

LA CLASIFICACION NATURAL DE LOS CLIMAS

Pablo Schaufelberger *

INTRODUCCION

La meteorología dispone de varios sistemas para la clasificación del clima, pero ninguno cuenta con la aceptación general. El más conocido es el de Köppen (8), del cual dice Jorge A. Vivo en la traducción al español: " El sistema climatológico de Köppen es de uso corriente en Alemania y en Rusia. En Inglaterra, autores tan destacados como J. F. Unstead y E. G. R. Taylor, de la Universidad de Londres, le han dado cabida en sus manuales de geografía. Debido a una encuesta personal que hice sobre el uso que se da a este sistema en los Estados Unidos, pude comprobar, según correspondencia que obra en mi poder, que en los departamentos de geografía de las universidades que a continuación se enumeran también se utiliza con preferencia el sistema climatológico de Köppen, a saber: University of California, Cornell University, Harvard University, Clark University, Yale University, University of Wisconsin, The University of Oklahoma, University of North Dakota, North Western University, Indiana University, The University of Nebraska y Louisiana State University."

Sin embargo, J. Mohr (13) anota que el sistema de Köppen presenta algunas fallas al aplicarse en la zona tropical, pero la meteorología convencional no dispone actualmente de una clasificación mejor que pueda substituir la de Köppen.

* Ex-Jefe de la Sección de Pedología del Centro Nal. de Investigaciones de Café, Chinchiná, Colombia.

Por otra parte, los geógrafos y botánicos recomiendan la vegetación como criterio fundamental para evaluar el clima y han llegado a presentar mapas y cartas con "climas de estepa", de "sabanas" y de "bosques pluviales"; pero olvidan que la pedología no puede admitir esta clasificación porque es la clase de suelo la que propicia la formación de los bosques, las estepas y las sabanas.

Lang (9), geólogo y pedólogo del comienzo del presente siglo, distingue con su muy comentado y discutido "factor de lluvia" cinco climas diferentes, con un suelo peculiar en cada uno de ellos. Tales "climasoles" o suelos que se han formado por la influencia predominante del clima se han encontrado en Colombia (15) y en otras zonas geográficas del planeta sobre rocas ácidas (21), intermedias (16), básicas (17) y sobre loes y cenizas volcánicas (24). De esta manera se ha comprobado que la hipótesis de Lang es un hecho evidente, es decir es una ley de la naturaleza, aunque sea rechazada por los meteorólogos.

Finalmente se puede anotar que los agricultores colombianos tienen en forma intuitiva una clasificación del clima del país. Esto les permite decidir sobre los cultivos más apropiados que pueden establecer en cada región. Así, han aprendido a explotar la costa árida del Atlántico y la muy húmeda del Pacífico, los valles bajos y ardientes del Magdalena y el Cauca y las sabanas frías de las cordilleras. Es una clasificación que los labradores han adoptado fácilmente y en forma natural.

La clasificación del clima en Colombia

Los colombianos distinguen fácilmente los siguientes pisos térmicos, que fueron definidos por Caldas: 1^a Tierra caliente, 2^a tierra templada, 3^a tierra fría, 4^a páramo y 5^a tierra helada. Naturalmente que en cada una de estas zonas se pueden distinguir regiones muy secas, secas, húmedas y muy húmedas. Se presume que posiblemente los incas utilizaban esta estratificación del clima porque ellos tenían una agricultura tecnificada y bien desarrollada.

Climas de altura

Al principio del año 1802 se reunieron en Quito el sabio alemán Alejandro Humboldt, su compañero el francés Aimé Bonpland y el colombiano Francisco José de Caldas. Estos ilustres naturalistas disponían de una copiosa información relativa a las alturas sobre el nivel del mar y las temperaturas de las regiones y así pudieron fijar los pisos térmicos de los Andes tropicales con las temperaturas anuales promedio de 24, 18, 12 y 6 °C. Caldas comunicó estas determinaciones a sus compatriotas y se han conservado hasta nuestros días sin modificaciones. A la vez Humboldt enteró a los naturalistas europeos sobre lo convenido con los pisos térmicos tropicales, incluyendo la designación en castellano, habiéndose mantenido hasta hoy sin menoscabo. La comprobación en Colombia de las ideas de Caldas fue realizada por Hettner (4) entre 1882 y 1884, quien estudió los climas de altura en la Cordillera Oriental. Este científico confirmó la disminución de la temperatura con el aumento de la altitud, habiendo podido establecer que a una altura de 1000 metros sobre el nivel del mar correspondía una temperatura media de 23.8 °C, a 2000 metros 18 °C, a 3000 metros 12.7 °C y a 4000 metros solamente 7.0 °C.

