

MAXIMINA MONASTERIO

ECOLOGIA DE LAS SABANAS DE AMERICA
TROPICAL II - CARACTERIZACION ECOLOGICA
DEL CLIMA EN LOS LLANOS DE CALABOZO,
VENEZUELA

SEPARATA DE LA "REVISTA GEOGRAFICA" DEL INSTITUTO DE GEOGRAFIA
DE LA UNIVERSIDAD DE LOS ANDES / N° 21 - Vol. IX - AÑO 1970.

ECOLOGIA DE LAS SABANAS DE AMERICA TROPICAL II CARACTERIZACION ECOLOGICA DEL CLIMA EN LOS LLANOS DE CALABOZO, VENEZUELA

Por: MAXIMINA MONASTERIO
Facultad de Ciencias
Universidad de Los Andes
Mérida-Venezuela.

1. *Introducción*

Los Llanos de Calabozo forman una unidad bioambiental bien característica situada en el centro geográfico de los Llanos de Venezuela. Ellos constituyen precisamente, dentro de la gran región natural de Los Llanos, una de las zonas mejor conocidas desde el punto de vista ecológico. La causa especial del interés por la región es la presencia de la Estación Biológica de Los Llanos, a 8 Km. de la ciudad de Calabozo, en la cual se han producido más de 40 contribuciones en un período de 8 años (*Boletín de la Sociedad Venezolana de Ciencias Naturales, Contribuciones de la Estación Biológica de Los Llanos N° 1-41, 1960-1968.*

Sin embargo, el clima de esta región no ha sido objeto hasta ahora de un estudio detallado en el cual se consideren tanto sus elementos principales como aquellos factores de mayor significación ecológica. El presente trabajo, entonces, trata de llenar esta laguna; en él se analiza el clima de la región de Calabozo y se pone el mayor énfasis en aquellos elementos climáticos que revisten especial significación para la vegetación natural. Este enfoque resulta el de mayor utilidad para interpretar, no sólo las características fisonómicas y morfoecológicas de la vegetación natural, sino también sus ritmos y su periodicidad. Por lo tanto, nuestra principal preocupación será el estudio del clima como un componente fundamental del ambiente de la vegetación. Debido a este enfoque, así restringido, analizaremos no solamente las medias de los elementos climáticos, sino también sus extremos y especialmente los ritmos temporales, con el objeto de establecer las posibles correspondencias entre los mismos y las diversas manifestaciones funcionales de las especies vegetales.

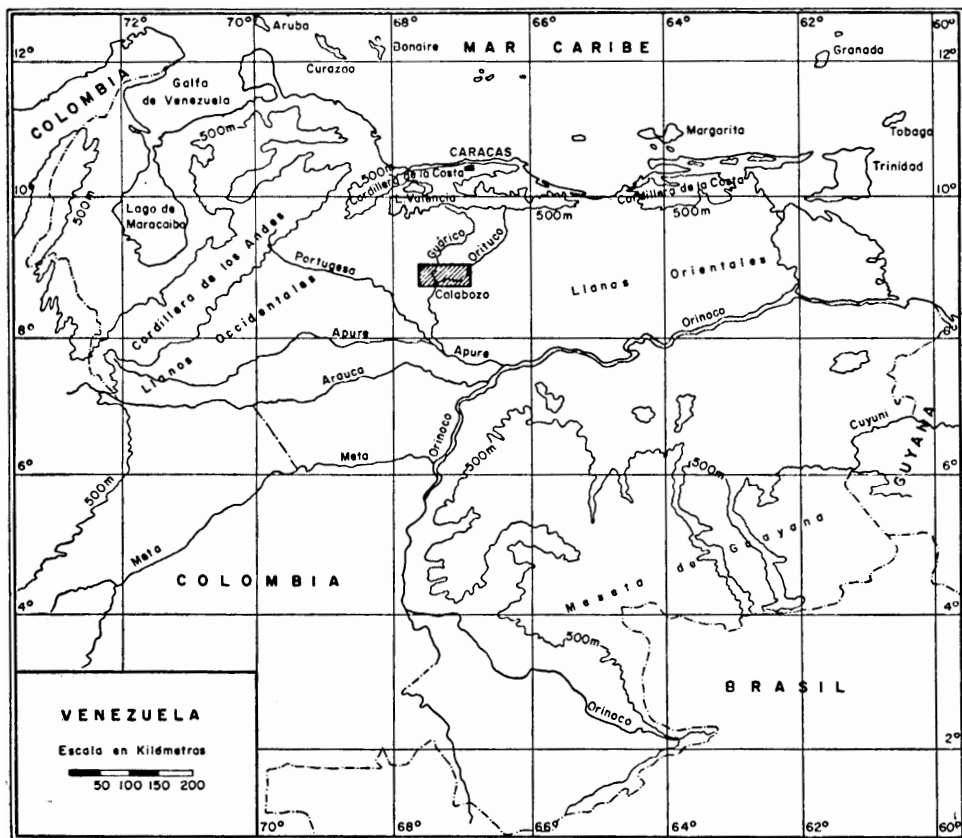


FIGURA 1. — Mapa de Venezuela mostrando la localización del área estudiada. La cota de 500 m. es el límite aproximado entre los macizos montañosos (Cordillera de los Andes, Cordillera de la Costa, Meseta de Guayana) y las llanuras. La región de los Llanos ocupa las planicies situadas al N y al O del río Orinoco.

Como fuente básica de datos para el estudio climático hemos recurrido al registro meteorológico de Calabozo que, como excepción dentro de toda la zona llanera, cuenta con un período de registros pluviométricos relativamente largo (35 años). Además, para complementar el análisis de ciertos parámetros, se utilizaron los datos de 8 localidades situadas todas dentro de un radio de 50 km de Calabozo, en las mismas condiciones altitudinales y topográficas, pero de las que sólo se tienen registros de períodos cortos (1-4 años). Esta escasez de datos constituye, sin duda, una importante limitación en el trabajo y por este motivo deben considerarse los resultados como sujetos a un cierto margen de error.

Los caracteres generales del ambiente y de la vegetación de los Llanos de Calabozo han sido examinados en distintos trabajos, en especial los de Blydenstein (1962); Monasterio y Sarmiento (1968) y Sarmiento y Monasterio (1969); por lo que sólo daremos aquí una breve síntesis de esta información para que sirva como marco de referencia para el análisis climático.

Calabozo está situada a 8° 56' N y 67° 25' W, en el occidente del Estado Guárico (ver figura 1). La ciudad se halla localizada sobre una planicie o mesa laterítica, a 100 m de altura sobre el nivel del mar, y sobre elevada unos 15 m sobre las terrazas actuales del río Guárico. Esta mesa forma parte de una vasta extensión de altillanuras plio-pleistocenas que se extienden fundamentalmente hacia el oriente y constituyen uno de los elementos más típicos del paisaje de los Llanos Orientales en los Estados de Anzoátegui y Monagas. Sus sedimentos superficiales arenosos, pertenecientes a la Formación Mesa, presentan un proceso actual de ferruginización sobre una antigua pedogénesis laterítica, de la que queda como testigo la presencia generalizada de corazas ferruginosas. Los suelos presentan un fuerte contraste textural entre sus diferentes horizontes y se caracterizan por su baja capacidad de retención de agua y deficiente contenido en nutrientes.

Dos tipos fisonómicos principales constituyen la vegetación de esta área, sabana y bosque, siendo la sabana la formación más extendida; el bosque se presenta localizado, restringido a determinados ambientes, ya sea en los valles actuales sobre aluviones cuaternarios finos y profundos, ya sea en las mesas, formando un mosaico con la sabana. En este caso el bosque se localiza en pequeños enclaves en situaciones topográficas especiales que presentan una economía de agua privilegiada, ocupando una superficie reducida en el conjunto de la vegetación.

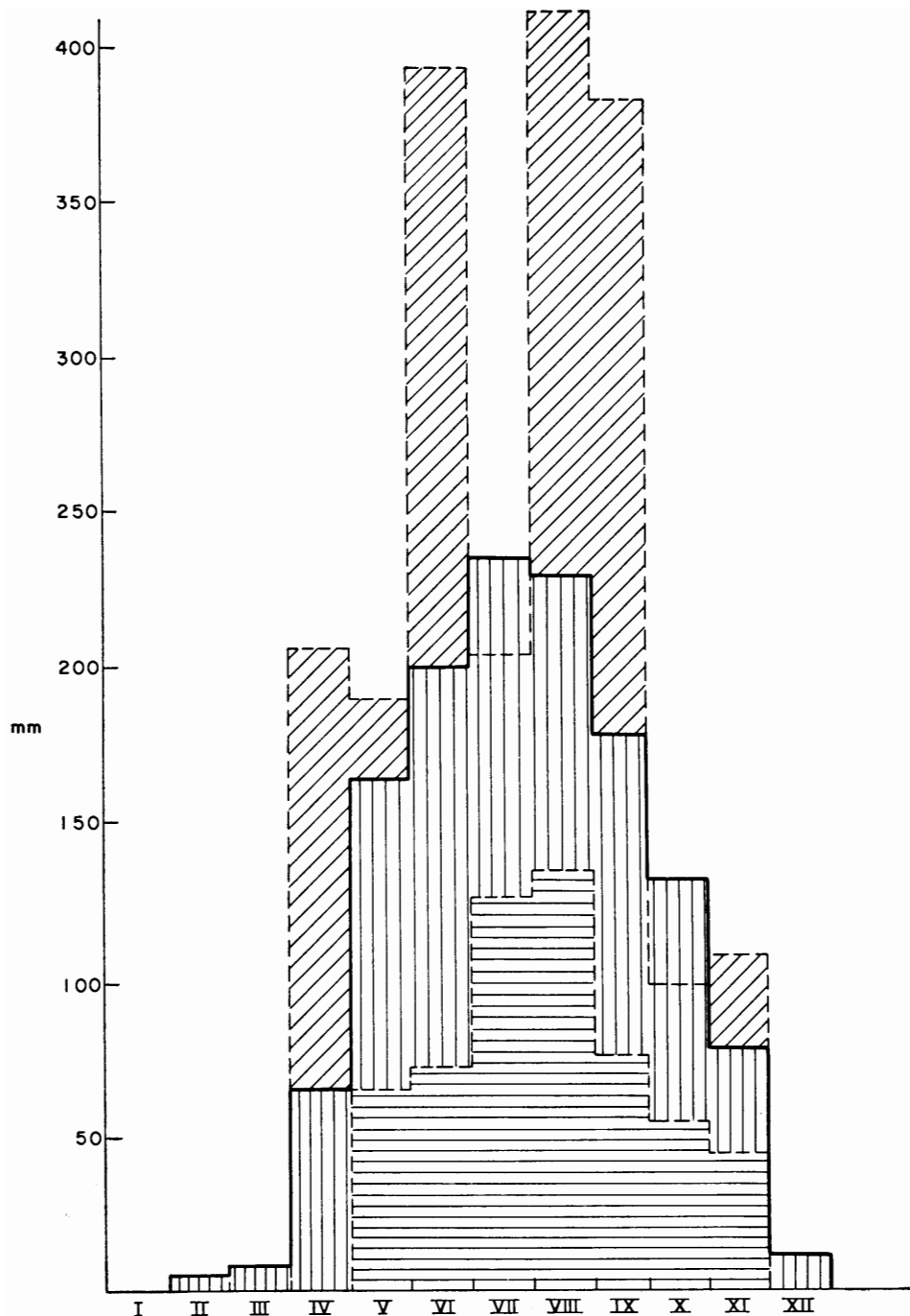


FIGURA 2. - Régimen mensual de lluvias en Calabozo. Rayado vertical medias de 35 años. Rayado oblicuo valor máximo de precipitación (1927), rayado horizontal valor mínimo en el año más seco (1959).

