

Citar como:

Azócar, A., Monasterio, M. 1980. Caracterización ecológica del clima en el Páramo de Mucubají. En: Monasterio, M. (Ed). Estudios Ecológicos en los Páramos Andinos. Editorial de la Universidad de Los Andes, Mérida, pp. 207-223.

CARACTERIZACION ECOLOGICA DEL CLIMA EN EL PARAMO DE MUCUBAJI

AURA AZOCAR y MAXIMINA MONASTERIO

Facultad de Ciencias
Universidad de Los Andes
Mérida, Venezuela

INTRODUCCION

El clima de la alta montaña tropical correspondiente a las regiones donde aparecen las formaciones de páramo o de bosque altimontano, es decir aproximadamente por encima de los 3.000-3.200 m, es muy poco conocido, debido fundamentalmente al reducido número de estaciones meteorológicas que se localizan en este piso altitudinal, así como a los escasos años de registros disponibles en estas pocas estaciones existentes. Hasta ahora, los autores que han tratado de caracterizar climáticamente estos ambientes han debido basarse ya sea en observaciones esporádicas o en registros por períodos muy cortos.

En vista de que en el Páramo de Mucubají en la Sierra Nevada de Mérida, en los Andes Venezolanos a 3.550 m de altitud, existe desde 1967 una estación meteorológica y por ser esta la zona de páramo donde por distintos motivos decidimos concentrar nuestros estudios, comenzamos realizando este breve análisis de sus características climáticas de mayor interés ecológico. De este modo pretendemos cubrir una escala de análisis intermedia entre la realizada por Monasterio y Reyes (1980) quienes presentaron una visión general de la variabilidad climática en los páramos andinos, y el análisis más puntual que discutimos en otro trabajo de este mismo libro, Azócar y Monasterio (1980) en el que analizaremos la variabilidad determinada por la topo-

grafía y por la vegetación dentro de esta misma localidad del Páramo de Mucubají.

La estación meteorológica de Mucubají se encuentra enclavada en la formación vegetal del páramo andino, rodeada precisamente de la Asociación *Espeletia schultzii-Hypericum Laricifolium* correspondiente al tipo fisonómico rose-tal-arbustal. En este sentido ella es representativa, pues se trata de una de las asociaciones vegetales más extendidas en los páramos venezolanos.

La situación geográfica precisa de Mucubají con respecto a los principales cordones montañosos andinos en Venezuela ya fue analizada en el Capítulo 7, Monasterio (1980) introductorio de esta segunda parte del libro; en tanto que una descripción detallada de la vegetación y del relieve serán presentados en los trabajos de Fariñas y Monasterio (1980), Capítulo 10 y en el de Azócar y Monasterio (1980), Capítulo 9, que continúa el presente estudio.

CONOCIMIENTO DEL CLIMA DE LA
ALTA MONTAÑA TROPICAL

Chávez (1962) define el clima del páramo en la cuenca alta de los ríos Chama, Sto. Domingo y Motatán, que incluye la zona aquí estudiada, como un clima frío y húmedo (ET de Köppen) con dos estaciones bien definidas, la seca y fría que abarca de diciembre a marzo y

la lluviosa y fresca que se extiende entre abril y octubre, siendo noviembre un mes de transición. Sin embargo sabemos que asimilar el clima de la alta montaña tropical al tipo de clima E o climas polares de Koeppen no es conveniente, pues se trata de dos regiones absolutamente incompatibles. Debemos tener claro que el sistema de Koeppen resulta inconducente cuando se lo aplica a las montañas tropicales.

Hedberg (1964) describe el clima "Afroalpino" del piso superior de los montes Kenya y Kilimanjaro como caracterizado por ausencia de variaciones estacionales de temperatura, presentando en cambio variaciones diurnas muy marcadas, y heladas en la mayoría de los días del año. Otros factores característicos de este clima afroalpino serían: la presión atmosférica baja, la rareza de vientos fuertes y una insolación y radiación intensa.

Troll (1966) caracteriza a las montañas tropicales por su variación térmica diaria antes que estacional, ya que las diferencias entre las temperaturas del día y de la noche son mucho mayores que en altas latitudes, donde en cambio, con temperaturas medias anuales similares se presentan amplias oscilaciones a lo largo del año con una diferenciación entre un largo invierno frío y un corto verano caliente. En este ambiente tropical en cambio, uno de los factores ecológicamente más importantes sería la alta frecuencia de heladas durante todo el año, consecuencia del ritmo térmico diario mucho más importante que el anual.

Cuatrecasas (1966) caracteriza a los páramos en los Andes de Colombia como regiones permanentemente frías y húmedas, con uniformidad de condiciones a lo largo del año (Factor Tropical), temperaturas medias entre 0°C y 10°C, mínimas absolutas de -2°C, máximas medias de 9°C y máximas absolutas de 12°C. La pluviosidad es abundante, entre 1000 y 2000 mm anuales, distribuida con relativa uniformidad, con períodos secos muy cortos o inexistentes y con nubosidad alta y constante.

Nieto y Arroyo (1968) en un estudio a mediana escala realizado en el Páramo de Mucubají, califican este clima como de amplitudes

térmicas diarias pequeñas (5° a 7°C, a veces menos), presencia de heladas, variaciones bruscas de la humedad relativa y precipitaciones variadas entre 600 y 1200 mm para áreas diferentes.

Monasterio y Reyes (1980) muestran que en diversos páramos en Venezuela se presenta una gama muy amplia de condiciones en lo que respecta al rango anual de precipitación, temperatura media anual y número de días con heladas.

De todas estas descripciones y características queda claro que hay un acuerdo general entre los diferentes autores en calificar el clima de la alta montaña tropical como un clima diario, en el cual las diferencias entre las temperaturas del día y de la noche son más marcadas que las diferencias anuales; como ha expresado Hedberg (1964) "un clima donde es verano cada día e invierno cada noche". Sin embargo las condiciones climáticas de la alta montaña tropical no son homogéneas existiendo en los Andes altos tropicales diferentes tipos de páramo que difieren tanto desde el punto de vista de la temperatura como de la precipitación las que varían en función de factores tales como altitud, topografía y exposición.

ANÁLISIS DEL CLIMA DEL PARAMO

DE MUCUBAJI

Los factores que consideramos más significativos desde el punto de vista ecológico en el Páramo de Mucubají y que seguidamente analizaremos son:

- 1) El régimen térmico: la marcha diaria, mensual y anual de la temperatura; las oscilaciones térmicas diarias y anuales, el régimen de heladas.
- 2) El régimen hídrico: precipitación, humedad relativa, evaporación.
- 3) La marcha anual de la insolación.