En esta forma Humboldt, Bonpland y Caldas fijaron los pisos térmicos por las temperaturas medias anuales y Hettner las relacionó preferentemente por la altura sobre el nivel del mar.

Aplicando esta sistematización del clima a la zona cafetera, se observa que ésta se halla en la tierra templada del trópico o sea la región que está delimitada entre 24 y 18 °C y naturalmente con diferentes alturas. En Costa Rica y en la Sierra Nevada de Santa Marta, Colombia, la zona cafetera está localizada entre 600 y 1600 metros; en el Departamento de Nariño, Colombia, se encuentra entre 1200 y 2200 y en la república del Ecuador entre 500 y 1500 metros, lo cual indica que la temperatura no es una función simple de la latitud sino también de las influencias locales.

Según R. Bach (1) las temperaturas promedio anual de 16, 12,8 y 4 ° C delimitan los pisos térmicos de los Alpes en la zona templada, demostrando que la zona geográfica es la que señala la graduación de los pisos térmicos.

Humedad

Es bien sabido que el efecto de la misma precipitación es diferente según la localidad. En Colombia, las ciudades de Bogotá, Cali y Barranquilla reciben una precipitación anual de 1000 mm., pero en la sabana de Bogotá los cultivos no necesitan irrigación, en cambio en el Valle del Cauca es necesario en muchas plantaciones y en la Costa Atlántica sin riego no se puede cultivar la tierra. Este ejemplo destaca que el mapa pluviométrico de Colombia es diferente del climático.

Transeau (11) define la humedad por la evapotranspiración o sea la relación entre la evaporación anual (E) dividida por la precipitación anual (P). Este autor distingue las siguientes humedades:

Humedad	Evapotranspiración
Desértica	$32 < \frac{E}{P}$
Superárido	$32 > \frac{E}{P} > 16$
Perárido	$16 > \frac{E}{P} > 8$
Arido	$8 > \frac{E}{P} > 4$
Semiárido	$4 > \frac{E}{P} > 2$
Sub-húmedo	$2 > \frac{E}{P} > 1$
Húmedo	$1 > \frac{E}{P} > 0.5$
Perhúmedo	$0.5 > \frac{E}{P} > 0.25$
Super-húmedo	$0.25 > \frac{E}{P}$

La figura 1 muestra con un diagrama la división del plano en dichas humedades.

A. Penck (10) define la humedad por el inverso del factor de Transeau o sea la precipitación anual (P) dividida por la evaporación (E) y al efecto distinguen dos climas como se indica en la figura 2 y en el cuadro siguiente:

Clima	Factor de Penck
Arido	$E > P$
Húmedo	$E < P$

R. Lang (9) propone el factor de lluvia (FL) para medir la humedad, que es el cociente de la precipitación anual en milímetros por la temperatura media anual en °C. El supone que se forman los siguientes climasoles o tipos de suelo climáticos, según los "factores de lluvia" que se indican en el siguiente cuadro:

Tipos de suelo	Factores de lluvia
Cactusol	$40 > FI$
Guaduasol	$40 < FI < 60$
Humosol	$60 < FI < 100$
Forestsol	$100 < FI < 160$
Selvasol	$160 < FI$ *

La figura 3 muestra con un diagrama la división del plano en dichos suelos. Estos climasoles se han localizado en el territorio de Colombia y en otras zonas del mundo. Se pueden caracterizar en forma muy general diciendo que son suelos bien drenados y cubiertos de bosques. Son pobres en bases de cambio, debido a la lixiviación, y el factor de lluvia determina el tenor de humus y el índice de deslave (15, 16, 17, 21, 23).

Este sistema de Lang se puede combinar con el propuesto por Caldas, Humboldt, Bonpland y Hettner tal como se muestra en la figura 4. Para el trópico, resultan ahora 25 tipos climáticos matemáticamente definidos. Las variables independientes que se han tomado para hacer esta segregación son a) la zona, b) la temperatura media anual y c) el factor de lluvia anual.

También se observa en la figura 1 de Transeau y en la 2 de Penck que no se pueden incluir las isotermas de 24, 18, 12 y 6 °C porque se necesitaría para ello un sistema tridimensional, o sea que los climas de altura no pueden combinarse matemáticamente según estos sistemas.

* El factor de Lang es una hipótesis para la Pedología pero varios autores lo usan para la definición de la humedad.

