

## Apéndice B

### Clasificaciones Climáticas

#### Sistema de Koeppen

En 1900, Wladimir Koeppen publicó una clasificación climática que sigue en uso todavía, con algunas modificaciones (Koeppen 1936). Él concibió la idea de que las plantas constituyen elementos climáticos y que su distribución define las regiones climáticas. Sus principales clasificaciones climáticas para el neotrópico son:

- A. Tropical: el mes más frío tiene una temperatura promedio de más de 18°C
- Ar = Húmedo: el mes más seco tiene al menos 6 cm de precipitación
  - Am = Monzón: estación seca corta, pero la humedad del suelo es continua
  - Aw = Húmedo y seco: una estación seca de al menos 1 mes con menos de 6 cm de precipitación
- B. Seca: la evaporación excede la precipitación
- Bs = Estepa: la precipitación sobrepasa la media de la clase
  - Bw = Desierto: la precipitación es menor que la media de la clase

El clima húmedo tropical (Ar) cubre la región oriental de Centroamérica, parte de las islas del Caribe, la región occidental de Colombia, las Guayanas, la cuenca del Amazonas y el litoral Atlántico del Brasil (Fig. B-1). Las temperaturas medias mensuales rara vez exceden 27°C debido a la nubosidad que varía hasta un máximo del 60%. Sin embargo, debido al escaso movimiento del aire, la atmósfera tiene un bajo poder de enfriamiento. La precipitación anual generalmente sobrepasa los 180 cm.

La cuenca del Amazonas es la zona tropical de clima húmedo más grande del mundo; sin embargo, sólo la zona río arriba de Manaus no sufre 1 o 2 meses de sequía. A lo largo del litoral Atlántico de Brasil, desde el cabo San Roque hasta 13° de latitud S, el fin de la primavera y el verano son épocas relativamente secas. La severa precipitación en las tierras bajas del litoral del Pacífico de Colombia proviene del aire ecuatorial inestable que llega del oeste y suroeste y queda bloqueado por las altas montañas. En esta región, las lluvias son más comunes entre la medianoche y las 4:00 am. En las laderas caribeñas de Centroamérica y de las Indias Occidentales, las lluvias del verano decrecen brevemente durante el mes de julio y agosto.

El clima húmedo y seco tropical (Aw) tiene una menor precipitación y una estación más larga de sequía que el clima húmedo tropical (Ar). Generalmente ocurre entre

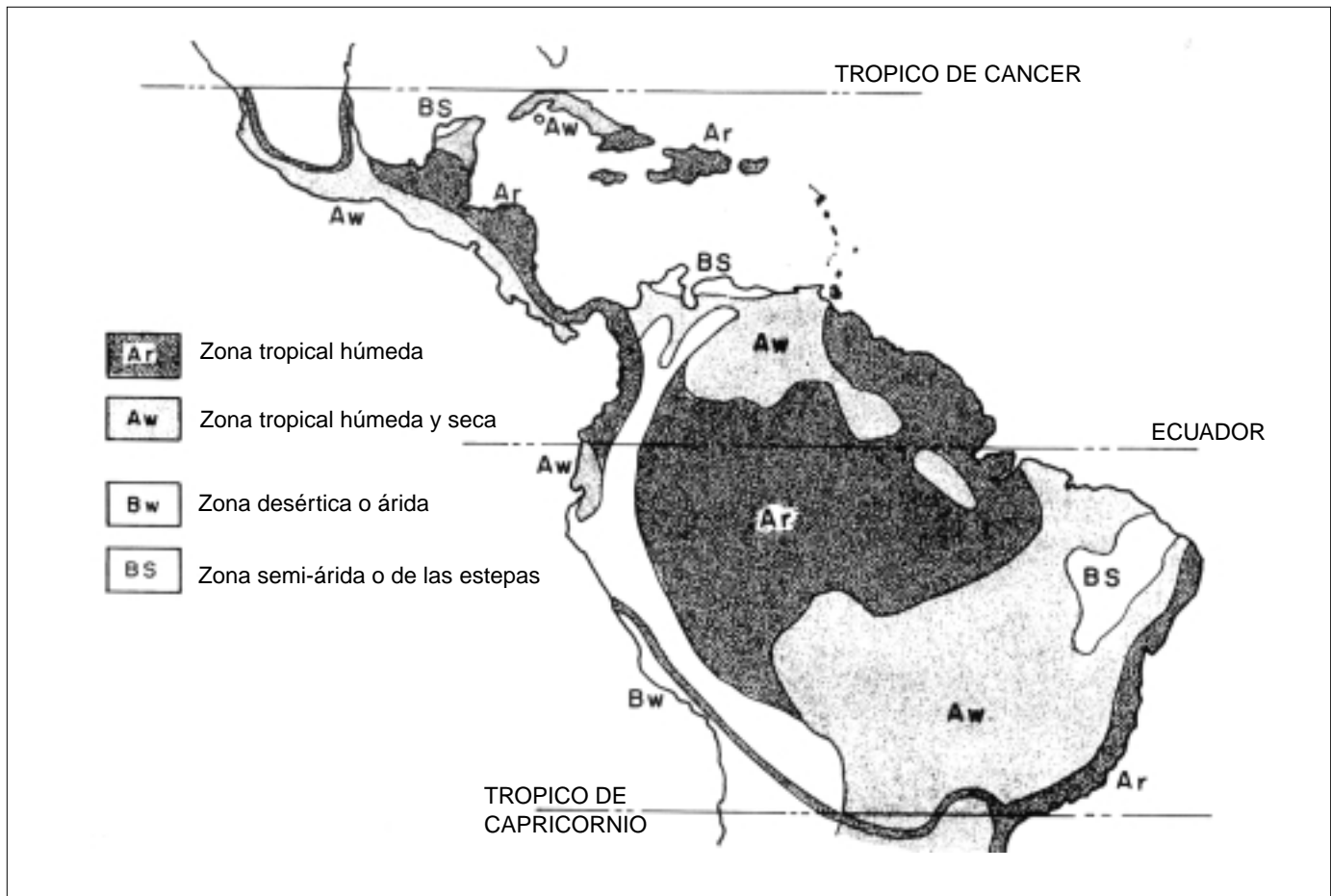
los 5° y 20° S. Los bosques pluviales de las zonas Aw se dispersan para dar lugar a bosques menos densos y más caducifolios, y a praderas llamadas "sabanas" donde los árboles se hallan dispersos. El cambio de vegetación ocurre gradualmente con el aumento de latitud. La estación más caliente por lo general precede al período de severas lluvias. La precipitación anual comúnmente es de 100 a 150 cm. La estación húmeda (clasificación Aw de Koeppen) se parece al clima de la clasificación Ar, pero para el resto del año se parece al clima desértico o árido (Bw).