REGIMEN TERMICO

Como hemos dicho anteriormente el clima de la localidad se caracteriza por presentar desde el punto de vista térmico un régimen diario. La temperatura media anual oscila alrededor de 5°C - 6°C ; para un período de registros de solamente nueve años (1967-1975) la media fue de $5^{\circ},4^{\circ}\text{C}$. En la Figura 1 se presenta la marcha anual de la temperatura media mensual y la de las máximas y mínimas medias, así como también los valores extremos alcanzados para

cada mes en el período de registros (1967-1975). En relación a la marcha anual de la temperatura, la media varía solamente en $1,2^{\circ}\text{C}$ ($5,9^{\circ}\text{C}$ para junio, el mes más caliente, y $4,7^{\circ}\text{C}$ para diciembre que resulta ser el mes más frío), representando este valor un rango de oscilación térmica anual extremadamente bajo.

De enero a marzo, se presentan las máximas medias más altas, y de noviembre a abril las mínimas más bajas. Las máximas absolutas son más irregulares mientras que las mínimas abso-

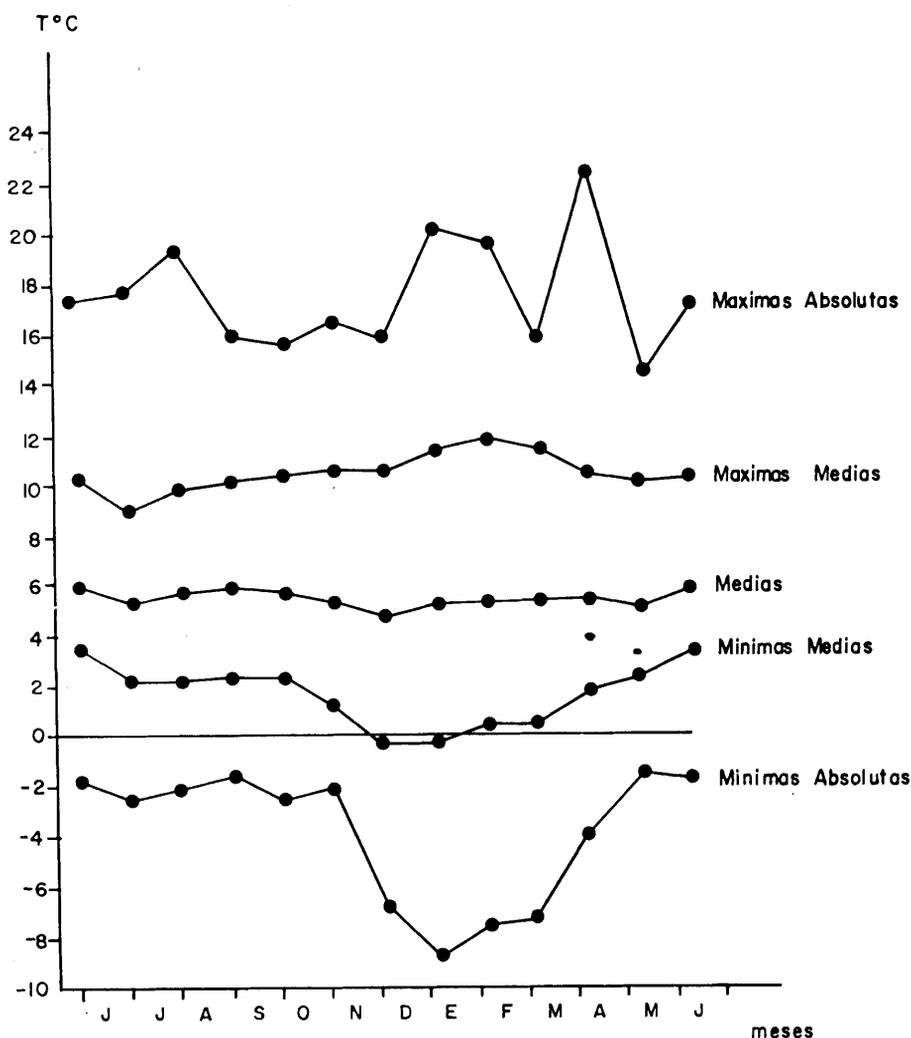


FIGURA 1: Marcha anual de la temperatura en el Páramo de Mucubaji en base a un promedio de nueve años (1967-1975). Graficado de junio a mayo.

lutas extremas se presentan de diciembre a marzo. Para los 9 años con datos, la máxima absoluta fue de $22,2^{\circ}\text{C}$ registrada en el mes de marzo y la mínima absoluta de $-8,6^{\circ}\text{C}$ en el mes de enero.

Las temperaturas mínimas más bajas ocurren entre diciembre y marzo, aunque en cualquiera de los meses del año puede haber días con temperaturas por debajo de 0°C que originan heladas.

Las temperaturas máximas medias no varían mucho entre los diferentes meses del año, $2,7^{\circ}\text{C}$ es la diferencia entre la máxima media más alta y la más baja. Entre los meses de mayo y septiembre ocurren las máximas medias más bajas y las mínimas medias más altas, correspondiendo este período a la época de mayor pluviosidad.

El hecho de que en la época seca ocurran las mínimas más bajas y las máximas más altas hacen de este período el de mayores oscilaciones térmicas diarias, (diferencia entre la temperatura máxima y la mínima registrada en un ciclo de 24 horas). El gráfico de la Figura 2 representa las oscilaciones térmicas medias mensuales a través del año, además de las amplitudes máximas mensuales. La amplitud media mensual se representa como el promedio de las oscilaciones diarias, varía entre los 6°C durante el mes de junio y los $11,4^{\circ}\text{C}$ en los meses de diciembre y febrero. En la estación lluviosa las diferencias diarias no se alejan mucho de la media de temperatura ($3,2^{\circ}\text{C}$) pero en el período seco las diferencias entre la temperatura media mensual y la oscilación media diaria llegan a ser hasta de $6,4^{\circ}\text{C}$, significando que las diferencias diarias son alrededor de cinco veces mayores que las diferencias mensuales.

