínima $5,2^{\circ}\text{C}$, mientras que todavía a esta profundidad el páramo presenta un rango amplio de oscilación diario, que puede ser hasta del $8,5^{\circ}\text{C}$ (enero, marzo).

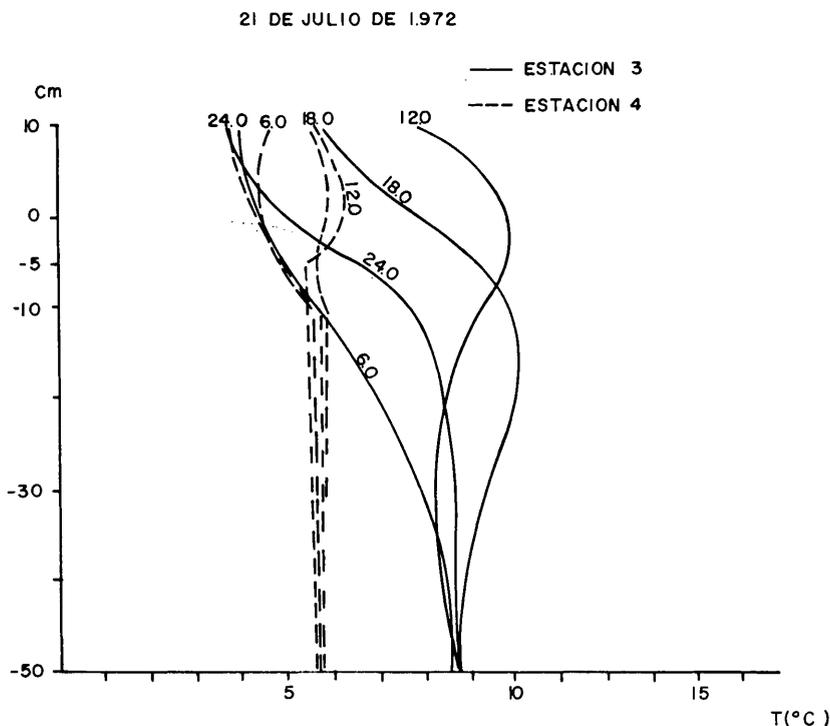


FIGURA 16: Condiciones de temperatura a través del perfil del suelo en diferentes horas, durante la época húmeda; en el Bosque de *Polylepis* (estación 4) y en el Páramo con *Espeletia* (estación 3).

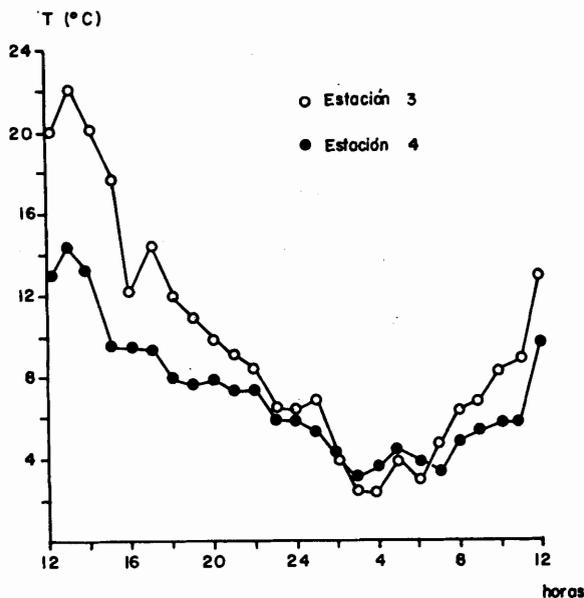


FIGURA 17: Marcha diaria de la temperatura en la superficie del suelo en el Bosque de *Polylepis* (estación 4) y en el Páramo con *Espeletia* (estación 3) entre el 16 y el 17 de marzo de 1972.

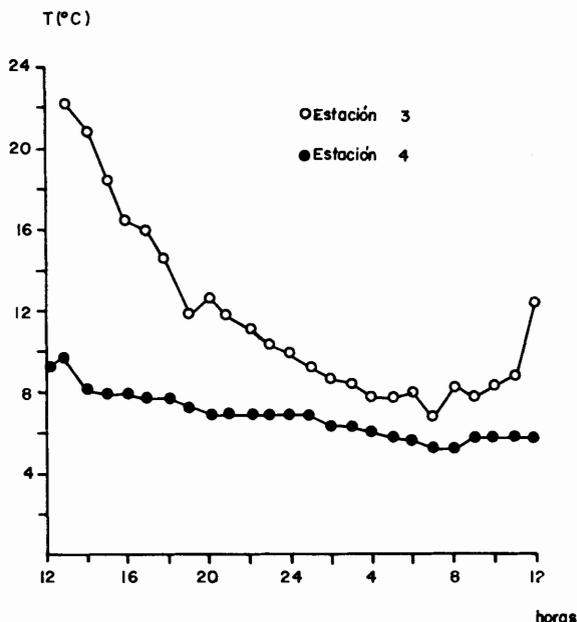


FIGURA 19: Marcha diaria de la temperatura del suelo a 10 cm de profundidad en el Bosque de *Polylepis* (estación 4) y en el Páramo con *Espeletia* (estación 3) entre el 16 y 17 de marzo de 1972.