Los campos del interior del Brasil, al sur del bosque pluvial, son la región más extensa del mundo con clima de tipo Aw. La precipitación se concentra en la estación de mucho sol. Los llanos de Venezuela y de Colombia constituyen una contraparte de los campos brasileños. Otras zonas con clima tipo Aw en la América tropical incluyen una pequeña sección en el litoral Pacífico de Ecuador, el litoral Pacífico de Centroamérica, la península del Yucatán y las islas de baja elevación de las Indias Occidentales.

#### Sistema de Thornthwaite

Thornthwaite (1948) aprobó el sistema de Koeppen para la definición de regiones climáticas según la distribución de la vegetación. Sin embargo, llegó a la conclusión (Thornthwaite y Hare 1955) de que no era útil como método de clasificación de climas forestales, ya que los valores de precipitación y temperatura no constituyen por sí solos parámetros climáticos para el control de la vegetación. Entonces, amplió la clasificación climática para incluir estimaciones de pérdida de agua por evapotranspiración posible, como saldo de la precipitación; esto es, la evapotranspiración que ocurriría si hubiera una disponibilidad adecuada de agua en forma continua. Thornthwaite y Hare (1955) enumeran cuatro factores responsables de la evapotranspiración:

- El suministro de energía externa a la superficie que se evapora (principalmente la radiación solar)
- La capacidad del aire de eliminar el vapor (que depende de la velocidad del viento, la estructura de la turbulencia y la disminución de la concentración de vapor con la altura)
- La naturaleza de la vegetación (especialmente su capacidad de reflejar la incidencia de radiación, ocupación del suelo y profundidad del sistema radicular)



**Fig. B-1.**—Zonas climáticas de Koeppen, según las modificaciones de Trewartha (1968) para el neotrópico

- La naturaleza del suelo (especialmente la cantidad de agua en la zona de las raíces).

La capacidad de la vegetación de reflejar la radiación (albedo), expresada como porcentaje de la radiación recibida, se midió en la zona templada en la década de 1920 (Angstrom 1925). Para las praderas, el albedo era de 0,26 (26%), 0,175 para los bosques de roble y 0,14 para los bosques de pino.

El potencial de evapotranspiración es un índice de la eficiencia térmica. La relación entre el logaritmo del potencial de evapotranspiración y el logaritmo de la temperatura es lineal; por consiguiente, la temperatura ajustada para el largo del día es una medida de la eficiencia térmica.