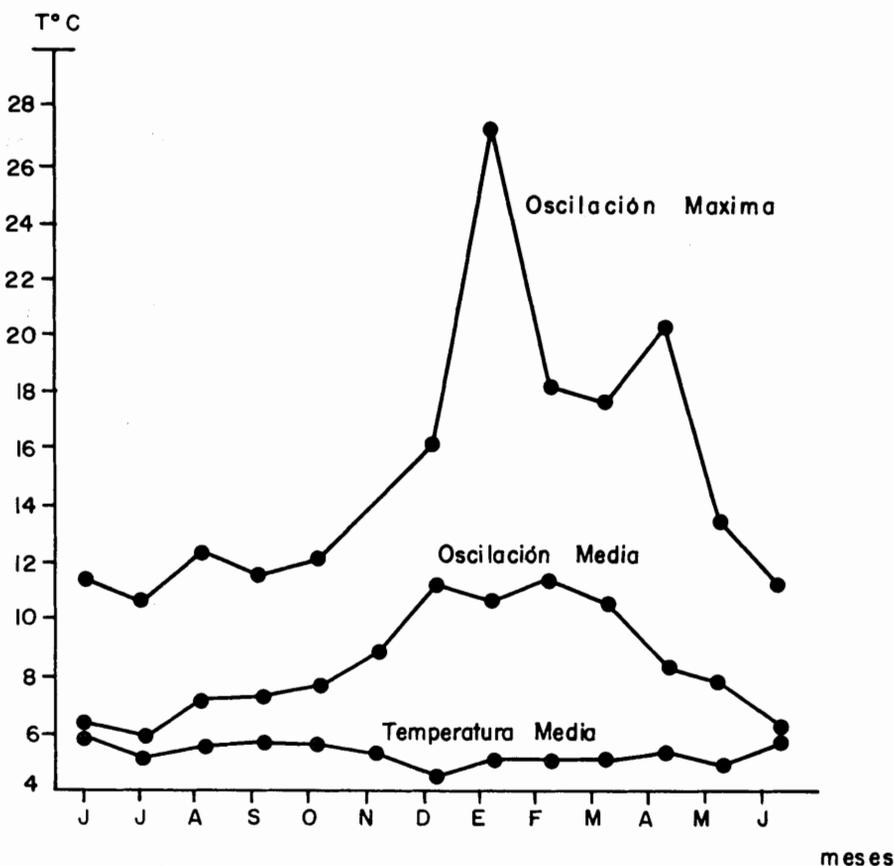


FIGURA 2: Ritmo de las oscilaciones térmicas en el Páramo de Mucubají para nueve años de registros (1967-1975).

La máxima oscilación entre temperaturas diarias extremas para un período de 9 años fue de 28,2°C, en el mes de enero, que por otra parte es el mes con temperaturas mínimas más bajas. La concurrencia de estos dos factores climáticos debe constituir un factor ecológico de fundamental importancia en este ambiente, puesto que cuando más bajas son las temperaturas, mayor es el efecto que se produce con la variación de la misma. Para un clima tropical estacional de baja altitud, Monasterio (1970) señala medias mensuales de las oscilaciones térmicas diarias que varían entre 10,6°C y 14,3°C durante el año. Comparándolas con las oscilaciones medias que se muestran en el gráfico de la Figura 2, tenemos aquí oscilaciones menores (entre 6°C y 11,4°C); sin embargo, en este ambiente más frío el efecto de esas oscilaciones debe ser de mayor impacto ecológico.

Las mayores oscilaciones ocurren durante los meses de menores precipitaciones mientras que las amplitudes mínimas se presentan entre mayo y septiembre, que como ya hemos visto es el período de mayor precipitación. Las mayores amplitudes durante la época seca se deben a la intensa radiación que llega al suelo y a la alta reirradiación nocturna durante los períodos de cielo despejado.

En la noche el calor es irradiado rápidamente y la temperatura desciende abruptamente, el enfriamiento es más rápido en el suelo y las plantas que en la atmósfera, y el agua se congela sobre las superficies sólidas produciendo escarcha. En la gráfica de la Figura 3 se muestra el ritmo de heladas en la zona, puede apreciarse que el mayor número de días con heladas se concentra entre diciembre y marzo, en cambio para los años de registro, el único mes completamente libre de ellas es septiembre. Puede observarse que el mes que presenta el mayor número de días con heladas es enero, pero en relación a este factor existe una gran variabilidad ya que pueden presentarse años con muchos días con heladas y otros con un número menor; el mes de enero presenta por ejemplo años con 28 días con temperaturas por debajo de cero y otros años con solamente 12 días. Para los años de los que se dispone

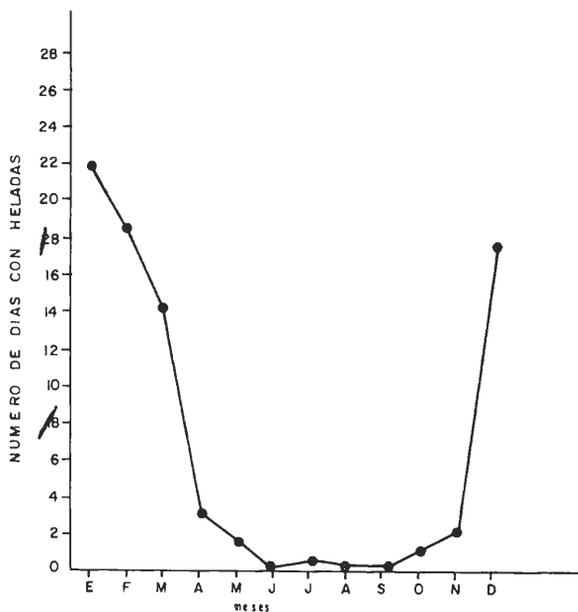


FIGURA 3: Ritmo anual de heladas en el Páramo de Mucubají (1967-1975).

de datos el que presenta el mayor número de días con heladas es 1968 con 96 días y el valor menor lo presenta el año 1972 con 56 días, el promedio es de 81 días.

En relación al régimen térmico podemos adelantar las siguientes conclusiones:

- La temperatura presenta un ritmo diario bien definido mucho mayor que el anual. Las amplitudes térmicas diarias mayores ocurren en los meses secos y las menores en los meses lluviosos, esto determina la existencia de un termoperiodismo anual.
- Las heladas son un fenómeno frecuente durante los meses secos, cuando más de la mitad de los días tienen heladas, siendo en cambio ocasionales en los meses húmedos. Este fenómeno de las heladas podría representar el factor limitante para el desarrollo de ciertas especies en el área e incluso períodos prolongados de días con heladas pueden influir en la supervivencia de los individuos.
- Los factores más desfavorables para el crecimiento y para el desarrollo vegetal serían: temperaturas medias bajas todo el año; heladas y temperaturas mínimas bajas, con-

centradas en una época del año. Esto determina que en relación al factor térmico exista una época netamente más desfavorable y limitante para el crecimiento vegetal; la estación seca de diciembre a marzo.

Las bajas temperaturas mínimas y medias que se registran influyen directamente en varios aspectos del funcionamiento de las especies. Las temperaturas mínimas bajo cero por períodos prolongados son letales para las especies no resistentes al stress criotérmico.

Por otra parte según Pisek (1973), la temperatura mínima para fotosíntesis neta en plantas alpinas está entre -2°C y -5°C . En el ambiente que nos ocupa la temperatura media durante las horas del día es muy superior a este valor, pero el rango de temperaturas óptimas para fotosíntesis debe ser bajo en plantas alpinas lo que introduce un filtro para especies no adaptadas.