En esta zona la sabana es una sabana seca, o sea que no está sobre suelos hidromorfos o periódicamente inundados, presentándose un gradiente de tipos fisonómicos de acuerdo a la densidad creciente de los elementos leñosos, que va desde la sabana pastizal, ausencia de elementos leñosos, hasta la sabana cerrada, donde los árboles constituyen un estrato importante.

El tipo de sabana más generalizada en el área presenta 3 estratos: uno de árboles bajos y 2 herbáceos. El estrato de leñosas está dominado por 3 especies de árboles perennifolios: *Curatella americana*, *Bowdichia virgiloides* y *Byrsonima crassifolia*, cuya altura oscila entre 3 y 10 m. El estrato herbáceo alto, del orden de 1 m de altura, está dominado en cobertura por gramíneas del género *Trachypogon* (*T. montufari*, *T. plumosus*, *T. vestitus*), encontrándose *Axonopus canescens* como codominante. El estrato herbáceo bajo (5 a 25 cm), está dominado por *Aristida capillariae*, *Eragrostis maypurensis*, *Andropogon brevifolius*, *Pectis ciliaris*, *Pectis carthusianorum* y otras. A lo largo del año los estratos herbáceos están sujetos a cambios drásticos en su funcionalidad, lo cual se evidencia fisonómicamente por las variaciones en su aspecto, de seco y de color amarillo durante la época de sequía, a verde y en activo crecimiento durante la época húmeda. Por lo tanto el ritmo en los estratos herbáceos de la sabana está sujeto a una alternancia periódica muy contrastada, en contraposición con el estrato arbóreo que permanece siempre verde.

Los enclaves de bosque que se presentan dentro de la sabana corresponden a una formación de bosque, de 12 a 18 m de altura, semicaducifolio, ya que se encuentran tanto árboles perennifolios: *Copaifera officinalis*, *Vochysia venezuelana*, *Xylopia aromática* y *Cassia moschata*, como especies caducifolias: *Pterocarpus podocarpus*, *Spondias mombin* y *Luchea candida* entre otras. Estas zonas reducidas de bosques se encuentran, como ya dijimos, en situaciones topográficas especiales que reciben aportes extra de agua.

En la caracterización ecológica del clima de la región de Calabozo, analizaremos primeramente los 2 factores que consideramos más importantes: la precipitación y la temperatura, seguidamente se hará una revisión rápida de los otros factores, como la humedad relativa, radiación y luz; pasando luego a la síntesis climática, mediante fórmulas y diagramas que expresen sintéticamente el clima analizado. Además se considerarán, como complemento, algunos pocos datos relativos al microclima de la sabana y del bosque. Finalmente se discutirán algunas conclusiones que surjan de este análisis.

2. *El régimen de lluvias*

2.1. *Características generales*

Toda la región de los Llanos de Venezuela posee un régimen de precipitaciones tropical, caracterizado por la división nítida del año en dos grandes períodos: uno con lluvias relativamente abundantes, el otro con precipitaciones extremadamente bajas o nulas. En la región central de los Llanos donde se encuentra Calabozo, la estación lluviosa, llamada "invierno", se extiende desde el mes de mayo hasta octubre, con abril y noviembre como meses de transición, mientras que desde diciembre hasta marzo, período llamado "verano", las lluvias son muy raras o totalmente inexistentes. Es decir, se trata del régimen tropical del Hemisferio Norte con lluvias en verano.

El análisis del régimen pluviométrico, se basa principalmente en los datos de Calabozo (35 años de registros), los que se complementaron con los datos de 3 ó 4 años de otras localidades situadas en sus proximidades.

Analizaremos sucesivamente el régimen mensual de lluvias de Calabozo; la variabilidad interanual; la marcha diaria de las precipitaciones en los años medianos y extremos de lluvia y finalmente consideraremos la variabilidad inter-estacional (en las localidades analizadas) de las precipitaciones durante el mismo año.

2.2 *El régimen mensual de lluvias en Calabozo*

Calabozo presentó una media anual de 1.312 mm en el período de 1921-1946 y 1950-1959, o sea 35 años. La tabla 1 y la figura 2 muestran los valores de las medias para este período, e igualmente los valores correspondientes a los dos años extremos: más húmedo (1927, con 1.998 mm) y más seco (1959, con 581,2 mm).

Analizando estos datos, podemos considerar las características siguientes, como las más interesantes desde el punto de vista ecológico:

- a) La división del año en dos períodos es muy nítida, y en consecuencia no hay dificultad para definir las estaciones húmedas y secas.

MESES	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Total
Medias (mm)	1	6	9	67	163	200	236	230	178	132	79	12	1312
Año más lluvioso (1927)	0	0	0	207	190	394	204	412	383	99	109	0	1998
Año más seco (1959)	0	0	0	66,6	73,8	127,5	135	77,8	55	45,5	0	0	581,2
Número medio de días de lluvia	0	0	1	3	10	13	15	15	12	9	6	1	85
Número máximo de días de lluvia (1944)	0	0	1	5	18	21	21	20	22	11	11	1	131
Número mínimo de días de lluvia (1940)	0	0	0	0	0	4	8	12	7	4	4	0	39
Mínimo absoluto para el período (1921-46; 1950-59)	1	0	0	0	0	4	8	6	4	3	1	0	0
Máximo absoluto para el período (1921-46; 1950-59)	1	2	7	9	18	23	24	24	22	13	15	4	4

Tabla 1. - Lluviosidad media mensual y número medio de días de lluvia en Calabozo (Período: 1921-1946. 1950-1959).

- b) Durante el período seco, de una duración mínima de 4 meses (de diciembre hasta marzo) las lluvias son escasas, pues no exceden de 12 mm por mes. La precipitación total de estos 4 meses constituye el 2,13% del total anual.
- c) El período húmedo es por el contrario muy lluvioso, presentando 6 meses (de mayo a octubre) con precipitaciones superiores a los 130 mm por mes (89,75% del total anual), y dos meses menos lluviosos, con precipitaciones entre 60 y 80 mm por mes (11,12% del total anual).
- d) El análisis de las medias no dá, una imagen precisa de las condiciones reales. Si por el contrario consideramos las precipitaciones

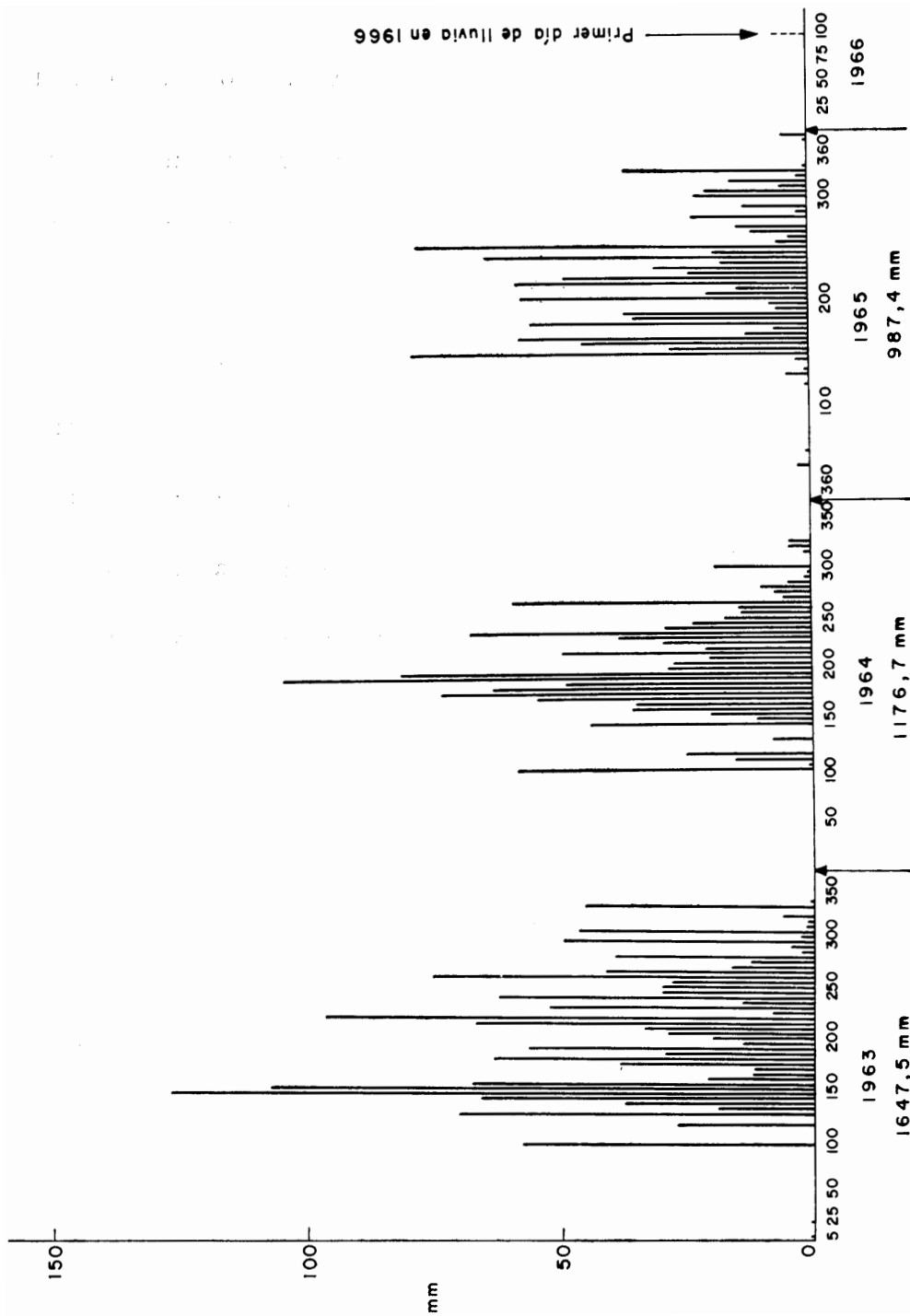


FIGURA 3. - Precipitación en Los Naranjos (1936-1966). Representación gráfica por períodos de 5 días.

año por año, y en particular los años extremos de lluvias y de sequía, se ve que no hay realmente meses de transición, como abril y noviembre, sino que, o bien esos dos meses son secos, o son lluviosos, según que se trate de un año con precipitaciones por debajo o por encima de la media, respectivamente. Así por ejemplo, observamos que el mes de abril carece totalmente de lluvias durante el año seco de 1959, mientras que en 1927, año muy lluvioso, el mes de abril tiene una precipitación superior a los 200 mm.