El primer paso para determinar el potencial de evapotranspiración, con base en el diagrama de

Thornthwaite, es determinar el “índice calórico” sumando los valores derivados del promedio de la temperatura de cada mes (Cuadro B-1). Una vez que se determina el índice calórico, la razón posible de la

**Cuadro B-1.**—Índices caloríficos del promedio de temperaturas mensual entre 10 °C y 30 °C

°C	Índice	°C	Index
10	2.9	22	9.4
12	3.8	24	10.8
14	4.8	26	12.1
16	5.8	28	13.6
18	7.0	30	15.1
20	8.2		

Fuente: Thornthwaite 1948.

evapotranspiración (no ajustada para el largo del día) se deriva de un diagrama para cada temperatura media mensual. Cada valor del potencial mensual de evapotranspiración no ajustado se multiplica por un factor del largo del día (Thorntwaite 1948).

A partir de estas relaciones, y asumiendo un almacenaje de 30 cm de agua en el suelo, Thorntwaite y Hare

(1955) desarrollaron un presupuesto de agua que incluye la evapotranspiración real mensual y los meses con déficit y excedente de agua. El resultado final se ilustra con la Fig. B-2. Durante cualquier mes del año, el agua puede ser deficiente o excesiva; parte del exceso puede servir para reaprovisionar el almacenaje del agua en el suelo antes de que ocurra un nuevo excedente.