REGIMEN HIDRICO

Entre los factores que determinan el régimen de humedad ambiental consideraremos: la precipitación, la humedad relativa y la evaporación.

Precipitación

El promedio anual de precipitaciones para 10 años (67-76) en Mucubají es de 968.8 mm. El patrón de repartición anual evidencia dos estaciones contrastantes netas, una relativamente seca que se extiende de diciembre a marzo en la cual el mes más húmedo presenta precipitaciones menores de 30 mm, y una estación húmeda de abril a octubre en la cual el mes más seco (octubre) tiene 95 mm de lluvia. noviembre es transicional, con una media de 50 mm, puede superar los 100 mm en años lluviosos y tener menos de 200 mm en los secos. El análisis de la marcha anual de las precipitaciones, evidencia la variabilidad interanual que puede mostrar este factor (Tabla 1). En

TABLA 1. Totales mensuales y anuales de precipitación (mm), en Mucubají (3.550 m).

MES AÑO	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	TOTAL ANUAL
1967	6.2	1.4	4.1	117.9	64.3	186.4	229.2	148.8	149.1	99.7	17.6	35.6	1060.3
68	7.2	15.6	15.8	120.0	148.3	219.6	222.7	108.2	114.7	87.0	20.6	3.1	1082.8
69	8.8	19.7	9.3	193.4	90.0	99.6	93.7	202.4		182.9	103.6	14.7	1018.1
70	35.7	23.5	12.7	39.6	91.3	177.3	148.0	217.0	159.9	79.8	35.2	48.9	1068.9
71	40.7	26.5	28.6	66.9	114.6	114.2	99.6	153.8	93.9	44.7	54.7	27.1	865.3
72	56.4	18.4	45.3	238.0	105.7	148.9	160.6	110.2	83.7	101.9	37.6	7.1	1113.8
73	6.5	1.5	29.4	53.9	73.7	111.6	134.4	124.6	129.0	106.6	99.0	11.2	881.4
74	18.1	15.9	32.5	77.7	122.2	71.2	97.8	75.1	103.0	81.0	46.6	5	741.6
75	1.7	14.0	32.6	41.0	136.8	133.1	93.6	98.5	101.6	95.4	37.1	61.7	847.1
76	9.1	13.3	53.3	88.3	67.5	266.1	214.1	98.8	70.6	70.3	53.6	0	1009.0
\bar{x}	19.0	15.0	26.4	103.7	101.4	152.8	149.4	126.1	111.7	94.9	50.6	21.4	968.8

los meses de la época húmeda el tiempo máximo que pasa sin llover es de cinco días, en cambio en la época seca varía en gran medida el número de días que puede haber sin precipitación, el máximo período de días consecutivos que ha transcurrido sin llover fue de 70 días (sin considerar las lluvias inferiores 1 mm/día). Los meses más críticos en el sentido de que la precipitación puede llegar a ser nula serían enero, febrero y marzo. Sin embargo esto también es bastante variable; así, si comparamos los primeros meses del año 72 con los del 73, veremos que para el 72 caen en este período 120,1 mm y en cambio para el 73 caen solamente 39 mm, es decir el 33% de la precipitación del año anterior, con períodos de hasta 30 días sin lluvias. Para el año 67 el menos lluvioso durante estos 3 meses, el total correspondiente fue de 11,7 mm, mientras que en el año 72, el otro extremo, cayeron en los 3 primeros meses 120 mm. Es de hacer notar que el año 1974 el más seco de los años medidos (741,6 mm), presenta sin embargo una precipitación parcial mayor para los tres primeros meses del año (66,5 mm).

De los valores de la tabla 1 se deduce que durante los cuatro meses que forman la época de bajas precipitaciones caen entre el 5.7% (1968) y el 14% (1972) del total de precipitaciones anuales, algo más del 8% en promedio de los 10 años de registros. La variación interanual no es tan grande como en los ambientes de vegetación similar de la alta montaña Africana donde puede existir una precipitación errática de 50 mm en un año y 1250 mm en el siguiente (Hedberg 1964). Para registros de 10 años en Mucubají la precipitación varía entre 741,6 y 111,8 mm, lo que representa una oscilación máxima de solamente 372,2 mm; variando fundamentalmente la magnitud de la precipitación en la época seca. En efecto el Coeficiente de Variación para el valor anual es 12%, mientras que el C.V. para la precipitación de los cuatro meses del período más seco es de 43%, cifra muy elevada que indica que el período crítico de sequía puede ser muy intenso por lo menos cada 2 años, y que por lo tanto los valores medios en este caso no son muy confiables para interpretaciones ecológicas. Para otros páramos

venezolanos, Monasterio y Reyes (1980), señalan una oscilación interanual de 550 mm en el páramo de Cendé a 3000 m y 600 mm en el páramo de Mucuchíes a 3900 metros.

Según Gaussen (1954) debe considerarse como mes seco aquel en el cual $T < 2$ pp, o sea en esta área cuando la precipitación es menor de 10 mm (ya que la temperatura media es menor de 10°C). Por lo tanto en la localidad, de acuerdo con el climadiagrama de la figura 4, no existiría ningún mes seco; sin embargo tomando los valores año a año, se encuentra que algunos meses de la época seca presentan valores por debajo de 10 mm, y esto nos indica que aunque tomando los promedios de varios años no existe ningún mes seco, desde el punto de vista ecológico puede haber problema de sequía quizás en un año de cada dos. Si consideramos el climadiagrama año por año, veríamos que en 10 años un año presentó 3 meses secos, 4 años 2 meses secos, 3 años un mes seco y solamente en 2 años no hubo ningún mes seco.

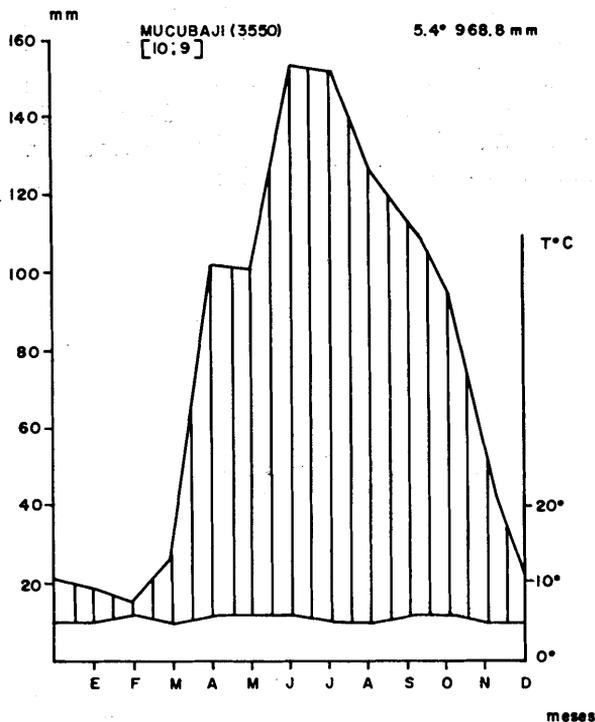


FIGURA 4: Climadiagrama del Páramo de Mucubají, promedios de diez años de registros para la precipitación y nueve años para la temperatura.