Una información adicional sobre la marcha anual de las precipitaciones puede obtenerse a partir de los datos relativos al número de días con lluvias superiores a 1 mm. La tabla 1 contiene los valores de las medias para el período 1921-1946, así como también los valores de los años extremos y los mínimos y máximos absolutos de días de lluvia por mes de este período.

Vemos que la media es de 85 días de lluvia por año, de los cuales 1 solamente corresponde al mes de marzo y otro al mes de diciembre, mientras que los 83 días restantes se encuentran en el período entre abril y noviembre. Los años con un número más alto de días lluviosos son debidos más bien a una acumulación de precipitaciones durante la estación húmeda, y no a una extensión de dicha estación. En efecto, el número de días de lluvia durante el período de sequía es el mismo.

Similarmente, los años con un número de días de lluvia por debajo de la media son años en que estas comenzaron muy tarde (junio) y finalizaron muy temprano, en noviembre. Aún considerando los valores máximos del número de días de lluvia por mes para este período, vemos que no alcanzan más que a un día en enero y a dos días en febrero.

Sintetizando, podemos afirmar que la estación seca tiene una extensión variable según los años, entre 4 meses para los más lluviosos y 6 meses para los más secos, pero que en este período la sequía es casi total.

2.3. *Variabilidad interanual*

Es conocida la importancia ecológica de la variabilidad interanual de las lluvias, particularmente en los climas donde el factor hídrico es el limitante esencial para la vegetación, como es el caso tanto en los climas

semiáridos y áridos, como en los regímenes con una concentración estacional muy nítida de las lluvias (regímenes tropicales y mediterráneos). Es sabido también que las medias pueden resultar engañosas para la caracterización de los climas llamados de transición (Baudière y Emberger, 1959).

Para analizar la variabilidad interanual de las precipitaciones, los climatólogos recurren al coeficiente de variabilidad, medida estadística muy utilizada como índice de dispersión, que se define como la relación entre la desviación standard y la media.

Hemos calculado este coeficiente de variabilidad, con los datos pluviométricos de Calabozo, obteniendo un valor de 0,208. Esta cifra puede considerarse como relativamente alta, propia por lo tanto de un clima con variaciones pluviométricas importantes. De esta manera, dicho índice refuerza la idea de la necesidad de considerar la duración máxima del período seco como variable ecológica de la más alta importancia, mucho más representativa que la media obtenida a partir de un número elevado de valores anuales.

Para captar con mayor detalle el problema de la intensidad de la sequía, pasaremos al análisis de los datos diarios de precipitación.

2.4. *Marcha diaria de las lluvias*

Disponemos solamente de datos de precipitación día por día para Calabozo (1950-1959), para los Naranjos, 12 Km al SO de Calabozo, en el intervalo 1963-1966 y también para la Estación Biológica de los Llanos (octubre 1967 a octubre 1968).

Para obtener una interpretación más clara se han considerado los valores de las precipitaciones diarias agrupados en períodos de 5 días.

Los datos de Los Naranjos desde el año 1963 hasta el comienzo de las lluvias en el año 1966, se presentan en la figura 3. Vemos que en 1963, año con valores bien por arriba de la media, las lluvias empezaron en la primera semana de abril, mientras que las últimas precipitaciones cayeron durante la cuarta semana de noviembre. En el año 1964, que puede ser considerado como casi normal en lo concerniente al total anual (1.176,7

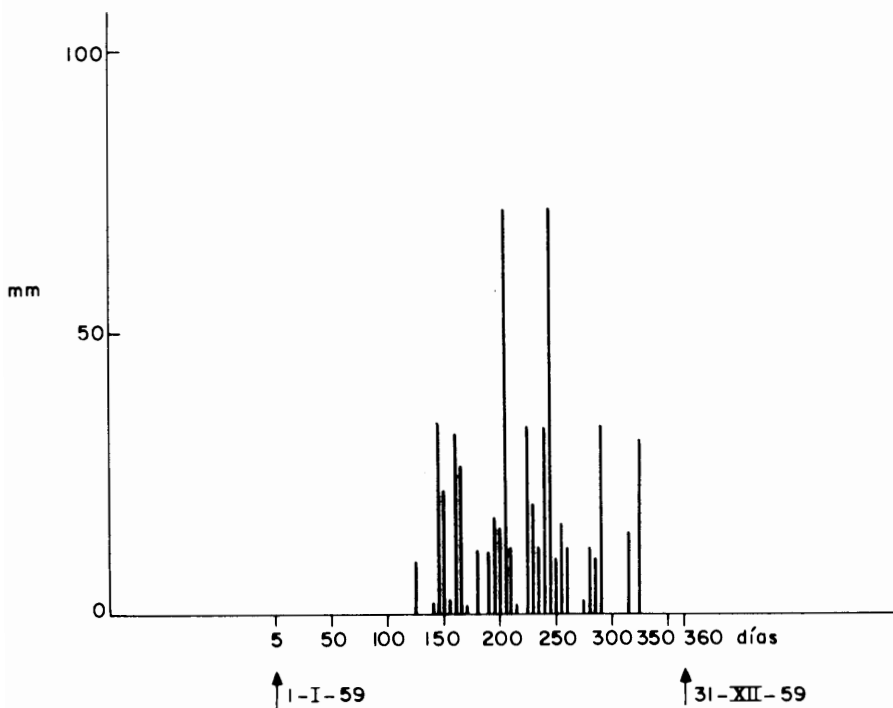


FIGURA 4. - Precipitación de Calabozo durante el año más seco de las observaciones pluviométricas (35 años). Lluvias agrupadas por períodos de 5 días.

mm), las primeras lluvias cayeron durante la segunda semana de abril. De esta manera, queda un período de 130 días consecutivos prácticamente sin lluvia.

Las últimas precipitaciones de 1964, se produjeron en la mitad de noviembre. En el año 1965, con precipitaciones por debajo de la media (987,4 mm), las primeras lluvias importantes cayeron en la primera semana de mayo. Por lo tanto la estación seca se prolongó 115 días, durante los cuales las precipitaciones totalizaron 2.7 mm.

Vemos entonces, cómo la vegetación, para sobrevivir, debe tener la capacidad de tolerar períodos sin lluvias de hasta 5 meses.

Se dispone también de datos diarios de precipitación para el año más seco de los 35 años de registros pluviométricos en Calabozo, o sea 1959, con sólo 581,2 mm de precipitación anual. Haciendo una representación similar a las precedentes (figura 4), se observa al principio del año (desde el 1º de enero al 1º de junio) un período de sequía total sin ninguna lluvia, de 120 días, y otro período en sus postrimerías, de 40 días. Por lo tanto es posible que se produzca un período sin lluvias de hasta 160 días, cuando a un año de pluviosidad normal le sigue otro muy seco.

Otro problema que se debe considerar es la existencia de cortos períodos secos después del comienzo de la estación de lluvias. Observando la figura 3 se ve que durante los 3 años 1963-1966, hubo 4 períodos cortos de sequía, el máximo de ellos duró 15 días y los 3 restantes 10 días.

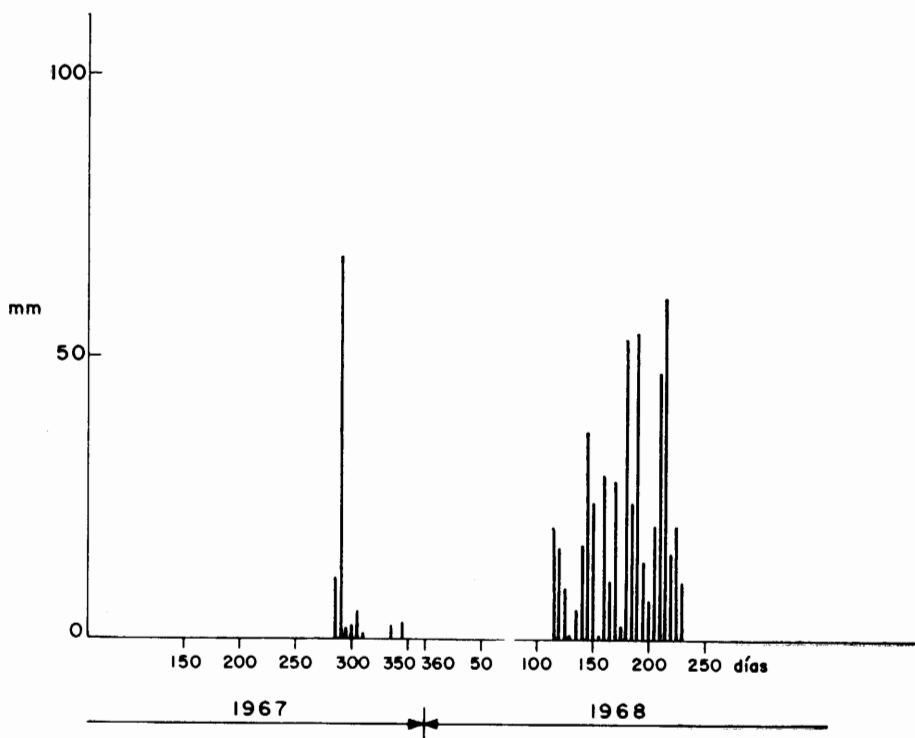


FIGURA 5. - Precipitación en la Estación Biológica de los Llanos, entre octubre 1967 y octubre 1968. Lluvias por períodos de 5 días.

Igualmente se puede observar en la figura 4 cómo durante el año extremadamente seco de 1959, hubo un período de 20 días sin precipitaciones en el período lluvioso. O sea que existen también cortos períodos secos en media de lo estación de lluvias. Este hecho puede ser importante para ciertas especies, sobre todo para las terófitas de radicación superficial y para las plantas herbáceas que crecen sobre suelos con muy baja capacidad de retención de agua.