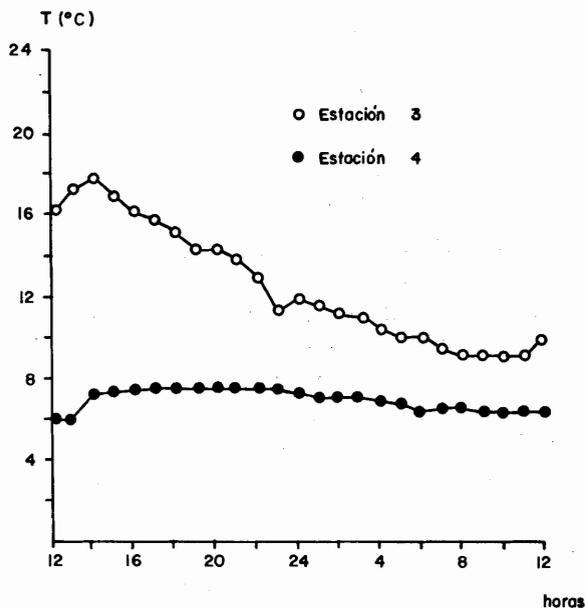


FIGURA 18: Marcha diaria de la temperatura del suelo a 5 cm de profundidad en el Bosque de *Polylepis* (estación 4) y en el Páramo con *Espeletia* (estación 3) entre el 16 y 17 de marzo de 1972.

- e) A partir de los 30 cm, la temperatura se mantiene más o menos constante durante el ciclo diario en las dos estaciones, pero con una media mayor en el páramo.

Finalmente la Figura 21 muestra los valores mensuales, en las dos estaciones, a diferentes niveles del suelo. Puede observarse como el promedio de la temperatura en el bosque, en días diferentes, es distinto aún a los 30 cm de profundidad y cómo además, para todas las profundidades, las temperaturas son menores que en el páramo.

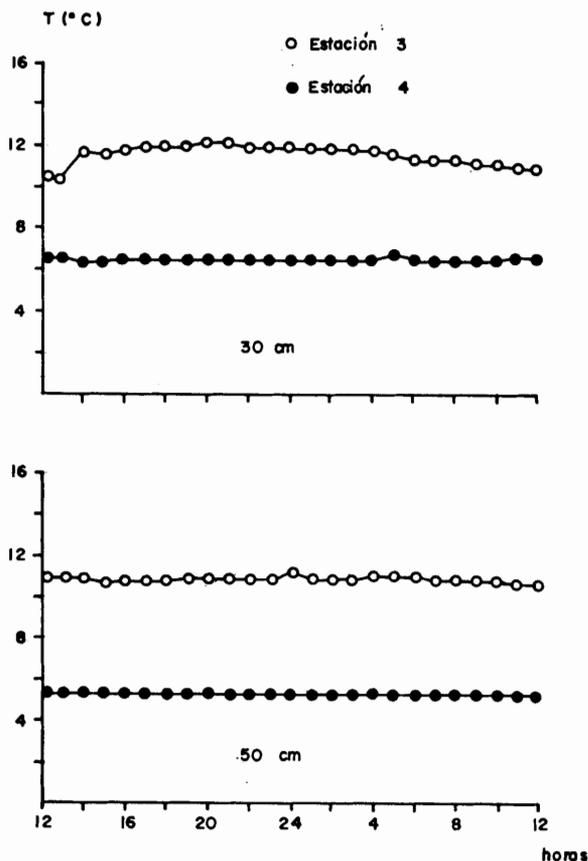


FIGURA 20: Marcha diaria de la temperatura del suelo a 30 cm (gráfica superior) y a 50 cm (gráfica inferior) de profundidad en el Bosque de *Polylepis* (estación 4) y en el Páramo con *Espeletia* (estación 3) entre el 16 y 17 de marzo de 1972.

Evaporación

Las mediciones de evaporación se realizaron en ciclos de 24 horas para un día de cada mes. En la Figura 22 se presentan los resultados obtenidos para las estaciones del páramo y el bosque, a dos alturas: 10 cm y 150 cm.

Los valores más altos de evaporación se obtienen en días claros y despejados; de todos los días medidos es en enero donde se obtuvo el máximo valor, el cual es de 5,8 ml/24h a 150 cm en el páramo y de 4,25 ml/24h a 10 cm; en tanto que en el bosque los respectivos valores fueron 1,9 y 3,4 ml/24h a las alturas de 10 y 150 cm; por lo general la evaporación es dos

veces más alta en el páramo que en el bosque, en esta última estación se presentan incluso días en que la evaporación es nula.