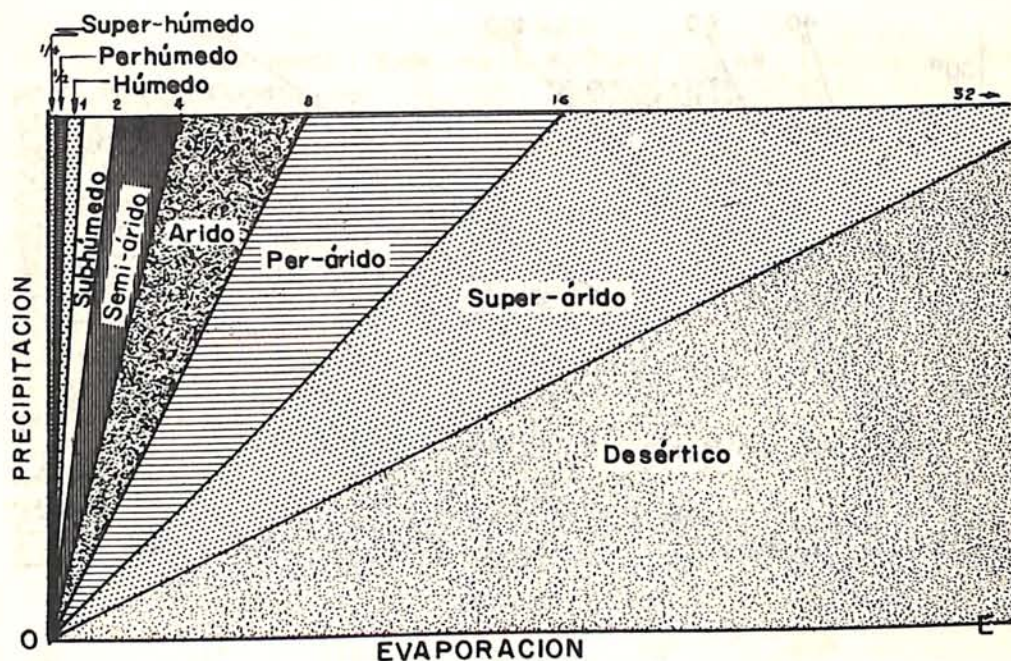


Fig. 1) Evapotranspiración de Transeau = $\frac{\text{Precipitación}}{\text{Evaporación}} = \frac{P}{E}$

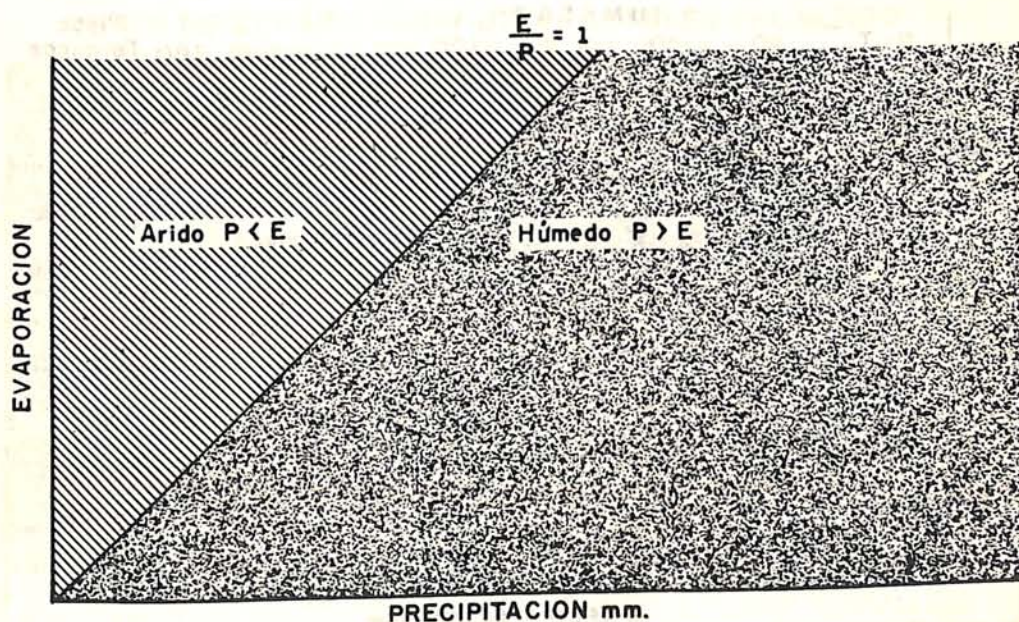


Fig. 2) Climas húmedos y áridos, según PENCK = $\frac{\text{Evaporación}}{\text{Precipitación}} = \frac{E}{P}$