Finalmente examinaremos los valores diarios de la precipitación en la Estación Biológica, entre octubre 1967 y octubre 1968 (figura 5). Se observa que las últimas lluvias de 1967 cayeron durante la tercera semana de octubre, seguidas por muy débiles precipitaciones hasta el 10 de diciembre. Las primeras lluvias del período de lluvia 1968 cayeron el 25 de abril, existiendo por lo tanto una estación seca de 185 días de duración, en la cual las lluvias totalizaron 16,5 mm. Podemos, en consecuencia, considerar que este año tuvo una estación seca más larga que la media.

2.5. *Variación pluviométrica entre localidades vecinas*

Se han comparado los valores pluviométricos de seis localidades, todas con las mismas condiciones climáticas y ecológicas. Ellas son: Los Naranjos 12 km al SO de Calabozo, Palo Seco 20 km al NE, El Rastro 12 km al N, El Calvario 38 km al E, La Enerucijada 55 km al EN, Palenque 55 Km al E. La figura 6 muestra la marcha mensual de las lluvias para las seis estaciones en el período 1963-1965.

Se constata primero, que existen importantes diferencias entre los valores mensuales de cada localidad para el mismo año, a pesar de que las seis tienen una media anual bastante similar. Pero la comprobación más interesante para nosotros, es que las diferencias entre estaciones son debidas exclusivamente a la diversidad de los valores alcanzados durante la estación de lluvias, mientras que la duración y la intensidad de la estación seca permanece prácticamente idéntica.

Así, por ejemplo, se puede ver en la figura 6 que en las seis localidades la estación de lluvias empezó en 1963-1964 en abril; mientras que en 1965, comenzó en mayo. Por otra parte el intervalo sin lluvia duró en las 6 localidades 4 meses en el período de sequía 1963-1964 y 5 meses en el período de sequía 1964-1965.

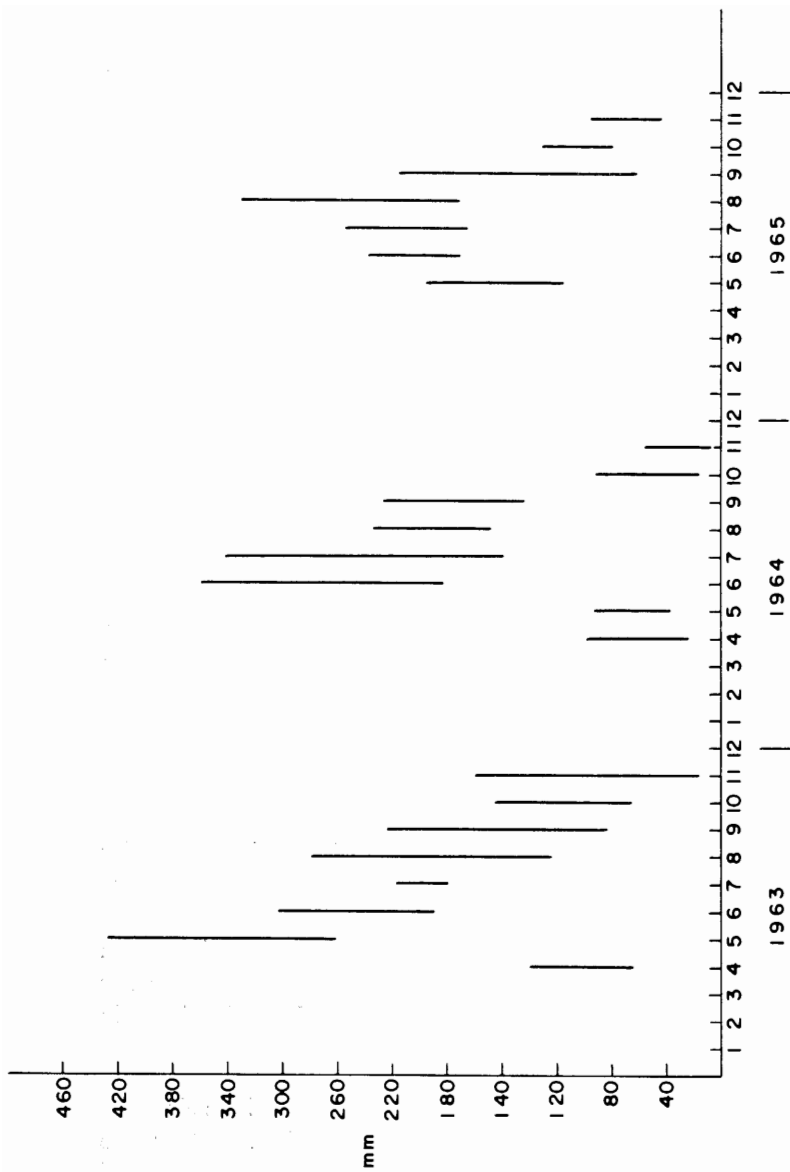


FIGURA 6. - Valores extremos de la precipitación para seis localidades cercanas a Calabozo: El Calvario (1130 mm); El Rastro (1294 mm); La Encrucijada (1213 mm); Los Naranjos (1270 mm); Palenque (1127 mm); y Palo Seco (1098 mm). Para cada mes se indican en el gráfico el mínimo y el máximo de precipitación para el conjunto de las seis estaciones. Se observa claramente que las diferencias entre las localidades son debidas a la cantidad de precipitaciones que caen durante la estación de lluvias, la duración del período seco es igual en las seis localidades.

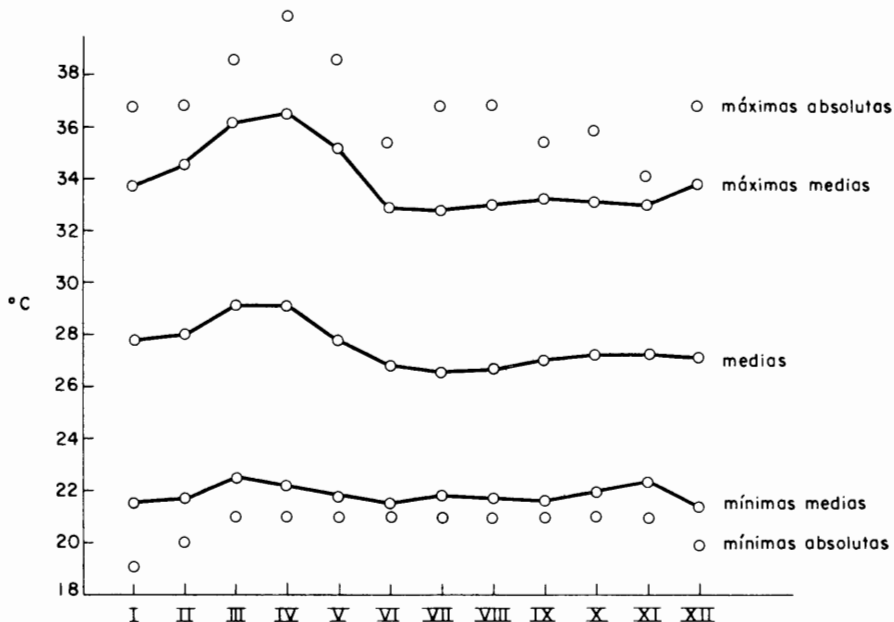


FIGURA 7. - Marcha anual de las temperaturas en Calabozo (1935-1946).

2.6. Conclusiones sobre el régimen de lluvias

Podemos indicar como conclusiones principales de este análisis sucinto del régimen de lluvias de la región de Calabozo, los puntos siguientes:

- El régimen pluviométrico corresponde a un régimen tropical muy nítido, con un mínimo de 4 meses por año casi enteramente desprovistos de lluvias (XII-I-II-III).
- Cuando durante dos años consecutivos las precipitaciones se sitúan por debajo de la media, la estación seca puede fácilmente alcanzar seis meses de duración (XI a IV).
- Esta sequía es particularmente influyente para las especies que crecen en los suelos con baja capacidad de retención de agua, como es el caso de la mayor parte de los suelos de estas sabanas. En este

caso la estación seca es mucho más larga, pudiendo alcanzar valores cercanos a los 180 días. Este período crítico es uno de los principales factores ecológicos que actúan sobre las poblaciones vegetales, y éstas para mantenerse deben poseer mecanismos que les permitan soportarlo.

- d) Los años con una precipitación por encima de la media, hasta los valores más altos de la región, poseen igualmente una estación seca de 4 meses. El valor alto de la media anual es debido a mayores precipitaciones durante la estación de lluvias y no a un acortamiento del período seco.
- e) No hay períodos de sequía dentro de la estación lluviosa de más de 20 días, y en general los intervalos sin lluvias en este período lluvioso no sobrepasan los 10 ó 15 días; y como máximo se encuentran uno o dos de estos períodos por año.
- f) Como la variabilidad interanual de las precipitaciones es muy fuerte, debemos considerar la presencia frecuente de años muy secos, durante los cuales se prolonga el período desfavorable para la vegetación hasta el máximo antes indicado.

3. *El régimen térmico*

3.1. *Marcha anual de la temperatura*

Como es lógico esperar, en estas latitudes no existen estaciones desde el punto de vista térmico. La temperatura desciende ligeramente durante la estación de lluvias, como resultado del aumento de la nubosidad y la disminución correspondiente del período de insolación diaria. El llamado invierno y el llamado verano tienen solamente un sentido desde el punto de vista hídrico y no desde el punto de vista térmico, y es por esto que las denominaciones populares no concuerdan con las estaciones astronómicas.

Disponemos de medidas de temperaturas para Calabozo durante el período 1935 a 1946. La temperatura media anual para este período es de 27,5° C. La figura 7 representa la marcha anual de las temperaturas medias mensuales y las de las máximas y mínimas medias, así como los valores extremos para cada mes.