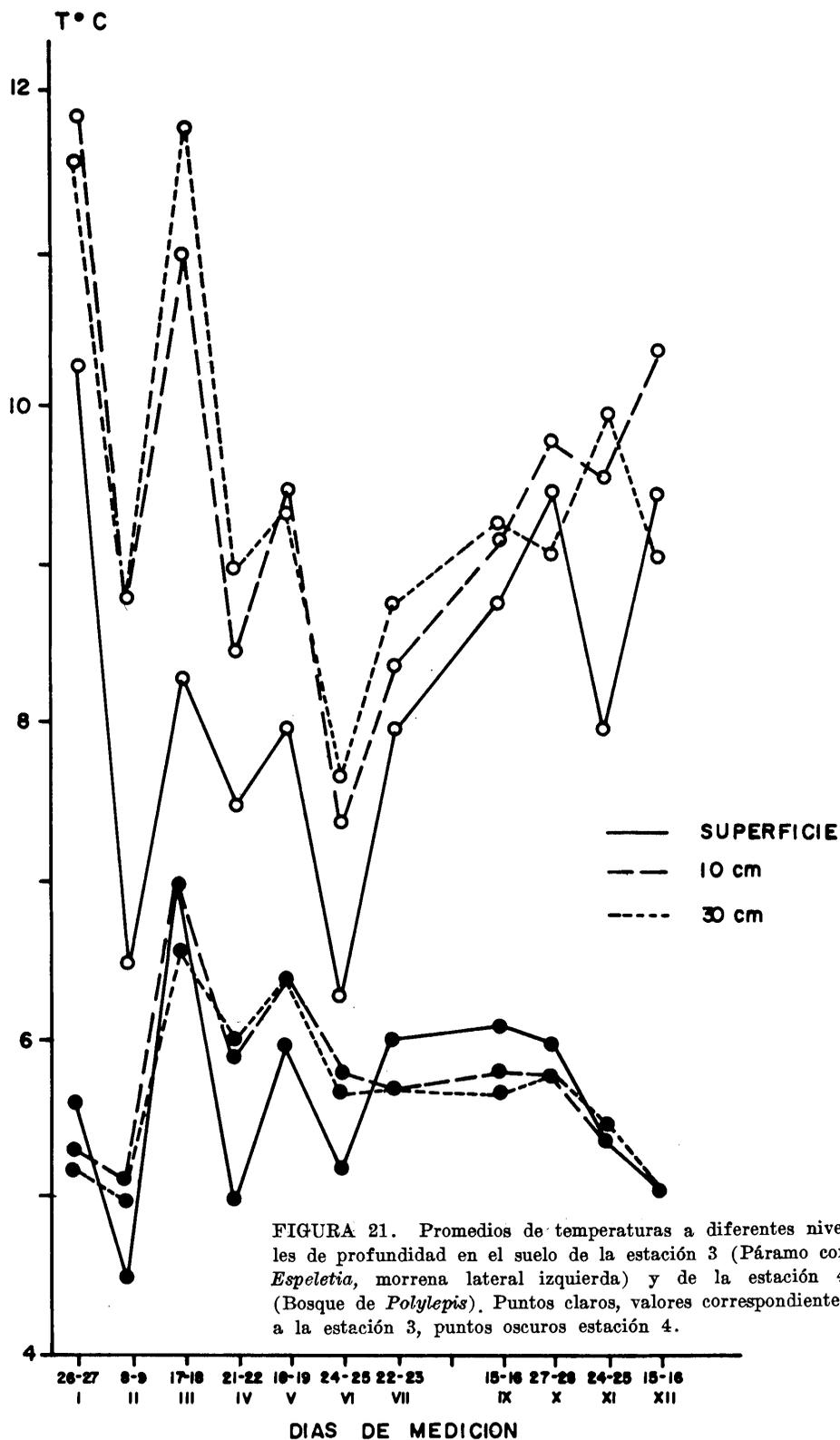
Para los días de alta evaporación los valores se encuentran entre 2,1 y 4,8 l/m². día en el páramo y 1,1 y 2,8 l/m². día en el bosque. Los valores máximos se alcanzan en el páramo alrededor del mediodía y en la época seca; 1,2 cm³/h, 150 cm y 0,7 cm³ a los 10 cm. Si comparamos con los valores máximos de evaporación obtenidos por Vareschi (1960) en la Sabana de Calabozo a 100 cm de altura y con 27°C de temperatura media anual: 3,7 cm³/h vemos que en el páramo es aproximadamente la tercera parte. Prutzer (citado por Tranquilini-1964) da valores máximos de 1 cm³/h para los 2000 m, en las montañas europeas.

El hecho de que el poder evaporativo del aire en el bosque sea menor que en el páramo nos indica que las condiciones microclimáticas del mismo son menos drásticas que las del páramo.

Humedad del Suelo

Para determinar la humedad del suelo se tomaron cada mes muestras a dos profundidades: entre 0-10 cm y 30 cm; la humedad fue determinada por el método gravimétrico. La Figura 23 y la Tabla 9 presentan los valores obtenidos para los diferentes meses.