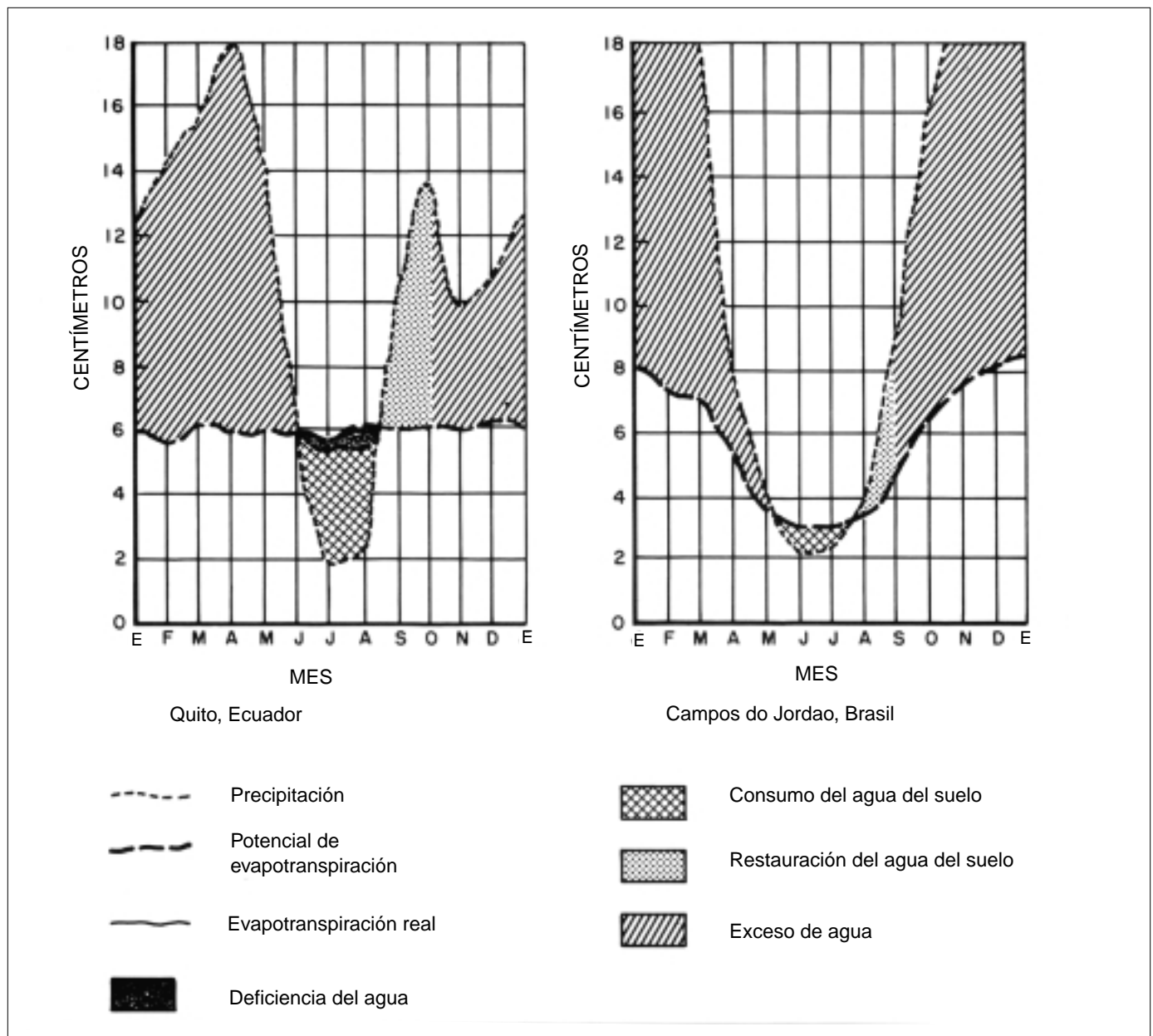


Fig. B-2.—Resultados de la aplicación de los procedimientos de Thorntwaite a dos climas (Golfari 1968b)

Thornthwaite desarrolló el índice de humedad (*Im*) del siguiente modo (1948):

$$Im = \frac{(100 s - 60 d)}{n}$$

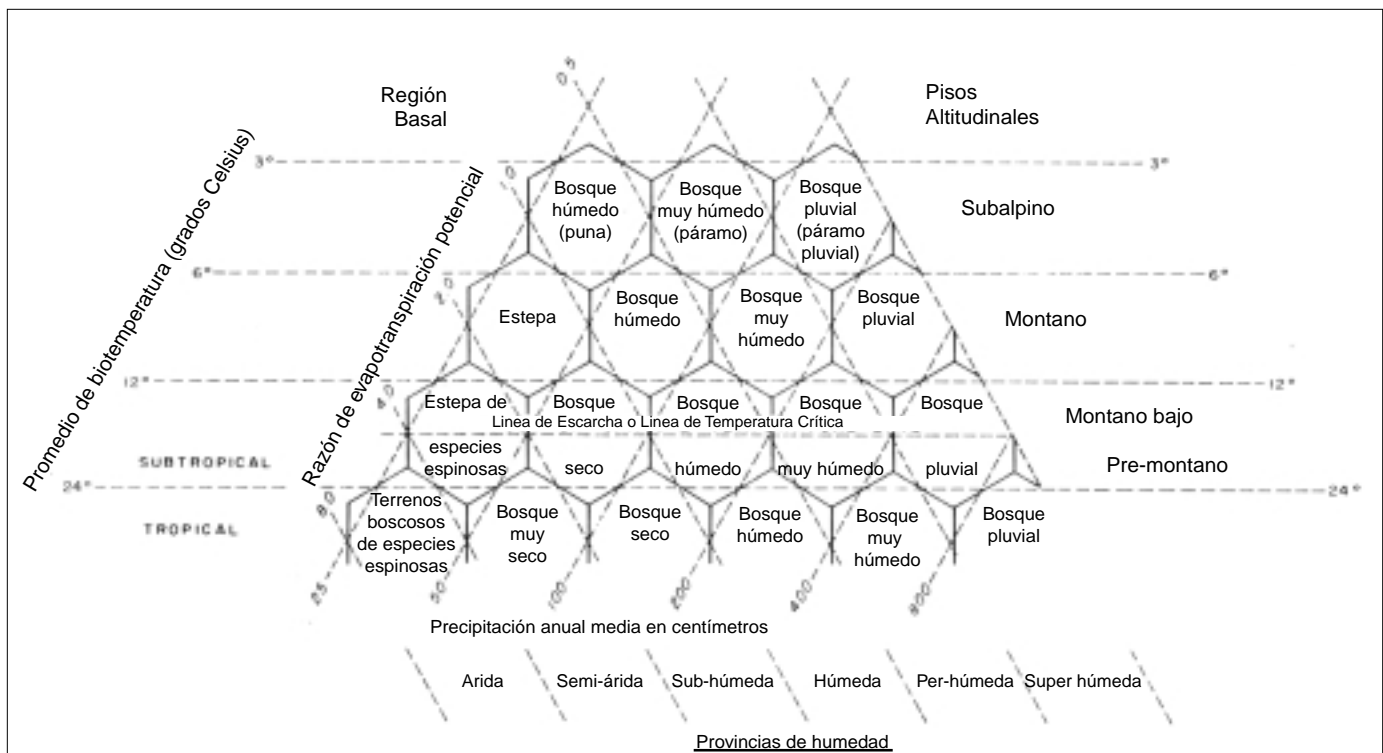
donde *s* = excedente anual de agua  
*d* = deficiencia anual de agua  
*n* = evapotranspiración anual potencial, o necesidad de agua

Así, los climas cuyo índice es de +100 o más se clasifican como per-húmedos; húmedos los climas cuyo índice varía de +20 a +100; sub-húmedos los climas cuyo índice varía de -20 a +20; semi-áridos los que presentan índices entre -20 a -40 y áridos los climas cuyo índice es menos de -40. Una debilidad del sistema es que el potencial de evapotranspiración se deriva sólo de los datos de temperatura. Los resultados no son siempre confiables, pero el sistema permite que se hagan estimados en situaciones en que no se pueden aplicar fórmulas más exactas (Cochrane y Sánchez 1981).