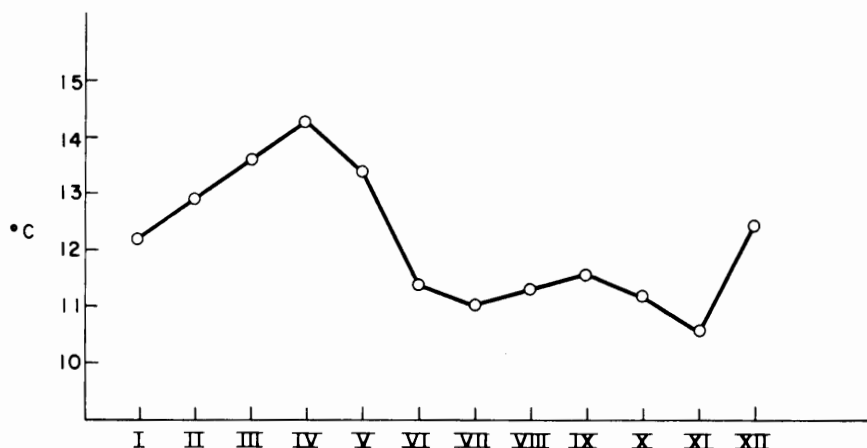


FIGURA 8. - Oscilación térmica mensual en Calabozo (1935-1946)

Las principales observaciones que se pueden hacer sobre la marcha anual de la temperatura son las siguientes:

- a) La isoterminia es notable, la diferencia entre la media del mes más caliente (abril; $28,6^{\circ}\text{C}$) y la del mes menos caliente (julio; $26,3^{\circ}\text{C}$) es solamente de $2,3^{\circ}\text{C}$.
- b) Las temperaturas más altas, ya sean medias, máximas o mínimas, se presentan durante los meses de marzo y abril, es decir, al final de la estación seca.
- c) Las temperaturas más bajas se encuentran en el mes de junio y julio, en plena estación de lluvias, lo que corresponde en realidad al verano astronómico del Hemisferio Norte.
- d) Las medias de las mínimas, lo mismo que las mínimas extremas están siempre por arriba de 18°C . El régimen es por lo tanto netamente megatérmico y corresponde a la región llamada popularmente "tierra caliente". En consecuencia, la temperatura mínima no parece constituir un factor limitante ni para el crecimiento ni para el establecimiento de las plantas.

- e) Las medias de las máximas no son demasiado altas ($32,4^{\circ}\text{C}$ - $36,2^{\circ}\text{C}$); además las temperaturas máximas extremas no alcanzan valores por encima de 40°C , tan frecuentes en el verano de los climas subtropicales. El trópico es térmicamente menos extremo que el subtropico, tanto en sus máximas como en sus mínimas.

3.2. *Termoperiodismo diario y temperaturas mínimas*

Si hay un efecto térmico de importancia ecológica en este clima, éste debe manifestarse principalmente por una acción termoperiódica. Es conocido como las fluctuaciones térmicas pueden ser causa del desencadenamiento de ciertos procesos metabólicos en las plantas. Desde este punto de vista resulta por lo tanto interesante analizar con cierto detalle las oscilaciones térmicas diarias, para detectar la existencia de ritmos climáticos que se puedan correlacionar con los ritmos biológicos.

Para realizar este análisis se dispone, además de los datos ya utilizados de Calabozo, de observaciones diarias de temperatura para la Estación Biológica en el período del 25-X-67 al 15-VIII-68. La figura 8 muestra las diferencias térmicas mensuales medias para Calabozo. Se observa que las amplitudes térmicas oscilan entre un máximo de $14,3^{\circ}\text{C}$ en abril y un mínimo de $10,6^{\circ}\text{C}$ en septiembre. Las diferencias diarias son por lo tanto, 3 ó 4 veces mayores que las diferencias anuales entre las medias mensuales. En la figura 9 se representan los datos de la Estación Biológica, mientras que la figura 10 muestra las oscilaciones térmicas diarias para el mismo período.

Dos factores pueden tener una acción de estímulo sobre los ritmos biológicos en este clima tropical, en primer lugar, la variación estacional de las temperaturas mínimas, y en segundo lugar, la oscilación diaria de la amplitud térmica.

Teóricamente podemos esperar que las especies que viven en un clima megatérmico, sean particularmente sensibles tanto a las bajas temperaturas como a las variaciones de amplitud térmica, por débiles que ellas puedan ser. De esta manera, las temperaturas nocturnas serán mucho más importantes para el desarrollo de los procesos fisiológicos en los vegetales que las temperaturas diurnas.

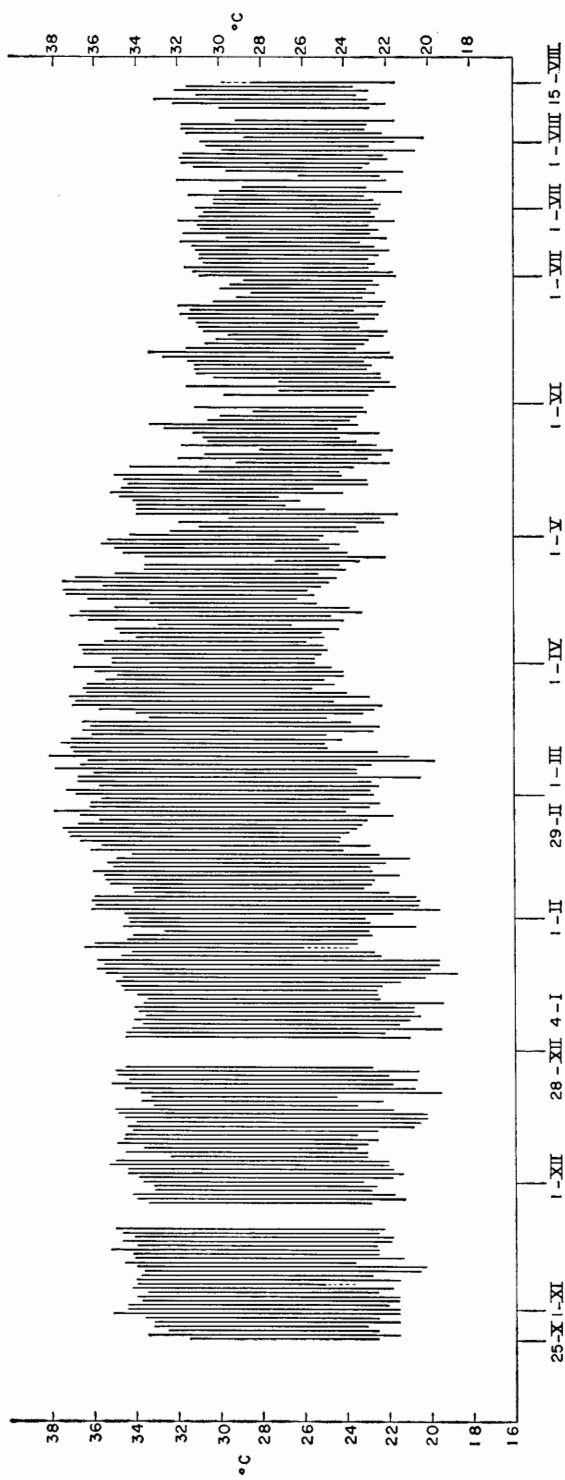


FIGURA 9. - Temperaturas máximas y mínimas diarias en la Estación Biológica de los Llanos (del 25-X-67 al 15-VIII-68).

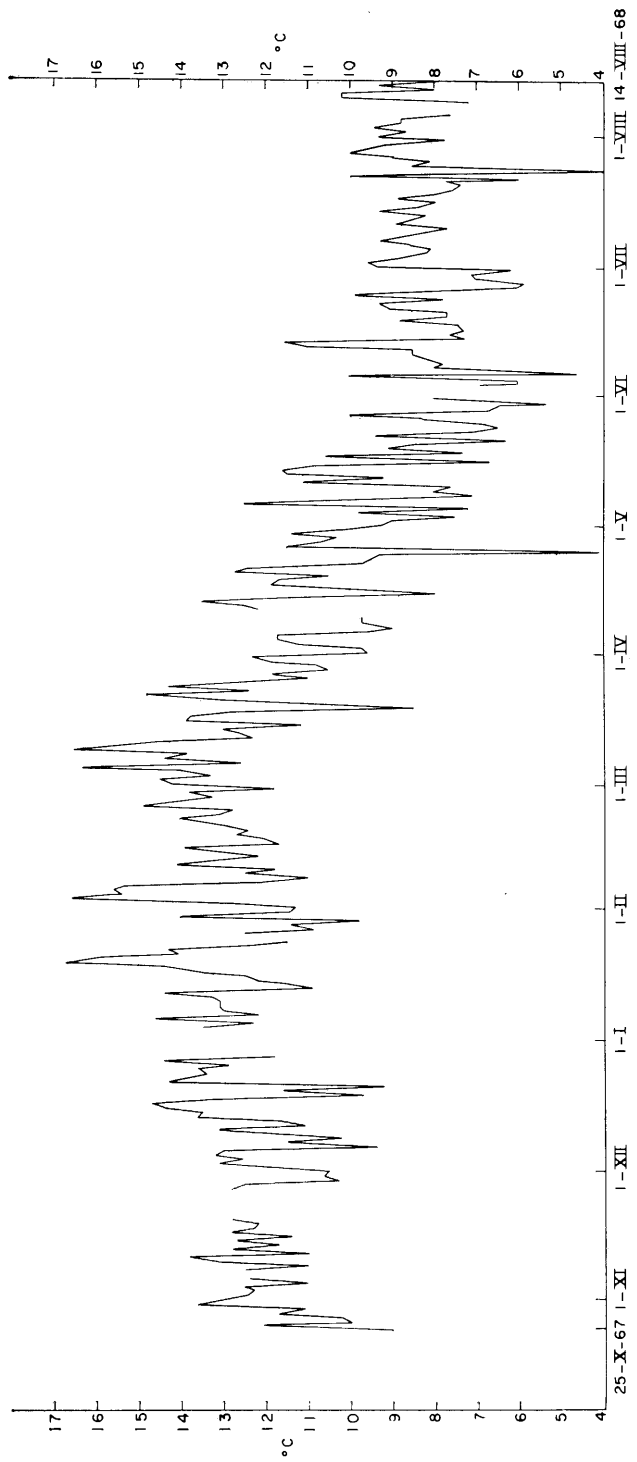


FIGURA 10. - Oscilaciones térmicas diarias en la Estación Biológica de los Llanos (del 25-X-67 al 15-VIII-68), desarrollo de la figura 8.

Con respecto a las bajas temperaturas, vemos en la figura 7, que las mínimas extremas se producen durante el período de sequía, entre diciembre y febrero, únicos meses donde la temperatura desciende por debajo de 20° C; mientras que, todo el resto del año, las mínimas extremas se mantienen alrededor de 20,5° C. En el gráfico de temperaturas diarias, se ve con más detalle, que las mínimas son más bajas hacia finales de diciembre y principios de enero, subiendo después netamente durante el mes de marzo, y sobre todo en abril.

Por lo tanto, la temperatura presenta un ritmo anual bien nítido con oscilaciones ciertamente débiles, pero que podrían sin embargo constituir un factor de importancia fisiológica en el desarrollo de las especies.

Es necesario considerar también las relaciones entre ambos ritmos, el térmico y el pluviométrico. Debemos recordar que el mínimo térmico coincide con el inicio de la sequía, mientras que la elevación de las temperaturas nocturnas está no solamente en correlación, sino que igualmente está en relación directa con el comienzo de las lluvias. Es decir, los dos ritmos climáticos esenciales se encuentran acoplados entre sí.