Finalmente debemos señalar que en Mucubají la precipitación en forma de nieve puede ocurrir de manera muy esporádica, como la registrada el día 10 de julio de 1973. Las nevadas sólo son frecuentes en esta zona por encima de los 4100 m de altitud. Su frecuencia y distribución a lo largo del año han sido analizadas por Monasterio y Reyes (1980).

Humedad relativa

En la Figura 5 puede observarse la marcha anual de la humedad relativa media, máxima y mínima para un período de dos años (1972-1973). Se puede observar que la humedad relativa media mensual alcanza su valor más bajo en el mes de febrero (63%), durante los otros meses en cambio, no baja del 70%, siendo el máximo de 88% en el mes de julio. La humedad mínima más baja (37%) también se registra en el mes de febrero y la mínima más alta en julio.

En la Tabla 2 se distribuyen en clases para los diferentes meses los valores promedios de humedad relativa para 1973. La mayoría de los días del año presentan promedios de humedad relativa altos, el 93% de los días tienen valores por encima del 50%. Sin embargo en los meses secos pueden presentarse días con valores medios tan bajos como 29%, pero como se deduce de la tabla estos días son excepcionalmente raros, ya que en todo el año existen solamente 9 días con

una humedad relativa menor del 50% todos ellos en la época seca; en los meses húmedos los valores son siempre mayores del 60%.

La humedad relativa presenta un ritmo diario muy regular particularmente en los días soleados de la estación seca pero también en la estación lluviosa, excepto como es natural en los días con lluvia. La Tabla 3 muestra los valores horarios promedios para los diferentes meses de 1972, evidenciándose claramente la existencia de este ritmo diario. En las primeras horas del día cuando las temperaturas son más bajas la humedad relativa es alta, luego ésta disminuye gradualmente y entre las 10 horas y las 14 horas alcanza los valores mínimos. En los meses de la época lluviosa se mantiene un valor muy alto durante todo el día, es por lo tanto en los meses secos donde se evidencia más claramente la existencia de un ciclo diario, obteniéndose el valor mínimo en las horas de mayor radiación y temperatura. Sin embargo los valores bajos que se alcanzan, alrededor de un 10% en las horas más críticas, se corresponden con temperaturas de alrededor de 20°C, lo cual implica un déficit de presión de vapor de 15,78 mm Hg, es decir un valor bastante alto. Valores altos de déficit de presión de vapor indican que el gradiente entre la atmósfera y la superficie foliar es alto y por lo tanto la tasa de transpiración será mayor.

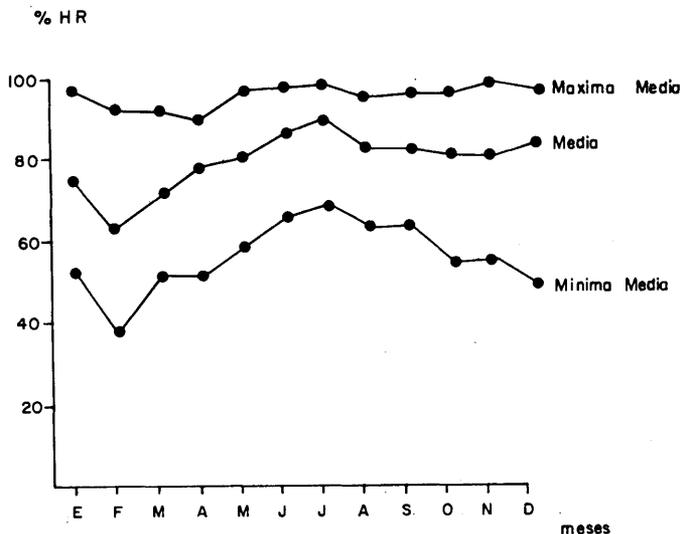


FIGURA 5: Marcha anual de la humedad relativa en el Páramo de Mucubají (1972-1973).

T A B L A 2. VALORES PROMEDIOS DE HUMEDAD RELATIVA EN 1973

% HUMEDAD RELATIVA	N U M E R O D E D I A S												TOTAL	
	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D		
0 - 10	-	0	0	0	0	-	-	0	0	0	0	0	0	0
11 - 20	-	0	0	0	0	-	-	0	0	0	0	0	0	0
21 - 30	-	0	0	0	0	-	-	0	0	0	0	0	1	1
31 - 40	-	2	0	0	0	-	-	0	0	0	0	0	2	4
41 - 50	-	3	0	0	0	-	-	0	0	0	0	0	1	4
51 - 60	-	4	0	1	0	-	0	0	0	0	0	0	5	10
61 - 70	-	6	8	2	2	-	1	3	1	4	5	1	33	
71 - 80	-	8	7	10	4	-	2	5	6	8	11	6	67	
81 - 90	-	6	16	17	18	-	15	20	15	16	10	11	144	
91 - 100	-	0	0	0	7	-	13	3	8	3	4	4	42	

T A B L A 3. VALORES HORARIOS PROMEDIO DE HUMEDAD RELATIVA PARA EL

AÑO 1972

HORA	MES	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
1	-	70	83	83	86	-	89	83	84	86	84	78	
2	-	68	78	82	86	-	90	84	85	85	82	77	
3	-	66	77	80	86	-	88	83	85	85	81	78	
4	-	65	78	80	85	-	89	81	85	83	79	75	
5	-	63	78	80	84	-	88	82	85	82	78	74	
6	-	61	76	76	84	-	-	83	86	83	80	71	
7	-	61	75	79	84	-	-	84	88	84	80	70	
8	-	60	75	79	84	-	-	80	85	79	72	64	
9	-	54	74	74	86	-	88	80	84	72	62	67	
10	-	53	70	73	84	-	87	79	83	70	66	54	
11	-	52	67	73	84	-	87	80	82	71	67	55	
12	-	55	66	72	84	-	86	78	82	72	67	59	
13	-	57	69	72	85	-	85	82	82	76	72	64	
14	-	63	71	74	84	-	87	82	82	79	76	69	
15	-	64	75	77	85	-	89	82	84	77	79	76	
16	-	69	75	79	86	-	91	85	84	82	83	80	
17	-	75	79	81	88	-	91	86	89	81	88	85	
18	-	78	85	81	89	-	92	88	91	86	91	90	
19	-	85	86	85	89	-	91	85	92	89	92	91	
20	-	84	87	83	89	-	91	82	92	89	92	89	
21	-	83	87	83	87	-	90	83	88	89	89	86	
22	-	78	82	82	86	-	89	84	88	90	88	85	
23	-	73	86	82	88	-	88	84	86	87	86	80	
24	-	70	89	82	87	-	88	81	86	87	83	75	

Evaporación

Si analizamos ahora los valores de evaporación tabulados en la Tabla 4 para el período 1970-76, vemos que la media anual para este lapso alcanzó los 763.3 mm, cifra bastante inferior a la media anual de precipitaciones. Sin

embargo, aún para este corto período de registros, la variabilidad anual de la evaporación resulta alta, con extremos de 579 y 1022 mm, de modo que en un año relativamente seco como 1973 con 881.4 mm de lluvias, la evaporación llega a superar este valor en más de 11 mm.