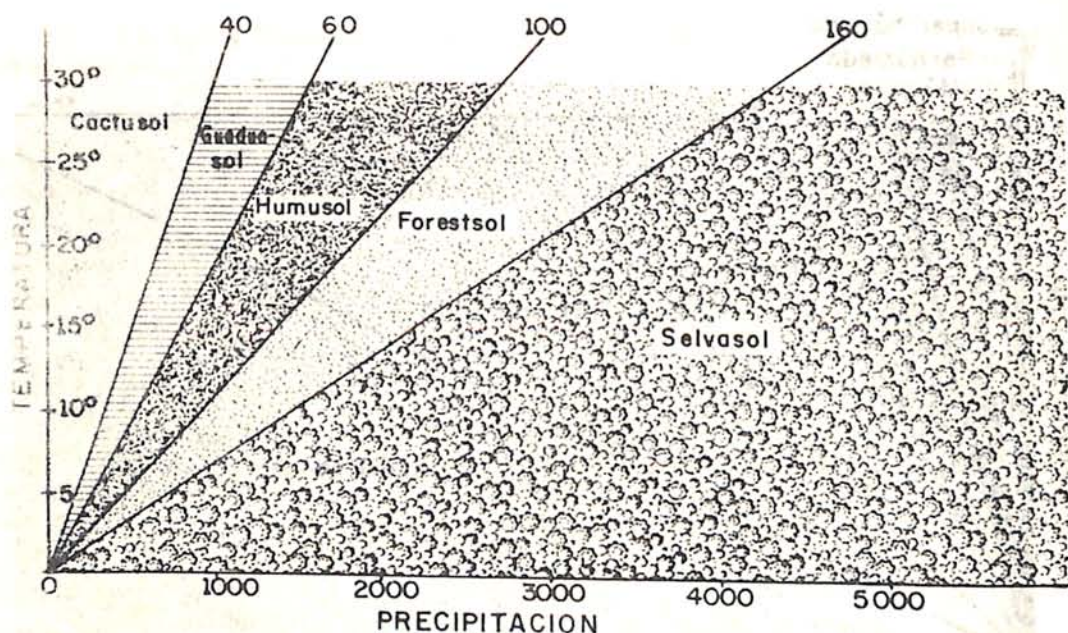


Fig. 3) Factor de lluvia de LANC₂ = $\frac{\text{Precipitación}}{\text{Temperatura}} = \frac{P}{T}$ y formación de climasoles

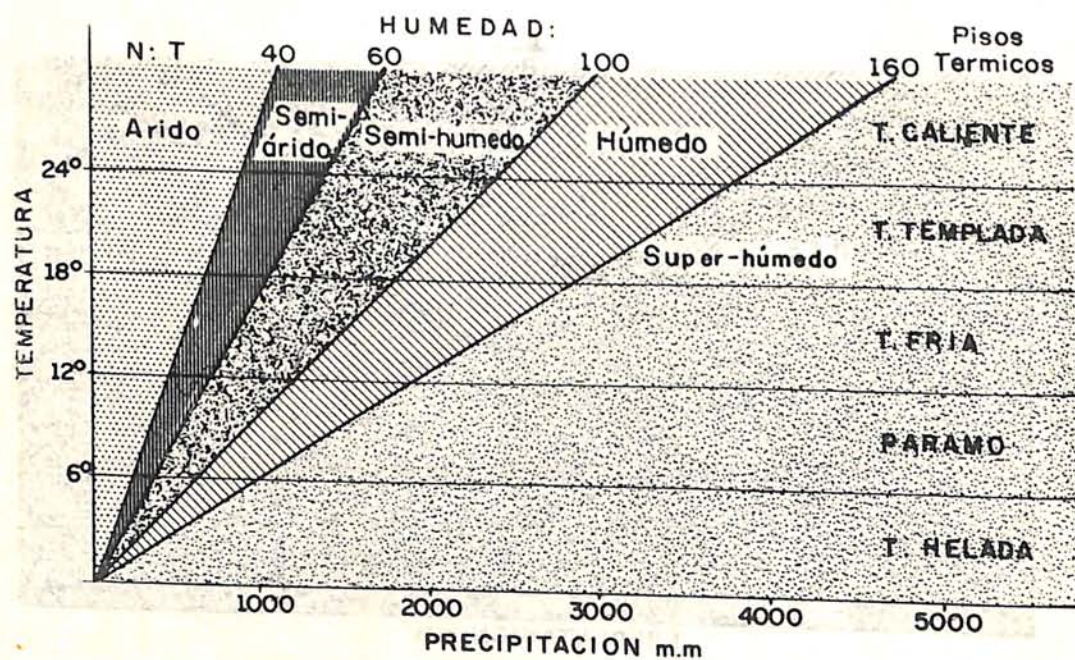


Fig. 4) Los pisos térmicos tropicales y los factores de lluvia.