Si consideramos ahora la amplitud de las oscilaciones térmicas diarias (figura 10), se puede también detectar en ellas un ritmo anual, marcado por oscilaciones más fuertes en el período de sequía, particularmente entre enero y marzo, seguidas de una disminución neta desde abril hasta julio, cuando las amplitudes térmicas diarias alcanzan el valor mínimo anual.

De esta manera, se puede ver que las oscilaciones térmicas diarias están, asimismo, en estrecha correlación con las estaciones pluviales, ya que al período de sequía más intenso corresponden las amplitudes diarias más grandes, y por el contrario, la estación de lluvias va acompañada de una notable disminución de la amplitud térmica. Se puede encontrar la explicación de esta concordancia en el hecho de que, en el período de lluvia, el cielo está frecuentemente cubierto durante la noche, disminuyendo así el enfriamiento nocturno por irradiación, lo cual provoca la elevación de las temperaturas mínimas nocturnas; mientras que durante el día, la disminución de la insolación provoca un descenso de las máximas diurnas.

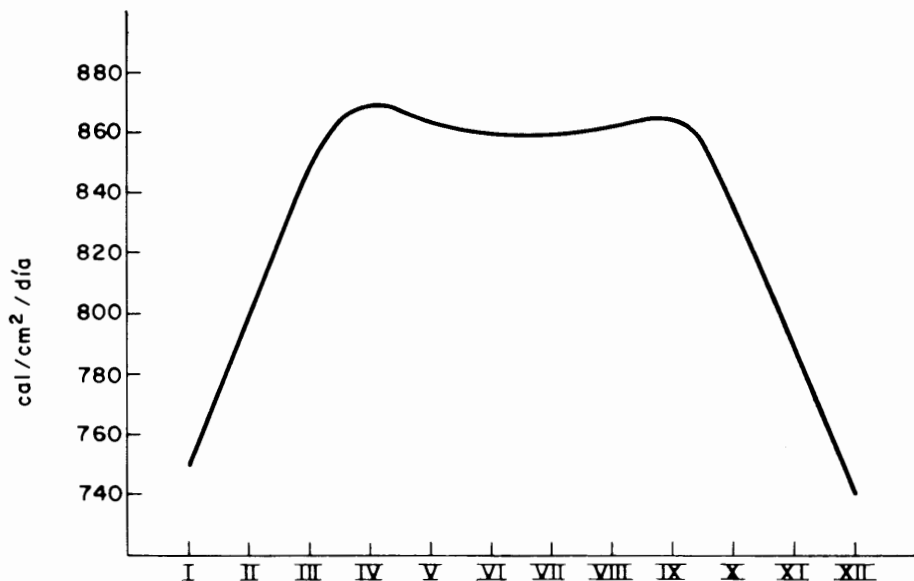


FIGURA 11. - Radiación global que llega a la parte superior de la atmósfera, correspondiente a la latitud de Calabozo.

4. *Los otros factores climáticos*

4.1. *Radiación global e insolación*

La cantidad de energía que llega a la parte superior de la atmósfera en cada punto del globo y a cada instante está como se sabe, en función de la latitud. La figura 11 muestra los valores correspondientes a la latitud de Calabozo. Se observa que los valores presentan dos máximos anuales, producto del paso del sol por esta latitud, dos veces al año. El primer máximo ocurre en abril, el segundo en septiembre. Hay igualmente dos mínimos, el primero en diciembre, cuando el sol está sobre el Hemisferio Sur, el segundo en julio, cuando el sol está en el Norte.

Pero la radiación que realmente puede alcanzar la superficie terrestre depende no solamente de estos valores, sino también de las condiciones de nubosidad. Estos valores de radiación global en la superficie deben por tanto ser medidos en cada punto.

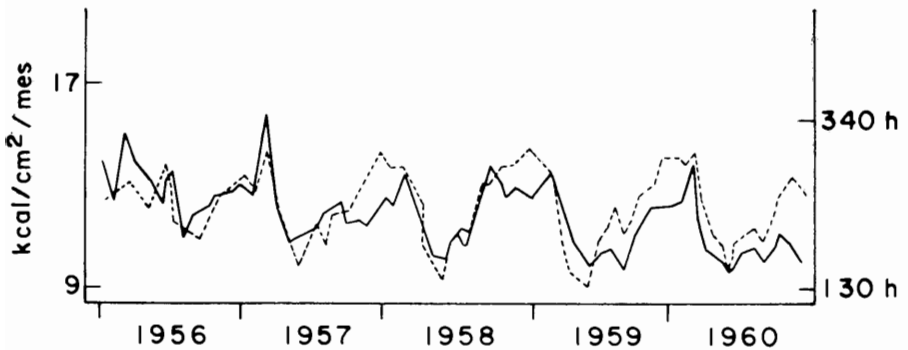


FIGURA 12. - Radiación y duración de la insolación en superficie medidos en san Fernando de Apure.

Las únicas mediciones disponibles de radiación global en la superficie, son las correspondientes a San Fernando de Apure, localidad situada a 110 km al sur de Calabozo, pero perteneciente a la misma región climática. Los datos para el período 1956-1960, medidos con el actinógrafo de Robitzeh, que tomamos del trabajo de Burgos y col. (1965), se muestran en la figura 12, conjuntamente con los valores de la duración diaria de la insolación.

Vemos que las dos curvas son bastante concordantes. La radiación tiene su valor máximo durante los primeros meses del año, desciende seguidamente hasta un mínimo en el período de lluvia, para subir de nuevo hacia fines de la estación lluviosa y principios del período de sequía. La curva de la nubosidad sigue la marcha de la curva de radiación.

Se puede encontrar así una explicación de la marcha anual de las temperaturas, ligada como ya hemos visto, a la nubosidad. Por lo tanto, las condiciones atmosféricas locales tienen una importancia de primer orden en la determinación de la cantidad de energía a disposición de los vegetales, eliminando de una manera total la significación de la radiación que llega a la alta atmósfera.

Comparando las curvas de los factores climáticos, se constata una vez más, que los ritmos climáticos están acoplados entre ellos: temperatura, precipitación, radiación y luz.

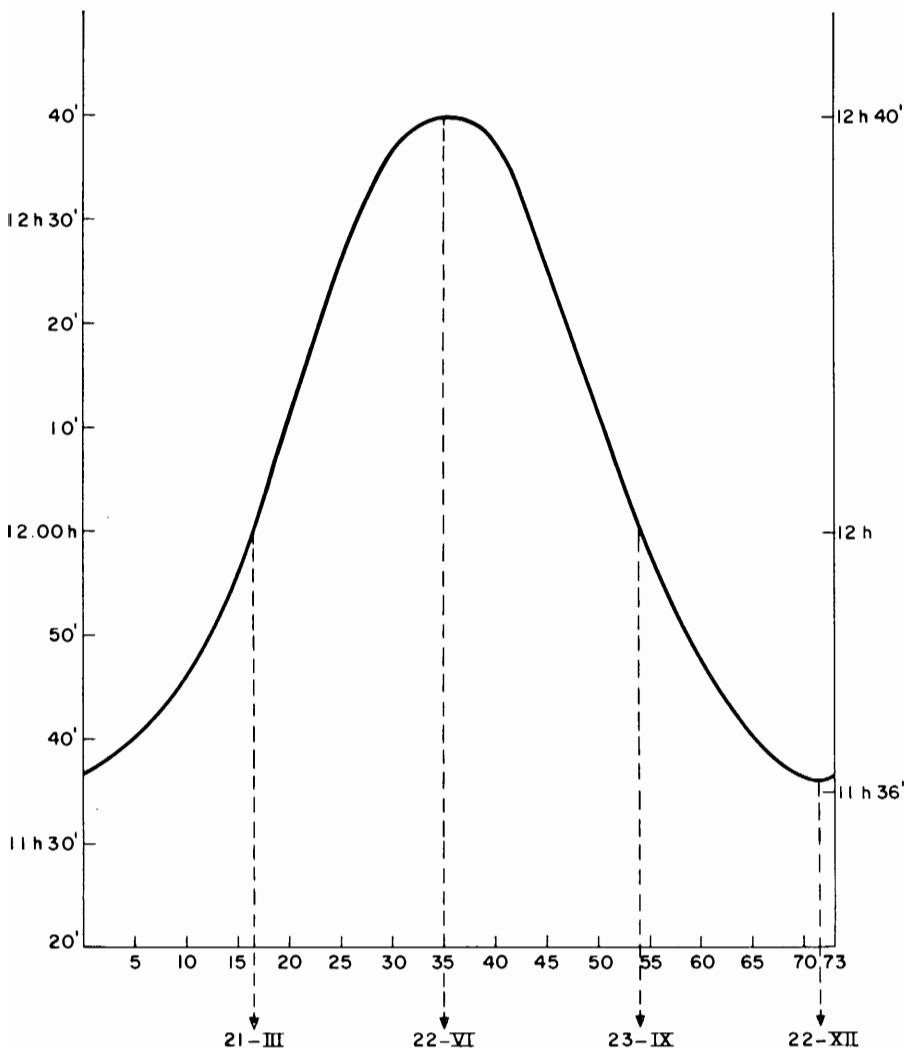


FIGURA 13. - Variación anual del fotoperíodo en Calabozo
 Ordenada: en días. - Abscisas: en horas y minutos.

Por otro lado vemos claramente la irregularidad estacional de la radiación y de la insolación, cuyos valores más altos son del orden de 16 kcal/cm²/h y 300 horas respectivamente; mientras que los más bajos son de 10 kcal/cm²/h y 130 horas de insolación por mes.

Se dispone también de medidas de insolación en Calabozo en el período 1936-1938, o sea de 3 años, las cuales se reproducen en la tabla 2. Mediante estos datos vemos que la variación anual es nítida, con dos máximos en la estación seca, cuyos valores alcanzan hasta 268 horas por mes, y dos mínimos del orden de 114 horas, en julio, que es generalmente el mes más lluvioso.

Mes	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
Horas de sol	237	240	223	169	126	154	144	162	173	172	150	268

TABLA 2. - Número mensual de horas de sol en Calabozo. Medias de 3 años.

4.2. Longitud del día

Es bien conocida la gran importancia de este factor para el desarrollo y la floración de las plantas en las regiones extratropicales. Sin embargo, en la zona intertropical se ha dejado casi completamente de lado el factor luz, pues se ha creído que no podía jugar un papel ecológico a causa de las pequeñas diferencias anuales.