En el páramo, en la mayoría de los meses excepto abril y enero, la humedad en el suelo disminuye con la profundidad, en el bosque la humedad siempre presenta valores muy por encima del páramo. En los meses de marzo y enero la humedad del suelo cae a su valor mínimo; en el páramo se alcanza el punto de marchitez permanente en enero en superficie y en marzo en profundidad. Considerando que 1972 fue un año con lluvias por encima de lo normal y estación seca poco marcada, podemos suponer que en años menos lluviosos el perfil del suelo puede llegar a estar seco por períodos de dos o tres meses. En 1973, año seco, ya para enero el perfil ha llegado al punto de marchitez



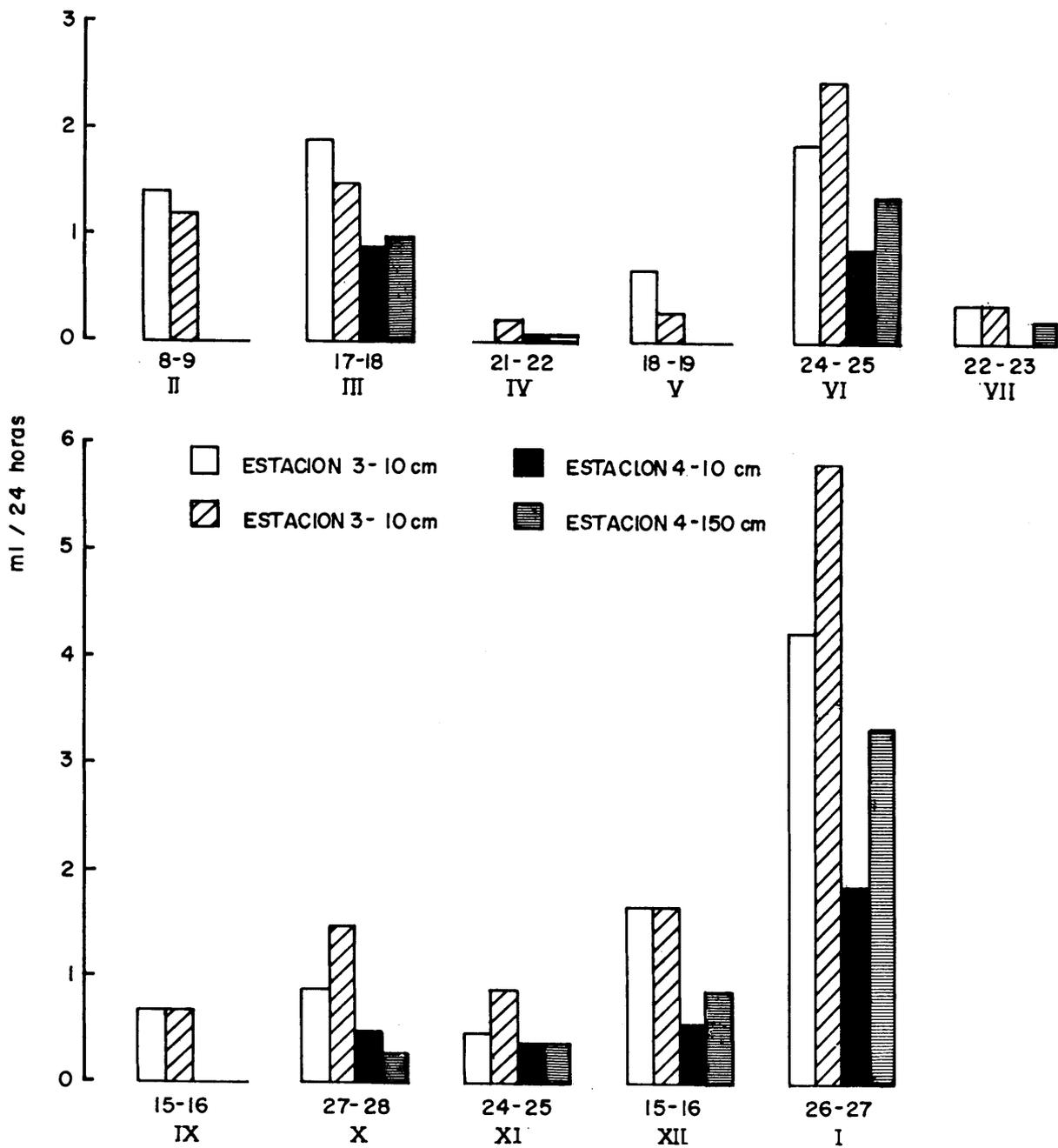


FIGURA 22. Evaporación diaria a 10 y 150 cm medida en las estaciones 3 (Páramo con *Espeletia*) y 4 (Bosque de *Polylepis*).