**El Sistema Holdridge**

Holdridge (1947) publicó un diagrama de clasificación de zonas de vida mundiales que, con subsiguientes modificaciones (Holdridge 1967), se ha aplicado en muchos países del neotrópico. Las zonas se definen mediante límites progresivos del promedio de precipitación anual y del promedio de la biotemperatura. Esta última se deriva para un año promedio, sumando todas las temperaturas por hora entre 0° y 30°C (los límites supuestos para el crecimiento de las plantas) y dividiendo por la cantidad total de horas en un año. La Fig. B-3 presenta un esquema del sistema para la región.

Todas las zonas tropicales de Holdridge tienen una biotemperatura que excede los 24°C; el promedio de las zonas sub-tropicales es de 18° a 24°C, y generalmente están libres de heladas. A bajas elevaciones (basales), estas dos zonas corresponden aproximadamente a los trópicos ecuatoriales y externos definidos en otras partes. Los trópicos basales se hallan a elevaciones que corresponden a biotemperaturas de aproximadamente 24° a 18°C (entre 500 a 1500 m). Una franja de altitudes montanas se encuentra a los 18°C, o 1500 m. Más arriba, entre los 18° y 12°C (de 1500 a 2500 m) se halla la zona baja montana, etc. Los terrenos de América



**Fig. B-3.** — Sistema de zonas de vida de Holdridge, con leves modificaciones

**Cuadro B-2.**—Superficie terrestre de Centroamérica distribuida en zonas de vida (miles de km<sup>2</sup>)

Franjas altitudinales	Superficie total por zona de precipitación					Porcentaje
	Muy seca	Seca	Húmeda	Muy Húmeda	Pluvial	
Tropical	6.2	98.5	171.8	9.5	0.0	60
Subtropical	0.0	16.6	64.5	72.9	0.8	32
Montano bajo	0.0	0.3	19.8	12.7	0.7	7
Montano	0.0	0.0	0.8	1.3	rastro	1
Subalpino	0.0	0.0	0.1	1.3	rastro	1
Porcentaje	1	25	54	20	rastro	100

Fuente: Budowski 1964b.

Central (sin contar Belice) en cada una de las zonas de vida se resumen en el Cuadro B-2 (Budowski 1964b).

Una de las ventajas principales del sistema de Holdridge es que está basado en parámetros climáticos que ya tenemos al alcance: la precipitación media anual y la biotemperatura. Esta última, sin embargo, requiere un registro de temperaturas por hora. Donde no se cuenta con ese dato, Holdridge da aproximaciones de biotemperatura para los trópicos externos mediante la siguiente fórmula (Holdridge 1978):

Biotemperatura =

$$\frac{t_{\text{media}}^{\circ\text{C}} - (0,3)(^{\circ}\text{latitud})(t_{\text{media}}^{\circ\text{C}} - 24)^2}{100}$$

donde, t°C = temperatura en grados Celsius.

El sistema de Holdridge difiere de los demás por su escala geoméricamente progresiva, porque confía principalmente en medias anuales (para describir un clima estacional), y por sus franjas altitudinales. Su gran cantidad de zonas complica el trazado de mapas a escala mundial. Sin embargo, se ha completado una serie de mapas a gran escala (1 : 250 000 a 1 : 1 000 000) para los países de Centroamérica, el Caribe y norte de Sudamérica. La Fig. B-4 es un mapa muy reducido de Puerto Rico que pertenece a esta serie (Ewel y Whitmore 1973).