Sin embargo, actualmente se postula que aún una diferencia en longitud del día del orden de una hora, puede ser suficiente para desencadenar una respuesta fotoperiódica en ciertas especies. Por lo tanto, hemos considerado también la luz como un posible factor de importancia, aunque no haya sido demostrada su acción en este caso particular.

En la figura 13 se representa la variación anual de la longitud del día en Calabozo, construída a partir del valor de la latitud. Vemos que la amplitud de oscilación anual sobrepasa 1 hora (64 minutos), con los días más cortos en diciembre (11 horas, 36 minutos) y los más largos en junio (12 horas, 40 minutos).

4.3. Humedad relativa

La figura 14 reproduce los valores mensuales de las medias, y de las máximas y mínimas medias, de la humedad relativa del aire, para Calabozo (datos de 11 años). Se puede observar que los valores de las

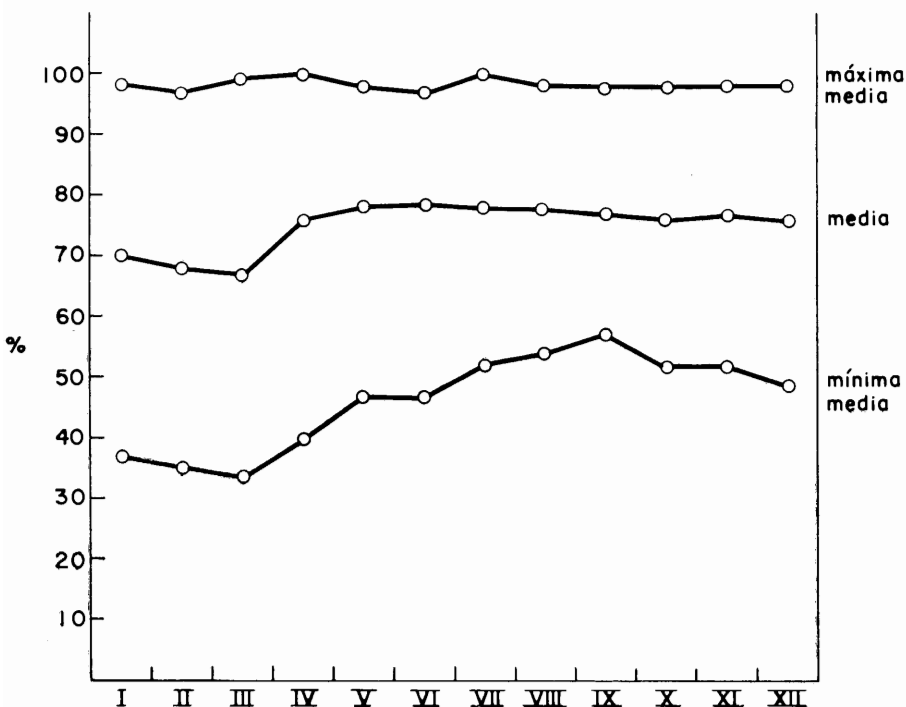


FIGURA 14. - Marcha anual de la humedad relativa en Calabozo (1936-1946).

medias se mantienen casi estacionarios durante todo el año, entre 70% y 80%. Hay también un descenso débil al final de la estación seca, notable sobre todo en las mínimas.

Utilizaremos más adelante estos datos para el cálculo de la fórmula climática de Manguet, el cual utiliza los valores máximos y mínimos de la humedad relativa.

5. Síntesis climática

Una vez analizados separadamente los principales factores climáticos, es necesario hacer una síntesis que permita comprender rápidamente la significación ecológica total del clima, de modo de poder restablecer también comparaciones valederas con las observaciones hechas en cualquier otra parte del globo.

- Precipitación
- - - Evapotranspiración potencial
- ▨ Deficit de agua
- ▧ Almacenamiento de agua en el suelo
- ▩ Exceso de agua
- ▤ Utilización del agua del suelo

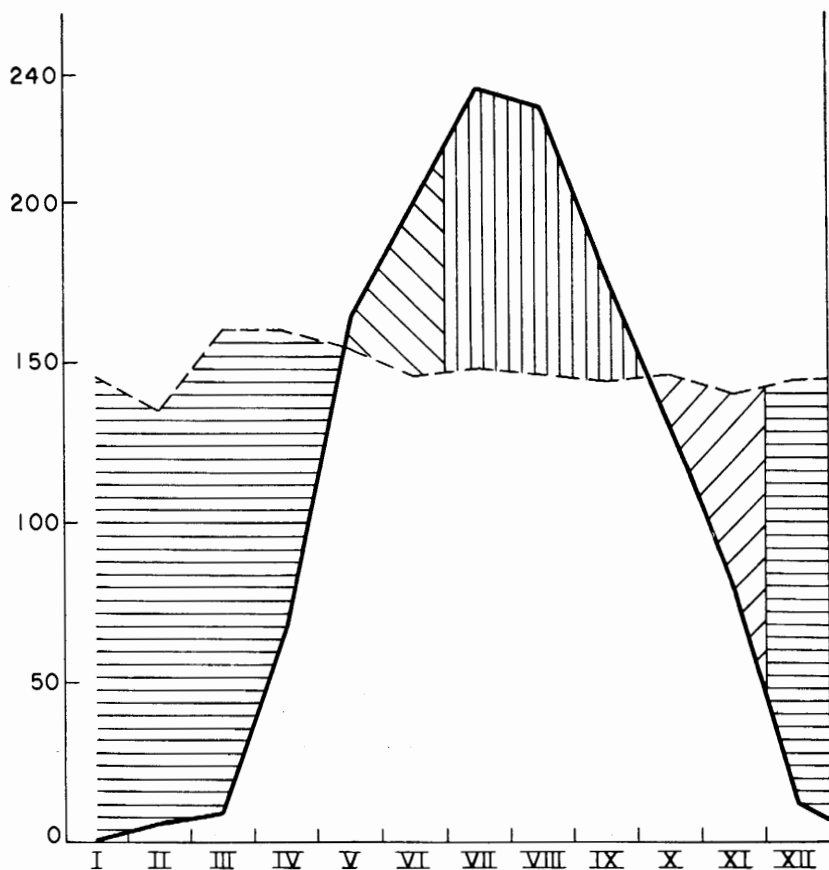


FIGURA 15. - Diagrama de balance hídrico para Calabozo, según el método de Thornthwaite.

Hay varios medios de expresión sintética del clima, utilizados con más o menos éxito en diferentes condiciones climáticas, en este caso nos limitaremos a la utilización de los más simples y también más generalmente empleados. Utilizaremos la clasificación climática de Koeppen-Geiger (1954) y de Emberger (1954), e igualmente los sistemas de caracterización climática de Thornthwaite (1948) y de Mangenot (1951).

De acuerdo a la clasificación climática de Koeppen-Geiger la región analizada pertenece al tipo climático *Aw*, o clima tropical con estaciones secas y húmedas. Este tipo climático se caracteriza por poseer medias mensuales de temperatura siempre superiores a 18° C y una concentración estacional de las lluvias. Pero podemos darnos cuenta que esta caracterización es demasiado general y habría que precisarla al menos mediante la duración de la estación seca, la cual como acabamos de ver, tiene aquí un intervalo de 4 a 6 meses.

Siguiendo el sistema de Emberger, clasificaríamos este clima como *tropical*, definido como un clima de la región intertropical que posee una tendencia a diferenciarse en estaciones térmicas, con duración débilmente desigual de días y noches y precipitaciones concentradas en un período del año que corresponde al verano del Hemisferio Norte. Por la duración y la intensidad de la estación seca, esta región se clasificaría como de *clima tropical semiárido*.

Thornthwaite (1948) utiliza como método de caracterización climática el análisis del diagrama de balance hídrico, construido a partir de los datos mensuales de precipitación y evapotranspiración potencial. El diagrama de balance hídrico para Calabozo se reproduce en la figura 15; los valores mensuales de la evapotranspiración potencial han sido calculados según el método propuesto por Thornthwaite.

La evapotranspiración potencial anual en Calabozo es de 1763,3 mm., valor bastante superior al de la pluviosidad. Los diferentes períodos hídricos indicados en el diagrama han sido calculados como si la capacidad de retención de agua del suelo fuera 100 mm. El déficit de agua totaliza 614 mm, y el período seco, es decir, cuando la evapotranspiración potencial es superior a la precipitación, tiene una duración de 5 meses (XII al IV); por su parte el exceso de agua alcanza a 154 mm, repartidos en 3 meses (VII al IX).

Los suelos de la región estudiada, particularmente los de las sabanas, vegetación dominante en la región, tienen seguramente una capacidad de retención de agua menor de 100 mm, por lo tanto, la duración del período seco es aún más larga, por lo menos de 6 meses (XI al IV).

Finalmente, hemos aplicado la fórmula climática de Manguet (1951), establecida para caracterizar los climas de Africa tropical. Considerando como variables las precipitaciones y la humedad relativa, su expresión es la siguiente:

$$\frac{Y}{X} = \frac{\frac{P}{100} + M_s + \frac{U_x}{5}}{n_s + \frac{500}{U_n}}$$

P = Precipitación anual en mm.

M_s = Precipitación total de los meses secos (o sea con menos de 50 mm.)

U_x = Humedad atmosférica máxima del año

U_n = Humedad mínima del año.

Para Calabozo obtenemos Y = 61,12 y X = 18,3. La fracción Y/X = 3,3 nos da el índice de humedad de Manguet. Este valor caracteriza en Africa tropical a un clima de transición entre el *Clima Sudanés* o del *bosque abierto*, de índice entre 1 y 3, y el clima de los *bosques mesófilos*, de índice entre 4 y 6. Este índice por lo tanto no nos informa muy exactamente sobre la verdadera naturaleza de este bioclima, indicando por el contrario un clima más húmedo del que existe verdaderamente en este lugar. Es posible que la explicación de esta anomalía se encuentre en la estacionalidad extrema de las lluvias lo cual modifica el efecto de los valores totales anuales.

En este sentido, puede ser utilizado el producto YX como un índice de contraste climático, y nos informa sobre el grado de concentración estacional del clima. En el caso de Calabozo, este índice YX es igual a 1.098, valor extremadamente alto, lo que caracteriza un clima de muy fuerte contraste. Se puede suponer que la extraordinaria concentración de las lluvias en algunos meses del año, es en gran parte el factor responsable del carácter sabánico de la vegetación.

6. Algunos datos microclimáticos

Los datos climáticos registrados en las estaciones meteorológicas no informan de una manera precisa sobre las verdaderas condiciones atmosféricas que se encuentran inmediatamente por encima de la sabana. En efecto, el estrato herbáceo está directamente expuesto al sol, vive bajo condiciones térmicas más extremas que las indicadas en los registros meteorológicos.