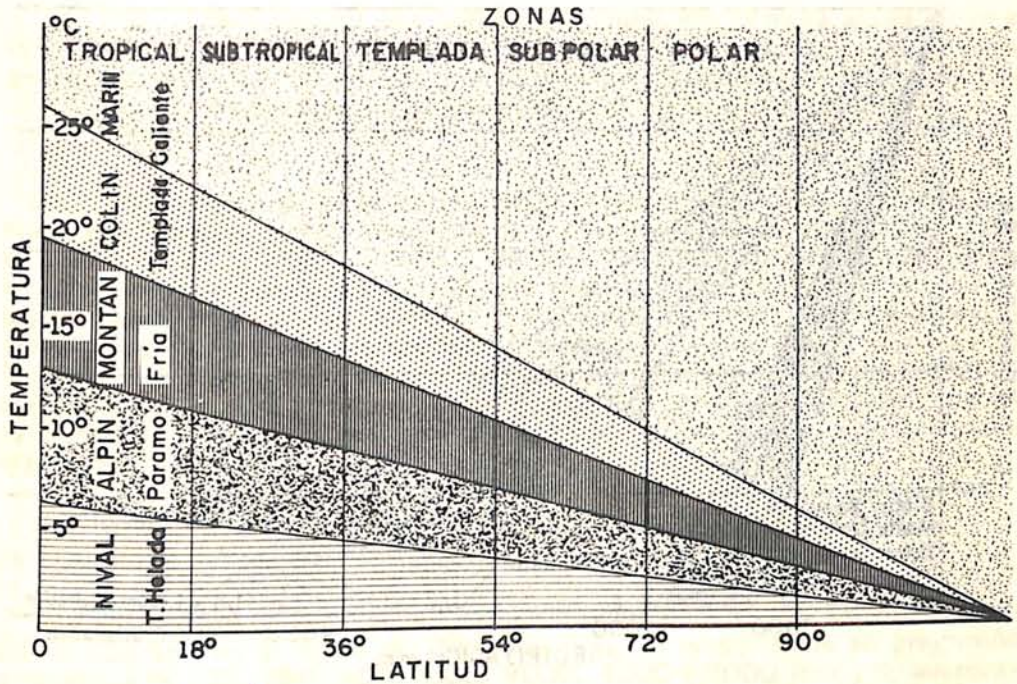
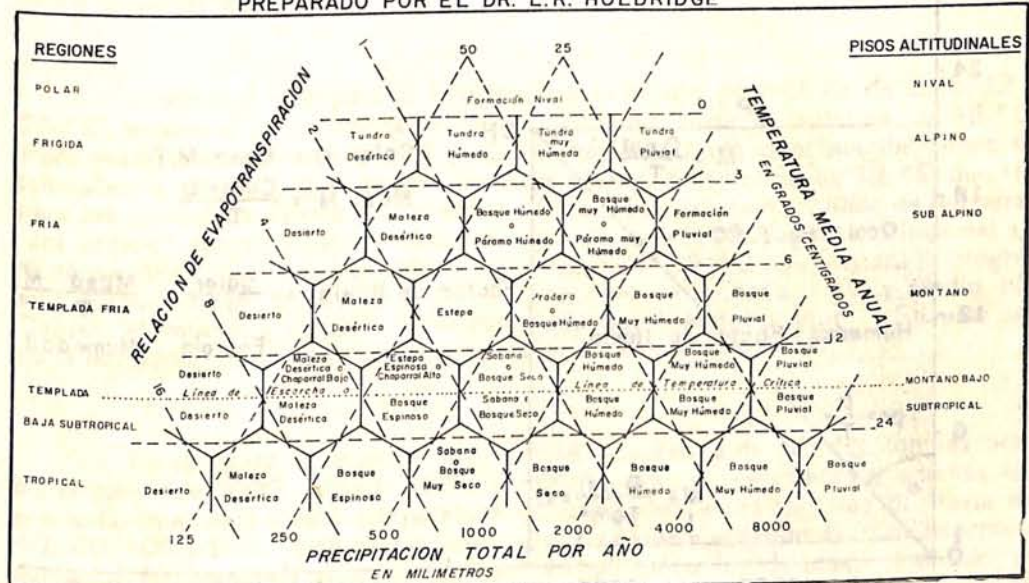


Fig. 5) Zonas Geográficas y sus pisos térmicos

figura 6.