TABLA N° 4. Totales mensuales y anuales de evaporación

ENER.	FEB.	MAR.	ABR.	MAY.	JUN.	JUL.	AGOS.	SET.	OCT.	NOV.	DIC.	TOTAL
94.0	130.3	120.0	96.2	84.7	53.5	47.7	45.8	51.5	58.5	82.3	59.0	923.5
82.1	64.0	91.5	87.7	54.7	53.6	53.1	60.1	45.6	43.6	50.5	55.9	742.4
63.1	104.7	74.0	40.0	47.0	54.3	42.9	45.8	55.9	44.6	55.7	66.8	694.8
56.9	129.8	125.0	136.9	108.9	65.3	76.6	58.7	55.3	80.8	62.3	65.8	1022.3
67.9	60.4	70.2	48.2	48.5	46.1	47.8	88.4	54.4	53.7	51.0	57.5	694.1
59.2	53.4	52.1	58.8	52.6	51.7	51.3	48.8	50.0	52.9	46.6	66.0	643.4
55.1	48.9	54.8	51.1	52.7	27.6	36.2	41.4	47.6	52.3	48.8	62.4	578.9
68.3	84.5	83.9	74.1	64.2	50.3	50.8	55.6	51.5	55.2	57.9	67.0	763.3

Comparando la evaporación y la precipitación mensual durante los 4 meses de la estación seca (Figura 6), podemos ver que durante este período las precipitaciones resultan muy inferiores a la evaporación mensual e incluso en el mes de noviembre, de carácter transicional, ambos valores prácticamente se igualan. Es decir que por un período de 4 a 5 meses la evaporación y por consiguiente la transpiración que está estrechamente asociada con ella, alcanzarán valores altos, introduciendo un déficit para las plantas apenas deje de haber agua disponible en el suelo.

En síntesis, como características principales del régimen de humedad en esta localidad tendríamos las siguientes:

- a) El régimen pluviométrico presenta un patrón biestacional muy pronunciado, en el cual las precipitaciones descienden bruscamente por un período de 4 meses (diciembre a marzo). Según la clasificación de Emburger (1954) esto correspondería a un clima de régimen tropical neto.

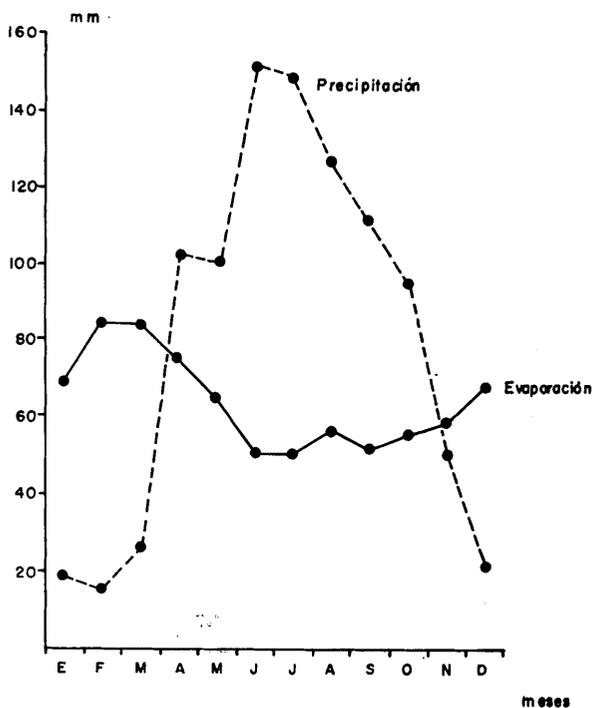


FIGURA 6: Marcha de la precipitación y de la evaporación en el Páramo de Mucubají. Datos de precipitación (1967-1976) y de evaporación ((1970-1976).

- b) Durante el período más seco las precipitaciones pueden descender en cualquiera de estos 4 meses hasta valores menores de 5 mm por mes.
- c) La estación climáticamente seca nunca sobrepasa los 5 meses de duración. La estación ecológicamente seca, considerando el criterio de Gaussen, varía según los años entre 0 y 3 meses, pero puede ser más prolongada si tenemos en cuenta el balance hídrico (ver síntesis climática).
- d) La estación seca puede considerarse como el período crítico en este ambiente, ya que acoplada a la menor humedad se presentan las temperaturas más bajas y las oscilaciones térmicas más altas. Ello hace que en este período se presenten los factores ecológicos capaces de seleccionar las poblaciones vegetales que pueden sobrevivir en este tipo de medio.

INSOLACION

Se dispone de medidas de insolación para los años 70 a 76 las que aparecen en la Tabla 5. La media anual para este período fue de 1637.7 horas. En la Tabla 5 puede verse como la insolación tiene un ciclo anual entre un mínimo en junio y un máximo en febrero. De diciembre a marzo se alcanzan valores promedio mensuales por encima de las 150 horas. El máximo anual en el mes de febrero es de 203.7 y el mínimo en junio 83.3 horas, lo que representa en promedio una insolación del 66% del máximo posible en el mes más despejado y de algo menos del 20% en el más nublado. Esto nos sugiere que durante la época más lluviosa, en junio y julio, la luz también puede llegar a constituir un factor desfavorable para el crecimiento vegetal, ya que tanto la alta nubosidad como las neblinas diarias deben limitar la capacidad de asimilación fotosintética de muchas especies. La medida de la radiación que presentamos en el siguiente trabajo Capítulo 9, Azúcar y Monasterio (1980) nos confirmará esta hipótesis.

TABLA 3. Insolación total (horas y décimas), en Mucubají (3.550 m).