No disponemos de registros microclimáticos suficientes para conocer la desviación entre el microclima de la sabana y el clima regional, pero algunas indicaciones bastarán para dar una idea aproximada de las condiciones a las cuales están expuestas las especies sabanícolas.

Vareschi (1960) midió la evaporación en la sabana de la Estación Biológica, con el evaporímetro de Piche y obtuvo como valor máximo 2,7 cm³/h, durante la estación seca, entre 11 h y 15 h, a una altura de 100 cm sobre el suelo. Este valor es bastante superior a los valores medidos de la evaporación estival en ciertas regiones de clima semidesértico, como Arizona (1,7 a 2,2 cm³/h), siendo solamente comparables a los valores medidos en un verdadero desierto (Walter, 1951).

Por lo tanto, podemos tener una idea de las condiciones de sequía a las cuales están sometidas las especies herbáceas de la sabana durante la estación seca. Además los valores de evaporación muestran una caída notable en relación a la altura sobre el suelo, reduciéndose a 2,1 cm³/h a 50 cm; 1,7 cm³/h a 10 cm; y a 1,3 cm³/h a 2 cm. En consecuencia, las plantas de los estratos inferiores están mucho más protegidas contra la desecación que las especies del estrato herbáceo superior.

Vareschi (1960,b) midió también la transpiración de dos especies de árboles de la sabana en la Estación Biológica: *Curatella americana* y *Byrsonima crassifolia*, durante algunos días de la estación seca. Este autor ha constatado valores máximos del orden de 20 mg/dm/min para *Curatella* y 40 mg/dm/min para *Byrsonima* mostrando así que estas dos especies pueden ser catalogadas como árboles de fuerte transpiración.

Recientemente Castellanos (1968) y Silva (1968) midieron la evaporación en condiciones de bosque (pequeños enclaves dentro de la sabana, llamados "matas"), utilizando igualmente el evaporímetro de Piche, colocado a una altura de 1,50 m, y obtuvieron durante la estación seca valores máximos de 0,82 cm³/hora los cuales se producen entre las 11 y

las 15 horas. Estos valores resultan sensiblemente más bajos que los medidos por Vareschi para la sabana durante la estación seca.

Estos autores midieron igualmente la evaporación durante la época húmeda y obtuvieron valores de 0,18 cm³/h y 0,20 cm³/h, tomados a la misma altura y horario que los citados para la estación seca. No se disponen de mediciones durante esta época en la sabana.

La comparación de los valores de la evaporación durante la estación seca en condiciones de sabana y bosque, muestra que las condiciones microclimáticas de esta última comunidad, están mucho más atemperadas que las soportadas por la sabana. Igual cosa ocurre con la comparación de los valores de evaporación medidos en el bosque durante la época seca y húmeda, ya que estos descienden notablemente en este último período.

7. *Consideraciones generales sobre la relación entre el clima y la vegetación.*

Con respecto al origen de las sabanas de América tropical y más concretamente las sabanas de los Llanos de Venezuela, las opiniones de diversos autores son encontradas y diversas. Algunos autores como Vareschi (1960) y Tamayo (1964) sostienen que se trata de formaciones secundarias de carácter antropogénico, mantenidas por incendios recurrentes. Beard (1953) y Walter (1969) la consideran como una formación natural pero de carácter edáfico; Sarmiento (1968) defiende la idea de que la sabana es una formación determinada climáticamente.

Trataremos de discutir la información que puede aportar para la dilucidación de este problema el presente análisis climático de las sabanas de Calabozo, el cual consideramos como representativo en cuanto a los factores climáticos básicos: régimen de precipitaciones, temperatura, etc., del clima de los Llanos Centrales de Venezuela, tanto desde el punto de vista cuantitativo como en cuanto a los patrones rítmicos que presenta.

Si postulamos como hipótesis de trabajo que existe en esta área un clima de sabana. ¿Qué factores climáticos sobresalen como los más relevantes en la determinación de este clima sabánico?:

Consideramos que dentro de la zona tropical megatérmica es el régimen hídrico el que caracteriza fundamentalmente al supuesto clima sabánico. Dentro de él no son los valores medios anuales de la precipitación los que nos informan sobre el carácter ecológico esencial de este

clima, sino su ritmo. El ritmo anual de las precipitaciones es netamente estacional, diferenciándose dos períodos hídricos: uno de precipitaciones fuertemente concentradas, el otro con una estación seca de no menos de 4 meses de duración, que puede alcanzar en los casos extremos hasta 6 meses. Por lo tanto, creemos que es la duración e intensidad del período de sequía el rasgo fundamental de este clima en la determinación de las características de la vegetación; mientras que la cantidad de precipitaciones que caen durante la época húmeda, lo cual ha hecho que diversos autores consideren que se trata de un clima potencialmente forestal, es de mucho menor significación ecológica.

Por lo tanto, insistimos en la necesidad de considerar el patrón de estacionalidad hídrica y la duración del período seco, como variables ecológicas fundamentales, más representativas que los valores anuales.

La variación interanual de las precipitaciones es muy marcada, como lo expresa el alto coeficiente de variabilidad. En consecuencia, las medias anuales son engañosas, más aún si se toma en cuenta que el coeficiente de variabilidad fue calculado con los valores de 35 años solamente, por lo que es posible esperar años aún más extremos. Estos cambios interanuales refuerzan más la tendencia árida del clima.

En conclusión, sin discutir a fondo el origen de la sabana para lo cual necesitaríamos un conocimiento exhaustivo de todos sus parámetros ambientales y no solamente los climáticos, creemos que el presente análisis sobre el clima de las sabanas en los Llanos Centrales introduce elementos que favorecen el criterio de considerar a esta formación con un clima propio y diferente del de los otros tipos de vegetación. Con un período seco más breve y menos acentuado, la sabana es reemplazada primero por las formaciones de bosques deciduos y luego por los semideciduos. Con un clima más árido, en que el período seco se prolonga, la sabana cede el paso a formaciones arbustivas y arbóreas espinosas (bosques y "woodlands" espinosos, espinares, eujizales, etc.).

Sin embargo, no podemos pretender explicar la presencia de un cierto tipo de vegetación, en este caso la sabana, correlacionándola con un solo conjunto de factores, en este caso los climáticos, aislándola de los otros rasgos ambientales (geomorfológicos, pedológicos, etc.), sujetos éstos tanto a las influencias paleoclimáticas como a las climáticas actuales. Por el contrario hay que encuadrar la presencia de un cierto tipo de vegetación dentro de un contexto más complejo, con la idea de que todos los factores interactúan y teniendo presente que los caracteres históricos juegan también un papel fundamental influenciando el suelo, la flora y la vegetación.

B I B L I O G R A F I A

- ANUARIO CLIMATOLOGICO, 1959-1964: Centro de Investigaciones Agronómicas. Ministerio de Agricultura y Cría, Maracay.
- ANUARIOS CLIMATOLOGICOS 1963, 1964, 1965: Publicación Técnica N° 4, 5 y 6. Dirección de Obras Hidráulicas, Ministerio de Obras Públicas, Caracas.
- BAUDIÈRE, A. et EMBERGER, L.: 1959. Sur la notion de climat de transition, en particulier dans le domaine du climat méditerranéen. *Bull. Serv. Carte Phytogéographique*, série B, 4 (2) : 95-117.
- BEARD, J., 1953: The savanna vegetation of northern tropical America. *Ecol. Monog.* 23 : 149-215.
- BLYDENSTEIN, J., 1962: La Sabana de Trachypogon del Alto Llano. *Bol. Soc. Ven. Cs. Nat.* 102 : 139-206.
- BURGOS, J., GONZALEZ, E., y SANCHEZ CARRILLO, J., 1965: Estimación de la radiación global en Venezuela. *Agron Trop.* 15 : 75-99.
- CASTELLANOS, E., 1968: Aspectos fisio-ecológicos de *Philodendron hederaceum* (Jacq. f.) Schett. Tesis de grado. *Facultad de Ciencias. U.C.V.*
- EMBERGER, L., 1954 Project d'une classification bigéographique des climats. Colloque sur les régions écologiques du globe, 249-255 C.N.R.S., Paris.
- GONZALEZ, E., 1941: Climatología de Venezuela. *Servicio de Meteorología Agrícola*, Ministerio de Agricultura y Cría, Caracas.
- GONZALEZ, E., 1948: Datos detallados de Climatología de Venezuela. División de Malariología, Ministerio de Asistencia Social, Caracas.
- KOEPPE-GEIGER, 1954: Klima der Erde. Justus Perthes, Darmstadt.
- MANGENOT, G., 1951: Formule simple permettant de caractériser les climats. *Rev. Gén. Bot.* 58 : 353-372.
- MONASTERIO, M., y SARMIENTO, G., 1968: Análisis ecológico y fitosociológico de la sabana en la Estación Biológica de los Llanos. *Bol. Soc. Ven. Cs. Nat.* 113-114 : 477-524.
- SARMIENTO, G., y MONASTERIO, M., 1969: Ecología de las sabanas de América tropical. I. Análisis macroecológico de los Llanos de Calabozo. Venezuela. Cuadernos Geográficos 4:1-127.
- SARMIENTO, G. 1968: Correlación entre los tipos de vegetación de América y dos variables climáticas simples. *Bol. Soc. Ven. Cs. Nat.* 113-114 : 454-476.
- SILVA, J., 1968: Aspectos fisio-ecológicos de un arbusto de la mata llanera (*Randia Aculeata* L.). Tesis de grado. *Facultad de Ciencias. U.C.V.*

- TAMAYO, F, 1964: Ensayo de clasificación de sabanas en Venezuela. *Escuela de Geografía, Fac. de Humanidades, U.C.V.*
- THORNTHWAITTE, C. W., 1948: An approach toward a rational classification of climate. *Geogr. Rev.* 38 : 155-194.
- VARESCHI, W., 1960: Efectos del viento en los Llanos durante la época de sequía. *Est. Biol. de los Llanos*, Publ. 1, : 29-38.
- VARESCHI, W., 1960: Observaciones sobre la transpiración de árboles llaneros durante la época de sequía. *Est. Biol. de los Llanos*, Publ. 1 : 39-45.
- VARESCHI, W., 1960: La Estación Biológica de los Llanos de la Sociedad Venezolana de Ciencias Naturales y su tarea. *Est. Biol. de los Llanos Publ.* 1 : 17-27.
- WALTER, H., 1951: Einführung in die Phytologie. III. Grundlagen der Pflanzenverbreitung. I Teil, Standortlehre. Eugen Ulmer, Stuttgart.
- WALTER, H., 1951: El problema de la sabana. *Bol. Soc. Ven. Cs. Nat.* 115-116 : 123-144.