CLAVE DE CLASIFICACION DE VEGETALES DEL MUNDO
PREPARADO POR EL DR. L.R. HOLDRIDGE



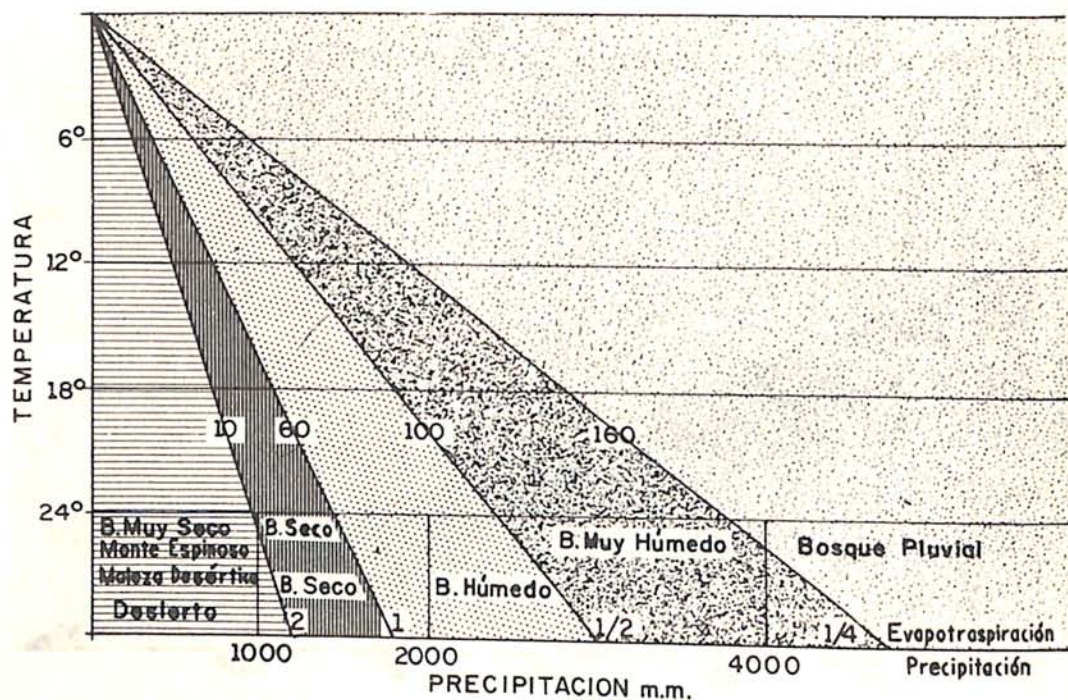


Fig. 7) Los pisos térmicos tropicales, los factores de lluvia y sus vegetaciones, según Holdridge, para la tierra caliente.