AÑO	MES												TOTAL ANUAL
	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	
1970	210.1	231.6	209.6	113.9	143.4	71.5	88.9	77.1	99.8	127.5	178.8	128.6	1680.8
71	164.3	146.1	161.4	144.2	94.1	119.0	88.9	137.9	134.5	101.5	140.2	174.8	1606.9
72	112.3	217.7	117.1	83.5	67.9	83.5	73.0	100.7	89.3	147.6	163.8	170.3	1426.7
73	265.6	260.9	208.9	193.3	174.9	69.9	96.1	112.3	98.9	164.1	78.7	196.6	1920.1
74	194.9	195.7	173.4	99.3	72.7	141.6	93.4	132.9	88.4	127.4	120.0	268.9	1708.6
75	226.5	192.7	159.0	154.7	99.4	78.8	111.8	88.6	99.5	106.3	113.4	131.8	1567.5
76	230.3	181.4	174.7	82.0	63.3	19.0	48.8	124.7	96.5	128.1	192.4	212.6	1553.8
\bar{x}	200.5	203.7	172.0	124.4	102.2	83.3	85.8	110.6	100.9	128.9	141.7	163.3	1637.7

LONGITUD DEL DIA

En zonas tropicales este factor se ha considerado de menor importancia ecológica debido a que las variaciones a lo largo del año son muy pequeñas, sin embargo Monasterio (1970) sugiere que aún una diferencia en longitud del día del orden de una hora puede desencadenar una respuesta fotoperiódica en ciertas especies. Wulff citado por Medina (1973) encuentra que *Hyptis suaveolens*, una planta de los llanos altos centrales de Venezuela responde

a la variación del fotoperíodo entre 11 h (inductor) y 12 h (inhibidor), de manera que el fotoperíodo puede ser un elemento importante. La Figura 7 tomada de Burgos (1965), representa la variación anual de la longitud del día para Mérida localidad que se encuentra a la misma latitud que Mucubají.

La variación anual en la longitud del día es de 1 h presentándose los días más cortos en diciembre (11 h 63') y los más largos en junio (12 h 63').

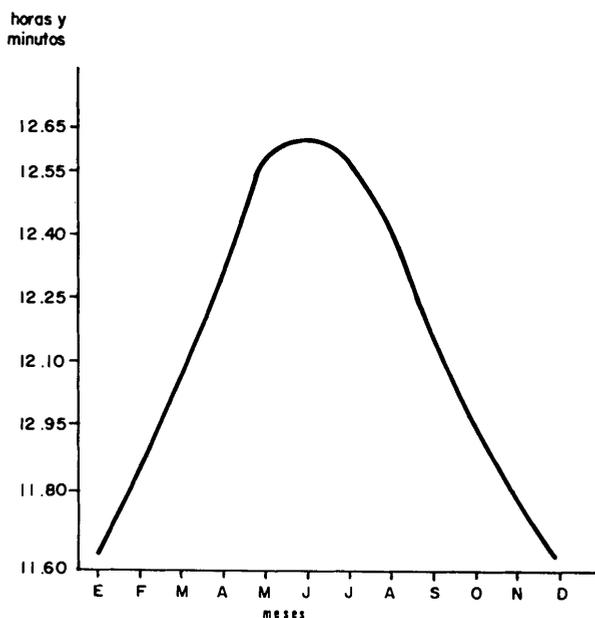


FIGURA 7: Variación anual de la longitud del día en Mérida (Tomado de Burgos 1965).

VIENTOS

Finalmente analizaremos el factor viento, el cual ha sido considerado por diversos autores (Vareschi, 1970; Smith, 1972) como un factor ecológicamente importante en este tipo de ambiente de alta montaña. En la Tabla 6 se muestran los valores promedios de la velocidad del viento para un período de tres años, y en la Tabla 7 pueden verse los ciclos diarios típicos a través de los valores horarios promedio para los meses de marzo y julio, representativos de la época seca y húmeda.

Como se puede apreciar en las tablas los valores de velocidad del viento son bajos, espe-

cialmente si tenemos en cuenta que estas medidas son a 10 metros sobre el nivel del suelo donde el viento corre libremente sin obstáculos; seguramente a la altura que alcanza la vegetación del páramo (1-2 m máximo) la velocidad del viento será mucho menor y por lo tanto, si existe algún efecto de este factor, sería a través de la sensibilidad que presentan las plantas al enfriamiento por viento (Warren Wilson, 1959). En los ciclos diarios típicos para un mes seco y otro húmedo (marzo y julio) puede apreciarse que en marzo la velocidad media obtiene valores menores que en julio (época húmeda). La dirección predominante a través de todo el año es NNE.

SINTESIS CLIMATICA

Con el objeto de clasificar climáticamente la región analizada utilizaremos algunos sistemas que tienen por objetivo primordial expresar sintéticamente el clima de una localidad.

Aplicando la fórmula climática de Koeppen (1948) como punto de referencia comparativo con las salvedades que hicimos anteriormente la región analizada pertenece a la región *EB* o clima polar de altura, caracterizado por la ausencia de árboles y por poseer medias mensuales mayores de 0°C pero menores de 10°C y en el cual la diferencia entre el mes más frío y el más caliente puede ser hasta de 5°C, de manera que presenta una isotermia anual. La caracterización climática de Koeppen encuadra dentro de las características térmicas de la localidad, pero falla sin embargo desde el punto de vista de la vegetación natural ya que como analizaremos más adelante, en esta zona se presentan también bosques: la formación de bosque altandino de *Polylepis sericea*.

Según el sistema de Emberger (1954) la región presenta un clima tropical de alta montaña cuyas características generales serían las de ser isotérmico, con duración igual de los días y las noches y con una estación seca.

Si utilizamos el análisis de balance hídrico de Thornthwaite (1948), encontramos lo siguiente (Figura 8). En primer lugar la evapotranspiración potencial anual calculada para Mucubají es de 539.8 mm, lo que representa un 70% del valor de la evaporación media, en tanque A. Cualquiera de estos dos valores, bien sea el de evapotranspiración potencial o el de evaporación, es menor que el promedio de precipitaciones (alrededor de 1000 mm anuales). Si consideramos que la capacidad de retención de agua en el suelo calculada a partir de los datos de agua útil en las morrenas (Azócar y Monasterio, 1980) es de unos 150 mm, el diagrama muestra que un período seco en el senti-

do de que no hay agua en el suelo disponible para las plantas que alcanzan una profundidad de al menos 50 cm no existe, ya que durante la época en la cual las precipitaciones disminuyen al mínimo, la vegetación dispone del agua almacenada en el suelo. Por lo tanto desde el punto de vista ecológico no existirían problemas hídricos para dichas especies en este ambiente. Esto es así aún considerando los datos de los años más secos.

Sin embargo, las especies de radicación más superficial, como una buena parte de las plantas herbáceas de las diferentes asociaciones de páramo, que sólo disponen del agua útil de los 20-30 primeros cm, pasarán por un período seco de 1 a 2 meses en febrero-marzo.