TABLA 9. VALORES DE HUMEDAD DEL SUELO EN EL PARAMO Y EL BOSQUE

(ESTACIONES 3 y 4)

Estación	Páramo 3			Bosque 4	
	0-10	30	50	0-10	30
Profundidad	0-10	30	50	0-10	30
% 1/3 at.	32.4	29.6	53.8	56.5	48.5
% a 15 at.	19.6	14.3	10.1	38.7	41.5
% H ₂ O disponible	12.8	15.3	43.7	17.8	7.0
% Humedad en los diferentes meses					
Febrero	49 _± 5.3	37 _± 0.6	23 _± 15	118 _± 47	84 _± 18
Marzo	22 _± 0.7	8 _± 0.2	6 _± 0.5	56 _± 2	70 _± 6
Abril	44 _± 2.6	65 _± 1.5	-	132 _± 9	120 _± 6
Mayo	52 _± 5.2	45 _± 2	-	143 _± 8	118 _± 2
Junio	50 _± 1.4	33 _± 5.8	40 _± 2	160 _± 7	99 _± 8
Julio	55 _± 2	33 _± 1.5	32 _± 23	93 _± 4	100 _± 3
Septiembre	58 _± 6	41 _± 4.0	29 _± 08	98 _± 15	72 _± 10
Octubre	57 _± 1.8	46 _± 4.6	31 _± 27	123 _± 19	130 _± 8
Noviembre	58 _± 1.1	31 _± 2.9	31 _± 27	85 _± 8	90 _± 3
Diciembre	43 _± 1.6	20 _± 3.6	18 _± 07	82 _± 2	98 _± 1
Enero	12 _± 4.4	18 _± 4.4	12 _± 28	64 _± 3	70 _± 2

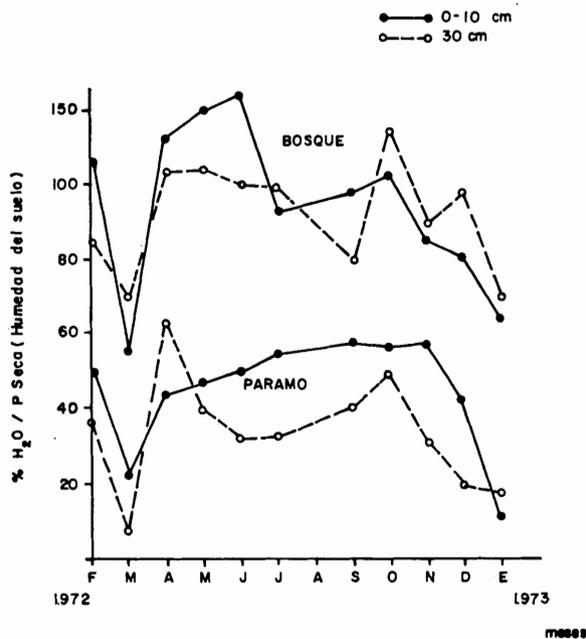


FIGURA 23: Marcha mensual de la humedad del suelo a diferentes niveles de profundidad en la estación 3 (Páramo con *Espeletia*) y en la estación 4 (Bosque de *Polylepis*).

permanente tanto en superficie como a 50 cm. Por otra parte el suelo permanece saturado, con agua por encima del valor a 1/3 atmósfera durante casi todo el resto del año. Es decir el ecoclima del suelo al igual que el clima aéreo presenta dos períodos muy contrastantes, uno de sequía edáfica, de 1 a 3 meses de duración, y otro de saturación, de 9 a 11 meses de duración.

Sabemos que este "stress" alternante constituye un filtro ecológico para especies no adaptadas. En general se considera que pocas especies son capaces de resistir alternadamente los dos impactos hídricos opuestos, pues si bien el efecto fenológico de ambos presenta similitudes, los mecanismos de adaptación parecen ser diferentes.

En el bosque los valores extraordinariamente altos de humedad, indican que el suelo permanece saturado durante todo el año, es decir que acá el problema crítico no sería de déficit sino más bien de exceso de agua. Los suelos permanen-

temente saturados presentan como característica la de ser deficientemente aireados, la falta de oxígeno reduce la capacidad de absorción de agua y nutrientes lo cual podría traer como consecuencia la muerte de los tejidos (Kramer, 1951), en consecuencia las plantas de este ambiente deben presentar características morfológicas que les permitan tolerar estas condiciones. Es así que caracteres xeromórficos tales como pubescencia densa, microfilia, rigidez en las hojas, comunes en las especies de este ambiente, pueden deberse en principio a la dificultad de las plantas en absorber agua debido a la anoxia en que se encuentran. Desde el punto de vista fisiológico, McManmon y Crawford (1970) proponen que las plantas tolerantes a condiciones de inundación se diferencian de las no tolerantes en el hecho de que presentan un incremento en la actividad de la enzima alcohol-dehidrogenasa y acumulación de malato.

CONCLUSIONES SOBRE LA COMPARACION DEL AMBIENTE DEL PARAMO Y EL BOSQUE

Todos los parámetros analizados en las dos estaciones: temperatura del aire y del suelo, humedad del aire y del suelo, evaporación, indican que en el páramo se presentan condiciones más extremas que en el bosque. En la Estación 3, a la cual hemos venido dando el nombre de páramo, la vegetación pertenece al tipo descrito como Rosetal-Arbustal de *Espeletia schultzei*-*Hypericum laricifolium* y en la Estación 4 se encuentra un enclave forestal descrito como "bosque paramero" (Sarmiento y col. 1971) o como bosque de *Polylepis* (Hueck, 1960). Este tipo de bosque crece muy por encima del límite de crecimiento arbóreo (timberline) y para explicar su existencia se han propuesto diferentes hipótesis.