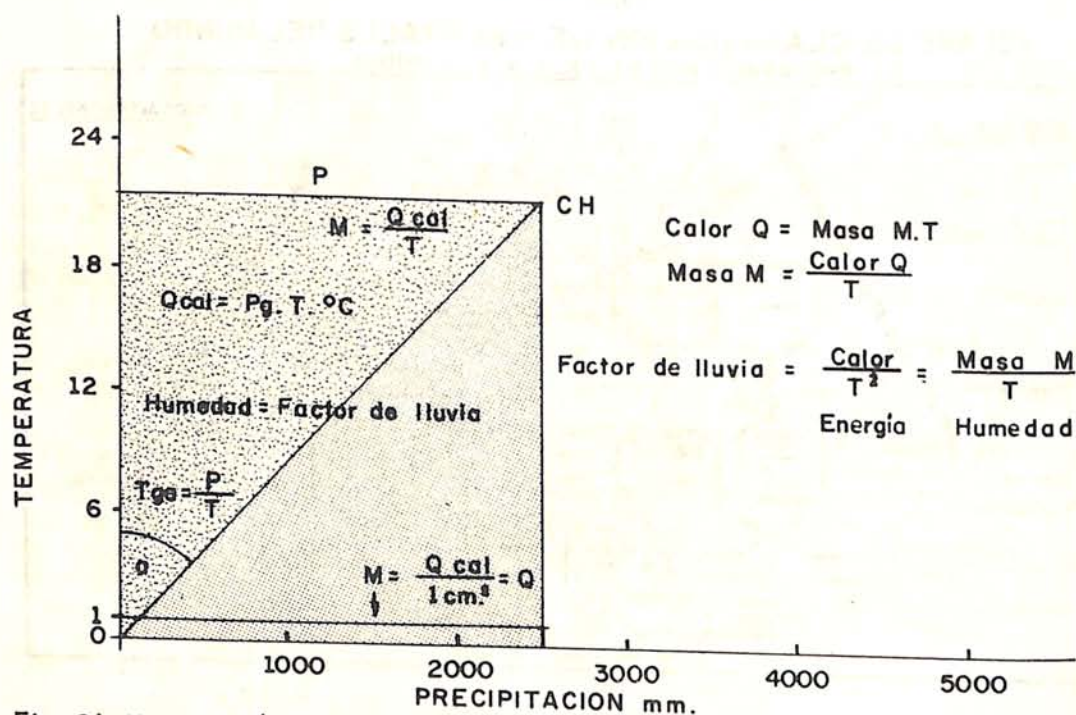


Fig. 8) Termo-dinámica de la precipitación y su relación con la humedad

En la zona tropical, la clasificación natural del clima se ajusta mejor a la proposición de Caldas, Humboldt, Bonpland, Hettner y Lang. Los estudios geológicos, petrográficos, de agroquímica y química analítica confirman este hecho aunque los meteorólogos y en parte los pedólogos la rechazan.

En la figura 5 se indica la dependencia que hay entre los pisos térmicos y la latitud, según observaciones de Caldas en el trópico y de R. Bach (25) en los Alpes de la zona templada. Tomando la latitud y la temperatura media anual el diagrama nos da la zona y el piso térmico. La temperatura y la precipitación determinan, como lo indica la figura 3 la humedad. Con la latitud, la temperatura media anual y la precipitación se puede ahora fijar el clima en las figuras 3 y 5. Si se trata de localidades de una sola región o latitud, puede usarse la figura 4 para el trópico, pero para la zona templada habría que elaborar otro diagrama con los mismos factores de lluvia pero con los isotermas anuales de 4, 8, 12 y 16 °C.

La propuesta de Holdridge

Holdridge (56) propone una clasificación de la vegetación mundial según el diagrama de la figura 6. Este autor usa la precipitación en progresión geométrica de 125, 250, 500, 1000, 2000, 4000 y 8000 mm. y la temperatura en la progresión geométrica parcial de 24, 12, 6 y 3 °C. La relación de evapotranspiración está señalada sobre la línea de precipitación de 62.5 mm. e indica que la evaporación aumenta con la temperatura en el clima árido. La inclusión en el diagrama de la variable evapotranspiración lo hace ininteligible, porque cada uno de sus puntos es función solamente de la precipitación total por año y la temperatura media anual.

Holdridge usa para la temperatura la escala geométrica de 3, 6, 12 y 24 °C, entonces la portadora de la precipitación sería la isoterma de 48 °C. Pero entre las isotermas de 24 y 12 °C hay una recta denominada "línea de temperatura crítica", que parece corresponder a la isoterma de 18 °C que separa los climas tropicales en calientes y fríos. La expresión "línea de temperatura crítica" resulta bastante arbitraria puesto que la temperatura crítica del aire es de -140 °C. Intercalando la temperatura de 18 °C se obtendrá la progresión aritmética de 6, 12, 18 y 24 °C, recomendada hace siglo y medio por Caldas, Humboldt y Bonpland y comprobada por Hettner y Mohr. En este caso la portadora de la precipitación sería la isoterma de 30 °C.

En la figura 7 tenemos como base la isoterma de 30 °C con las precipitaciones de 1000, 2000, 4000 y 8000 mm. de Holdridge y además las precipitaciones que a esta temperatura corresponden a los factores de lluvia de 40, 60, 100 y 160. Las rectas entre estos puntos y el punto 0 °C corresponden a los factores de lluvia, los cuales fijan las cinco humedades. También se adiciona las temperaturas medias anuales de 24, 18, 12 y 6 °C y entonces se obtiene en cada piso térmico cinco humedades. Para la tierra caliente resultan las siguientes relaciones entre los sistemas de Holdridge y de Lang.

Holdridge	Lang
Bosque Pluvial	FL >160
Muy húmedo	160 a 100
Húmedo	100 a 60
Seco	60 a 40
Muy seco	< 40
Además: espinoso, maleza desértico y desierto.	

Los bosques con humedades mayores de 60 son verdes durante todo el año y botan sus hojas permanentemente. Los bosques secos y muy secos que están sin hojas durante el verano, se pueden localizar en las regiones con factores de Lang inferiores a 60. Woodring (26) describe en el clima árido de Haití un bosque con *Cercidium praecox*, un bosque espinoso, sabanas y vegetaciones haloíticas. La misma variación de las vegetaciones pueden observarse en el clima semiárido de Costa Rica, con bosques monsonicos, de mangle, sabanas y pantanos. Estos ejemplos destacan el hecho de que la clasificación de Holdridge puede ser usada con el criterio de Caldas, Humboldt, Bonpland, Hettner y Lang, eliminando la "evapotranspiración".