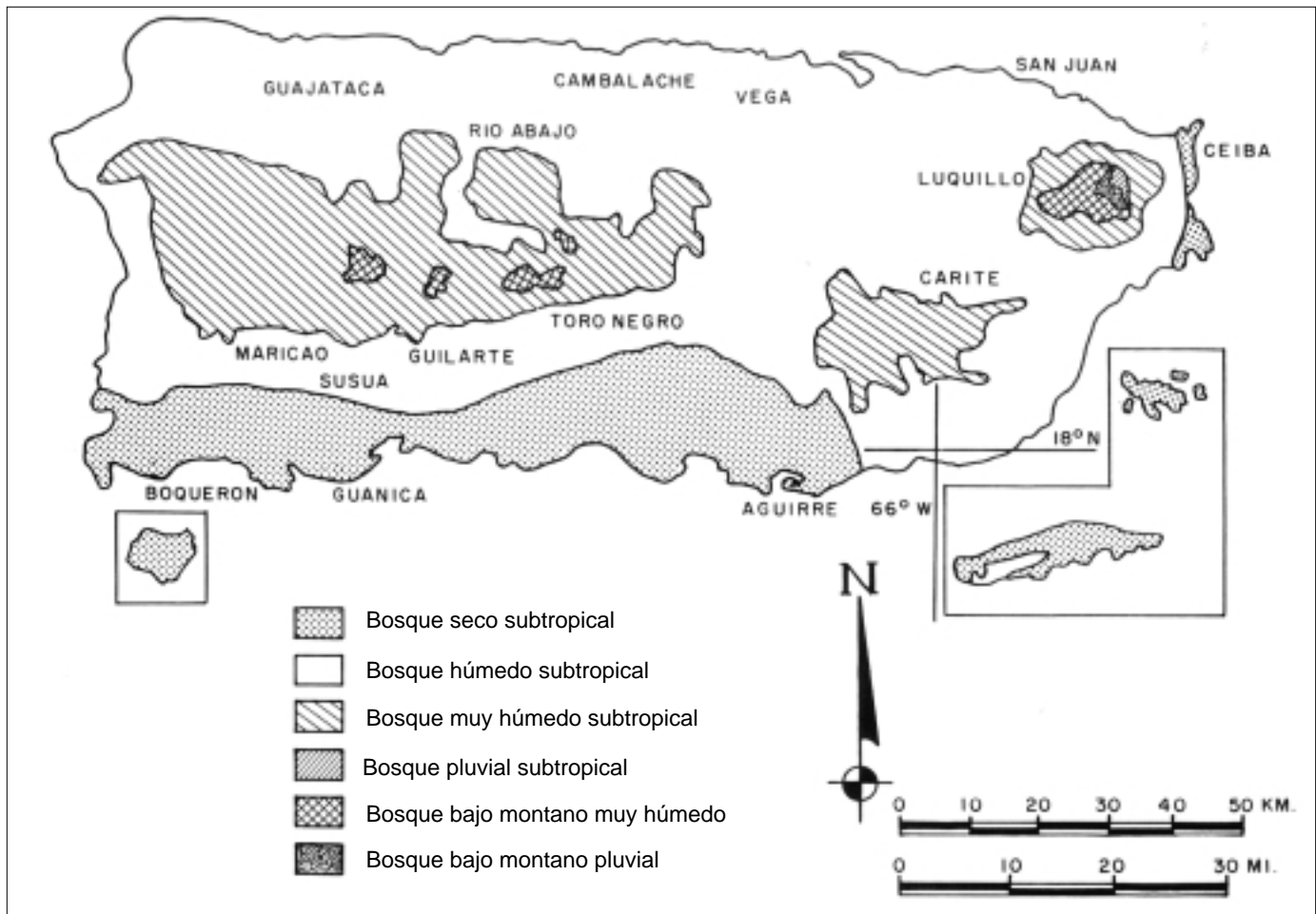
### Sistema de Walter

En 1964, Walter (1971) preparó un diagrama de los climas mundiales con láminas superpuestas de temperaturas y precipitaciones a escala vertical, en que los 10°C eran iguales a 20 cm de precipitación (Fig. B-5).

En estos diagramas, la estación se identifica en la parte superior, seguida por su elevación en metros. A la derecha se encuentran las medias de temperatura en grados Celsius y de precipitación anual en milímetros. La cantidad de años abarcados por el registro se indica debajo del nombre de la estación. En el borde inferior izquierdo se encuentra la temperatura media del mes más frío y por debajo, la temperatura mínima. La escala horizontal consiste de los meses del año, con la estación más calurosa en posición central (de naturaleza opuesta en los hemisferios sur y norte).

Las escalas verticales representan la temperatura (a la izquierda), a intervalos de 10 cm, y la precipitación mensual a intervalos de 20 mm (a la derecha); la escala se redujo a un décimo sobre 100 cm. La zona de puntos se define como de “sequía relativa”, mientras que la zona de líneas verticales se define como de “humedad relativa”. La zona en negro indica precipitación superior a 100 mm por mes. Este sistema demuestra el patrón estacional de disponibilidad de humedad, sin estimar el potencial de evaporación ni la capacidad de almacenaje de humedad en el suelo. Los mapas mundiales con diagramas para la mayoría de las regiones, acompañados por datos de elevación, temperatura promedio y precipitación anual, facilitan las comparaciones amplias del clima. Este sistema reconoce nueve zonas climáticas, dos de las cuales son claramente tropicales (Fig. B-6):