Así Hueck (1960) ha sugerido que estos enclaves forestales son de tipo relictual y que en condiciones climáticas pasadas más frías, toda la extensión del páramo estuvo cubierta por *Polylepis*; Walter y Medina (1969) postulan la existencia de condiciones térmicas en el suelo

más favorables, las que facilitarían la instalación de estos árboles. Guhl (1966) plantea que el bosque de *Polylepis* se desarrolla donde terminan las formas periglaciales y desaparece el suelo pantanoso y las corrientes de agua subterráneas.

En general los enclaves forestales de *Polylepis sericea* se encuentran sobre derrumbes rocosos, entre los 3500 m y 4200 m de altura, sin contacto con los bosques del piso inferior.

Nuestros resultados muestran que el habitat del bosque de *Polylepis* no tiene temperaturas mínimas tan extremas como el páramo, el número de días con heladas es significativamente más bajo, las temperaturas medias y máximas son menores, la evaporación es más baja, lo mismo que las temperaturas del suelo. Todas estas diferencias pueden ser sólo consecuencia de la cubierta vegetal y del amortiguamiento microclimático que ella provoca. No nos ilustran por lo tanto, sobre el habitat preexistente a la instalación del bosque, que haya podido provocar diferencias tan notables en la vegetación. Es asimismo posible que las condiciones de germinación de *Polylepis* y otras especies arbóreas del bosque, sólo se encuentren actualmente bajo cobertura forestal, en el microclima especial que el bosque condiciona.

Según Webster (1961) el factor determinante en el límite altitudinal superior de las plantas con flores es el déficit de humedad y Bliss (1966) sugiere que las bajas temperaturas del aire y del suelo, en combinación con bajos niveles de luz y vientos fuertes, darán como resultado un balance negativo de energía que operaría en contra del establecimiento de árboles. En el caso de *Polylepis* el factor que está limitando su expansión en el páramo a través del control de su germinación, no parecería ser un factor térmico, ya que en el amplio rango altitudinal de esta especie, se encuentran temperaturas más bajas y mayor frecuencia de heladas, aun bajo bosque, que las que se producen en el páramo. Así es de esperar por ejemplo que las condiciones térmicas en el sotobosque a 4200 m sean más extremas que las del páramo a 3600 m.

Tampoco parece probable que sea la luz el factor controlante, pues a pesar de ser el páramo una vegetación relativamente abierta, pueden encontrarse microhabitats tan oscuros como el del sotobosque también abierto del bosque paramero.

La hipótesis que correlaciona la presencia del bosque de *Polylepis* con la ausencia de factores hídricos limitantes, también parece difícil de sostener, pues si bien el bosque tiene un balance hídrico positivo, se encuentra en un rango de precipitaciones entre 700 a 1500 mm. Si fuera el factor hídrico el condicionante del bosque, en los páramos más húmedos éste tendría una mayor extensión, sobrepasando los refugios en donde se encuentra (afloramientos rocosos fisurados y derrumbes). Pero no es éste el caso, ya que se encuentra restringido aún en ambientes de páramo con alta precipitación (Monasterio, 1980).

Sólo trabajos experimentales y análisis detallados de polen podrán clarificar estas hipótesis provisionales de trabajo, ver Salgado Labourel, Capítulo 55.

Las evidencias paleoecológicas (Van der Hammen, 1972) nos indican que durante las oscilaciones térmicas Pleistocenas, páramo y bosque coexisten tanto en fases frías como cálidas. En cambio cuando el clima se hace más seco de tipo puneño, las formaciones herbáceas de Puna desplazan tanto a los elementos de páramo como de bosque de *Polylepis*, las cuales desaparecen del registro fósil.

Bosque y páramo serían dos unidades coexistentes en delicado equilibrio ecológico, cuya representación ha variado a través de los ciclos climáticos glaciales, encontrándose actualmente en una fase de extrema reducción. Si esto es así el bosque sería un ecosistema muy frágil y su explotación conduciría inevitablemente a su desaparición. En el esquema de la Figura 24, se sintetizan las características de los dos ambientes (bosque y páramo).