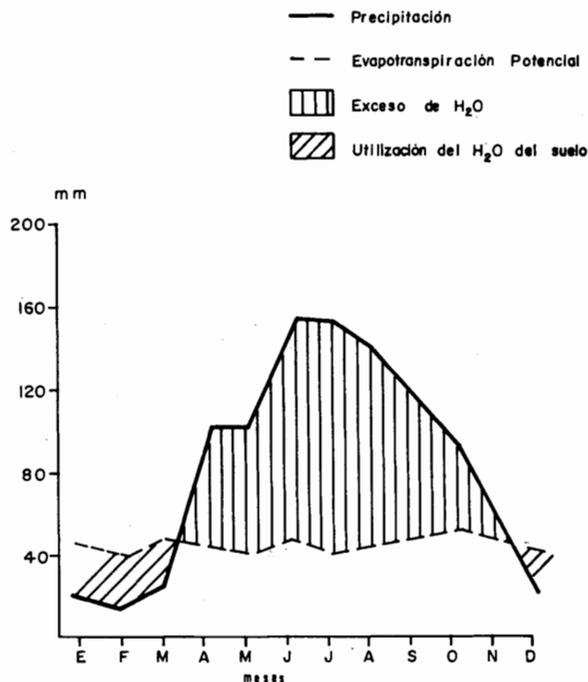


FIGURA 8: Diagrama de balance hídrico según Thornthwaite para el Páramo de Mucubají. Se tomaron 150 mm como capacidad de retención de agua del suelo.

RESUMEN

El páramo de Mucubají se caracteriza en base a registros de 10 años por presentar una isoterminia anual de alrededor de 5°C con una oscilación anual de 1,2°C. Las temperaturas mínimas medias son de 1,5°C y las mínimas absolutas descienden hasta 8,2°C. La temperatura máxima media es de 10,3°C y las máximas absolutas alcanzan 22,2°C. La precipitación está distribuida en dos períodos, uno de pocas lluvias de cuatro meses de duración y uno lluvioso de ocho meses; la media es de 968.8 mm anuales, siendo la máxima precipitación registrada de 1.114 mm y la mínima de 742 mm, es decir una variabilidad interanual relativamente baja (coeficiente de variación CV = 12%). Sin embargo la variabilidad interanual de las precipitaciones durante los 4 meses más secos es de 43%.

Las oscilaciones térmicas diarias presentan un ritmo acoplado a las estaciones hídricas, en el período húmedo la oscilación media está entre 6°C y 8° C, en cambio en la estación seca la oscilación promedio está entre 8°C y 11°C; en términos absolutos la mayor oscilación registrada ha sido de 27,2°C. La insolación prolongada y la radiación más intensa determina que en la estación seca se alcancen valores de humedad relativa tan bajos como 20%, aunque la norma general es la de que los valores de humedad relativa estén por encima del 60%. La velocidad del viento siempre registra valores bajos. El número medio de días con heladas resultó de 81 días, concentrados en la época más seca, pero con solo un mes (septiembre) totalmente libre de heladas.

Como quiera que el período de registros analizados es relativamente corto, debemos esperar años más secos y más fríos que los extremos correspondientes a estos 10 años.

BIBLIOGRAFIA

- AZOCAR, A. y MONASTERIO, M. 1980. "Estudio de la variabilidad meso y microclimática en el Páramo Mucubají". En M. Monasterio (Ed.): *Estudios Ecológicos en los Páramos Andinos*. Ediciones de la Universidad de Los Andes, Mérida, Venezuela.
- BURGOS, J.J., GONZALEZ, E., SANCHEZ CARRILLO, J. 1965. "Estimación de la radiación global en Venezuela", *Agronomía Tropical* 15: 75-100.
- CHAVES, L.F. 1962. "Clima de las cuencas altas de los ríos Motatán, Chama y Santo Domingo". MAC. Dirección de Recursos Naturales Renovables. Caracas.
- CUATRECASAS, J. 1966. "Páramo vegetation and its life forms". In Troll, C. (Ed.): *Geo-Ecology of the mountainous regions of the tropical Americas*. Proceeding of the UNESCO México Symposium: 163-186.
- EMBERGER, L. 1954. "Projet d'une classification biogéographique des climats". Coloque sur les regions écologiques du globe: 249-255. CNRS, Paris.
- 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.
- GAUSSEN, H. 1954. "Expression des milieux par des formules écologiques. Leur représentation cartographique". Coloque sur les regions écologiques du globe: 257-269, CNRS, Paris.
- HEDBERG, O. 1964. "Features of Afroalpine Plant Ecology". *Acta Phytogeografica Suecica*, 49: 1-114.
- KOEPPEN, W. 1948. "*Climatología*". Fondo de Cultura Económica. México.
- MEDINA, E. 1973. "Ecofisiología Vegetal: Aspectos Teóricos". *Bol. Soc. Venez. Cienc. Nat.* 124-125: 91-114.
- MONASTERIO, M. 1970. "Ecología de las sabanas de América Tropical II. Caracterización ecológica del clima en los Llanos de Calabozo, Venezuela". *Rev. Geog.* 9: 5-38.

- MONASTERIO, M. 1980. "El Páramo de Mucubají dentro del cuadro general de los Páramos Venezolanos". En M. Monasterio (Ed.) *Estudios Ecológicos en los Páramos Andinos* Ediciones de la Universidad de Los Andes Mérida, Venezuela.
- MONASTERIO, M. y REYES, S. 1980. "Diversidad climática y variación de la vegetación en los Páramos de Los Andes Venezolanos". En M. Monasterio (Ed.): *Estudios Ecológicos en los Páramos Andinos*. Ediciones de la Universidad de Los Andes, Mérida, Venezuela.
- NIETO, J.A. y ARROYO, J. 1968. "Introducción al estudio del clima del páramo en las cuencas altas del Chama, Motatán y Santo Domingo". Facultad de Ciencias Forestales, ULA, Mérida.
- PISEK, A. 1973. "Effect of temperature on Metabolic processes. Photosynthesis". En H. Precht and col. (Eds.): *Temperature and Life*.
- SMITH, A.P. 1972. "Notes on wind-related growth patterns of Páramo plants in Venezuela". *Biotrópica* 4: 10-16.
- THORNTHWAITE, C.W. 1948. "An approach toward a rational classification of climate" *Geo. Rev.* 38: 155-194.
- TROLL, C. 1966. "The cordilleras of the tropical Americas. Aspects of climatic, phytogeographical and agrarian ecology". En C. Troll (Ed.): *Geo-Ecology of the mountainous regions of the tropical Americas*. Proceedings of the UNESCO México Symposium: 15-56.
- VARESCHI, W. 1970. "*Flora de los Páramos*". Universidad de Los Andes, Mérida.
- WARREN W., J. 1957. "Observations on the temperatures of Artic plants and their environment". *J. Ecol.* 45: 499-531.