- I. Zona ecuatorial — entre los 10°N y 10°S, dos estaciones de lluvia, muy alta precipitación y humedad y poca variabilidad de las temperaturas.
- II. Zona tropical — de 10° a 30° N y de 10° a 30°S, la estación húmeda de verano coincide con (o algo más

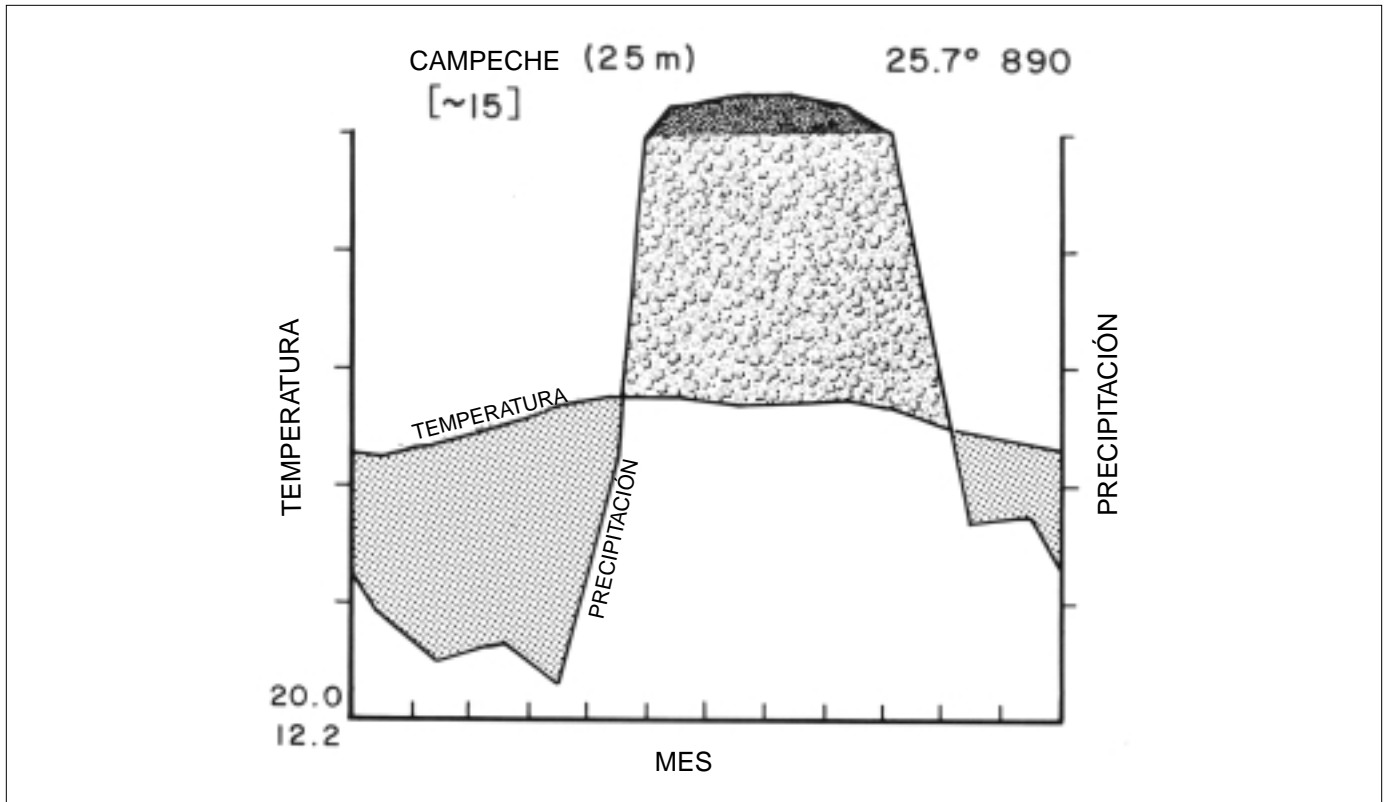


**Fig. B-4.**—Aplicación del sistema de zonas de vida de Holdridge a Puerto Rico (Ewel y Whitmore 1973)

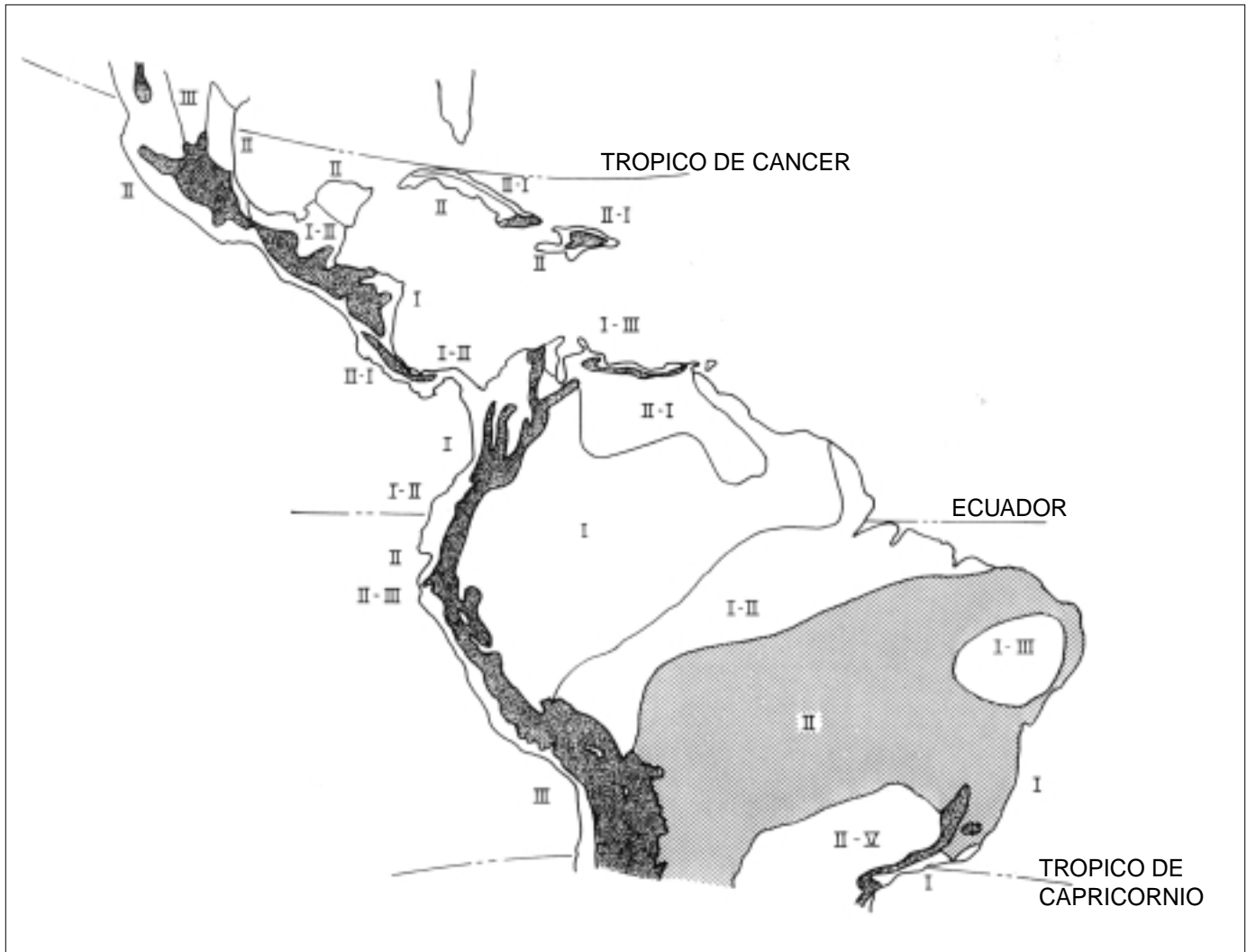
atrasada) que la latitud del sol; la precipitación decrece con la distancia al ecuador, por lo general libre de heladas.

Otras zonas que aparecen en el mapa de Walter incluyen la zona árida subtropical (III) y la zona templada caliente (V). Walter indicó que las

temperaturas medias decrecen con más rapidez hacia el sur que hacia el norte, a partir del Ecuador, aunque las diferencias estacionales se presentan con mayor lentitud debido al efecto amortiguador de la pequeña masa terrestre del hemisferio sur. Por la misma razón, las temperaturas aumentan tierra adentro con la distancia desde la costa.



**Fig. B-5.**—Ejemplo del diagrama de Walter de los climas mundiales (Walter (1971). Campeche = estación bajo monitoreo; 25,7 = temperatura media en grados Celsius; 890 = precipitación anual en milímetros; [~15] = número de años del registro; 25,0 = temperatura media durante el mes más frío; 12,2 = temperatura extrema mínima.



**Fig. B-6.**—De las nueve zonas climáticas reconocidas, cuatro se encuentran en Centroamérica y Sudamérica: I = zona ecuatorial; II = zona tropical; III = zona árida subtropical; IV = zona templada caliente (Walter 1971).