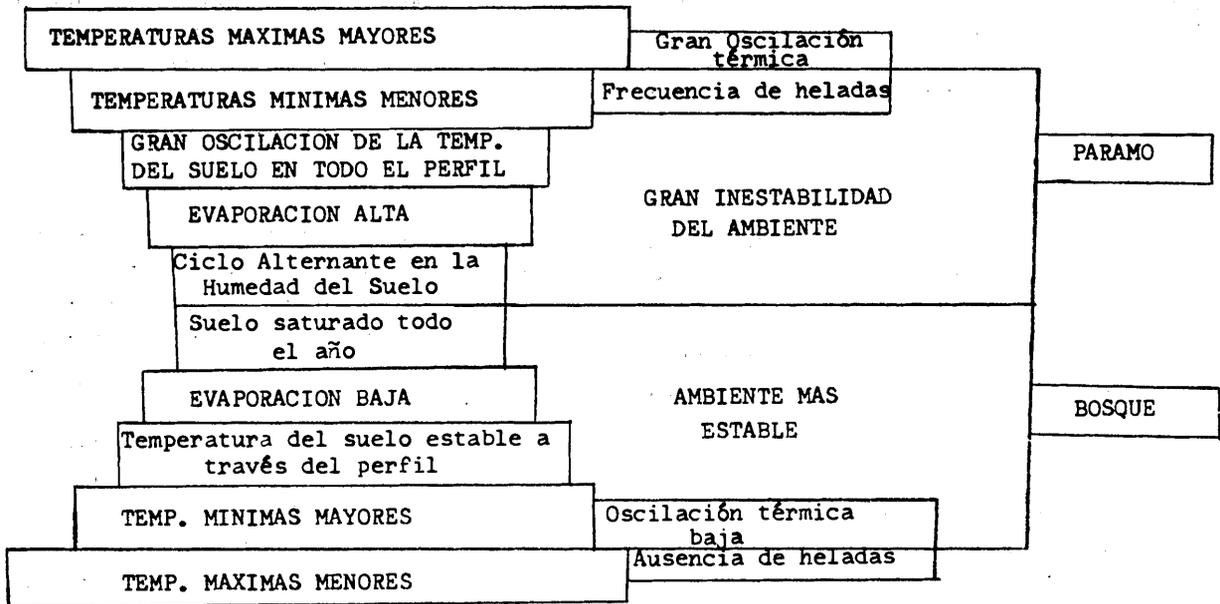


FIGURA 24: Esquema comparativo entre las características ambientales del Páramo y el Bosque de *Polylepis*.

CONCLUSIONES

1. El páramo de Mucubají se caracteriza por un régimen estacional de precipitaciones que provoca la existencia de períodos secos de hasta tres meses de duración en los años de baja pluviosidad. Como la variación interanual de las precipitaciones en el período seco es alta, los años con estaciones secas son frecuentes. Por otra parte las precipitaciones durante el período anual de alta pluviosidad son superiores a la evaporación potencial, lo que provoca un estado general de saturación hídrica de los suelos. De este modo, un año normal presenta alternancia de un largo período de exceso de H_2O y un corto período sin exceso ni déficit, mientras que en un año seco alterna el período de exceso con el período de déficit. Esto es así para la estación de Páramo, el bosque ha condicionado un suelo con mayor capacidad de almacenamiento hídrico donde no llega a manifestarse la sequía edáfica.
2. En el período de baja pluviosidad, menor nubosidad y mayor radiación, se producen oscilaciones térmicas mayores, las temperaturas mínimas son más bajas y la frecuencia de heladas más alta. La estación lluviosa presenta largos períodos sin heladas.
3. Las temperaturas mínimas, la sequía, el exceso de agua y la baja radiación, constituyen una constelación de factores ecológicos que inciden sobre la composición y características de la vegetación natural.
4. Los distintos habitats analizados presentan diferencias sustanciales en temperatura, frecuencia de heladas, radiación y características edáficas.
5. La vertiente de exposición Este presentó el topoclima más cálido, el valle y la pendiente de exposición Oeste los más fríos.
6. El microclima del sotobosque es más constante, con menores oscilaciones térmicas y suelo más frío y más húmedo.

7. Las diferencias notables entre el microclima del páramo y el bosque se suponen pueden ser condicionadas por las diferencias respectivas en cobertura vegetal.
8. Los diferentes topoclimas analizados son en general más extremos que el clima que se obtiene de los registros meteorológicos locales.

RESUMEN

En el presente trabajo se realizó un análisis de 4 ambientes locales en el páramo de Mucubají, en la Sierra de Santo Domingo del Estado Mérida, con el objeto de establecer sus principales diferencias y de señalar el papel que pueden jugar algunos factores climáticos y edáficos en la diferenciación de comunidades vegetales.

Durante un año se tomaron registros continuos de humedad relativa y temperatura del aire a 10 cm y 150 cm en cuatro estaciones a través de una transecta que corta transversalmente el valle del Río Mucubají. Además se realizaron mediciones de temperatura del aire, humedad relativa y evaporación a 10 cm y

150 cm, en ciclos de 24 horas, y de temperatura del suelo a 0,5 cm, 10 cm, 30 cm y 50 cm, humedad del suelo a 0,30 cm y 50 cm en intervalos de 30 a 50 días en dos estaciones con distinto tipo de vegetación: bosque de *Poly-lepis*, y páramo de *Espeletia*.

El análisis de los datos indica que el régimen hídrico presenta caracteres críticos, con períodos de sequía en casi la mitad de los años y un largo período de exceso de agua y saturación de suelo. El régimen térmico presenta temperaturas mínimas que aparecen como un factor esencial en el funcionamiento de estos ecosistemas. De los registros y mediciones se deduce que las distintas comunidades presentes están situadas en diferentes habitats, productos de la interacción de diversos factores, entre ellos quizás los más determinantes son la exposición y la posición topográfica, que originan notables diferencias topoclimáticas.

El análisis del clima en el sotobosque indica que esta vegetación crea condiciones microclimáticas diferentes de las del páramo, lo que a su vez influye sobre las condiciones del suelo y seguramente determina la supervivencia de esta formación vegetal.

BIBLIOGRAFIA

- AZOCAR, A. y MONASTERIO, M. 1980. "Caracterización ecológica del clima en el Páramo de Mucubají". En M. Monasterio (Ed.): *Estudios Ecológicos en los Páramos Andinos*, Ediciones de la Universidad de Los Andes, Mérida, Venezuela.
- BALCHIN, W. and NORMAN PYE, B.A. 1950. Observations on local temperature variation and plant responses. *J. Ecol.* 38 (2): 345-353.
- BLISS, L.C. 1966. Plant productivity in alpine micro-environments on Mt. Washington, New Hampshire. *Ecol. Monogr.* 36 (2): 125-155.
- BURGOS, J.J., E. GONZALEZ y J. SANCHEZ CARRILLO 1965. Estimación de la radiación global en Venezuela. *Agronomía Tropical*, 15 (1-4): 75-100.
- CLAUSEN, J. 1965. Microclimatic and vegetational *Nat. Academy of Sc.* 53 (6): 1315-1319.
- DAUBENMIRE, R.F. 1959. *Plants and environment*. A textbook of plant autoecology. 2d. Ed. New York.
- FARIÑAS, M. y MONASTERIO, M. 1980. "La vegetación del Páramo de Mucubají. Análisis de ordenamiento y su interpretación ecológica", en M. Monasterio (Ed.): *Estudios ecológicos en los Páramos Andinos*, Ediciones de la Universidad de Los Andes, Mérida, Venezuela.
- GEIGER, R. 1965. *The climate near the ground*. Harvard University Press.
- GUHL, E. 1966. Los páramos circundantes de la sabana de Bogotá. Su Ecología y su importancia para el régimen hidrológico de la misma. In Troll, C. (Ed.): *Geo-Ecology of the mountainous regions of the Tropical Americas*. Proceedings of the UNESCO México Symposium: 195-212.

- HAMMEN, T. van der. 1972. Historia de la vegetación y el medio ambiente del norte Sudamericano. Memorias I. Congreso Latinoamericano de Botánica: 119-134. México.
- HEDBERG, O. 1964. Features of Afroalpine Plant Ecology. Acta Phytogeografica Suecica. 49: 1-114.
- HUECK, K. 1960. Los bosques de *Polylepis sericea* en los Andes Venezolanos. Bol. IFLA 6: 1-33.
- KLIKOFF, L.G. 1965. Microenvironmental influence on vegetational pattern near timberline in the Central Sierra Nevada. *Ecol. Monog.* 35: 187-211.
- MCMANMON, M. y R.M. GRAWFORD 1971. A metabolic theory of flooding tolerance: the significance of enzyme distribution and behaviour. *New Phytol.* 70: 299-306.
- MONASTERIO, M. 1970. Ecología de las sabanas de América Tropical. Caracterización ecológica del clima en los Llanos de Calabozo, Venezuela. *Rev. Geo.* 9 (21): 5-38.
- MONASTERIO, M. 1980. "Las formaciones vegetales de los páramos de Venezuela". En M. Monasterio (Ed.): *Estudios Ecológicos en los Páramos Andinos*. Ediciones de la Universidad de Los Andes, Mérida, Venezuela.
- PISEK, A. 1973. Effect of temperature on Metabolic processes. Photosynthesis. In *Temperatura and Life*. H. Precht and col. (eds.).
- SALGADO -LABOURIAU, M.L. 1980. "Paleoecología de los páramos venezolanos". En M. Monasterio (Ed.): *Estudios Ecológicos en los Páramos Andinos*. Ediciones de la Universidad de Los Andes, Mérida, Venezuela.
- SARMIENTO, G., M. MONASTERIO, A. AZOCAR, E. CASTELLANO y J. SILVA. 1971. *Vegetación natural de las Cuencas de los ríos Chama y Capazón*. Ofc. Públic. Geográficas. Inst. de Geog. y Conserv. Recursos Naturales. 84 pág.
- SCHUBERT, C. 1970. Geología glacial del alto río Santo Domingo, Andes Venezolanos. *Bol. Aso. Venez. Geol. Minería y Petróleo*. 13 (9): 233-261.
- TRANQUILINE, W. 1964. The Physiology of plants at high altitudes *Ann. Rev. Pl. Physiol.* 15: 345-362.
- VARESCHI, W. 1960. Efectos del viento en los llanos durante la época de sequía. *Est. Biol. de los Llanos*. Pub. 1: 29-38.
- WÄLTER, H. y E. MEDINA. 1969. La temperatura del suelo como factor determinante para la caracterización de los pisos Subalpino y Alpino en los Andes de Venezuela. *Bol. Soc. Ven. Cienc. Nat.* 115/116: 201-210.
- WEBSTER, G.L. 1961. The altitudinal limits of vascular plants. *Ecology*. 42: 587-590.