Para terminar, se muestra claramente en la figura 7 que el mapa ecológico que se comenta es más bien un mapa climático. Lang anota que los "climasoles" se forman solo en condiciones óptimas de ambiente, es decir, bajo bosques después de un tiempo largo y en terrenos muy bien drenados.

En el mapa de Holdridge, la presencia de los bosques y las consideraciones sobre los variables que se usan en la elaboración del diagrama, demuestran que los factores que mejor definen el clima son: la zona, la temperatura media anual y la humedad expresada por el factor de Lang.

La propuesta de Lauer

Lauer (10) propone una clasificación botánica del clima para el trópico. Se denominan climas secos o de estepa cuando los 12 meses del año son áridos, húmedos o de sabana cuando 6 meses son secos y 6 húmedos, o de bosque húmedos cuando los 12 meses del año son húmedos. Esta hipótesis se puede demostrar fácilmente ya que en la zona tropical es factible localizar regiones con la distribución de la lluvia que antes se indica. En áreas de gran tamaño se presentan complicaciones para su aplicación.

Lauer califica los meses áridos y húmedos según la proposición de Penck, es decir por la precipitación y la evaporación, pero hace los cálculos con la modificación de De Martonne, que consiste en agregar 10 °C al valor de la temperatura. Los procedimientos de Lang y De Martonne llevan a la misma conclusión, para diferenciar los meses áridos de los secos. Por ejemplo, para el clima árido, según De Martonne se obtendría un valor de 20 o inferior al aplicar la siguiente fórmula:

$$\text{Indice de De Martonne} = \frac{12 p}{t + 10}$$

siendo p la precipitación mensual y t la temperatura promedio mensual. Para el mismo clima árido tomando el factor mensual de Lang, se tendrían valores inferiores a 3.3 si se aplica la siguiente fórmula:

$$\text{Factor mensual de Lang} = \frac{p}{t}$$

en esta fórmula p es la precipitación mensual y t la temperatura promedio mensual.

Lauer clasificó según su método los climas de Bogotá, Medellín, Buenaventura y obtuvo los resultados del cuadro siguiente:

Localidad	Altura (m)	Precipitación (mm)	M e s e s		Tipo de clima (Código de Lauer)
			áridos	húmedos	
Bogotá	2651	938	0	12	Taefd
Medellín	1538	1550	0	12	Taefd
Buenaventura	12	7128	0	12	Taefd

Es decir que las tres localidades anotadas presentan el mismo clima según este método de clasificación.

Si se aplica ahora el sistema del factor de lluvia anual a estas mismas localidades y se agregan Tunja y Pasto se tienen los resultados del cuadro siguiente:

Localidad	Precipitación (mm)	Temperatura (°C)	Factor Lluvia	Clasificación
Bogotá	938	14	67	Tierra fría, semi-húmeda
Medellín	1550	21	74	Tierra templada, semi-húmeda
Buenaventura	7128	27	264	Tierra caliente, muy húmeda
Tunja	794	13	57	Tierra fría, semi-árida
Pasto	718	14	51	Tierra fría, semi-árida

Esta caracterización del clima sí está de acuerdo con la realidad, porque define muy bien las condiciones de Bogotá, Medellín y Buenaventura que son muy diferentes. Además, todos saben que los trigales de la sabana de Bogotá, Tunja y Pasto se hallan en el mismo tipo climático que es la tierra fría y semi-árida.

La experiencia en el trópico y las relaciones matemáticas indican que los factores primordiales de la clasificación del clima son la zona, la temperatura promedio anual y el factor de lluvia.

Clasificación de Gracanin

El yugoslavo Gracanin (3) recomienda como factores climáticos la temperatura media y el factor de lluvia mensual. En ciertos aspectos, esta clasificación es dinámica ya que considera la oscilación de las temperaturas y la distribución de la lluvia. Por medio de Δt , que es la diferencia entre el mes más caliente y el más frío, se conoce si un clima es oceánico o continental

En este sistema el clima se designa por tipos y alianzas. El tipo depende de la zona, la temperatura, promedio anual, y la humedad. Para la alianza se incluye el valor Δt .

El cuadro siguiente presenta la clasificación del clima de algunas localidades de Rusia y Alemania correspondientes a la región del Chernosem o tierra negra.

Clasificación del clima en algunas regiones de Rusia y Alemania

Localidad	Precipitación (mm)	Temperatura (°C)	Factor Lluvia	Δt	Humedad y clasificación de la alianza
Simbirsk	409	2.8	149	34	Húmedo continental
Samara	361	4.2	86	35	Semi-húmedo, continental
Pena	465	4.2	111	32	Húmedo, continental
Wolsk	506	4.9	103	35	» » » »
Tambow	506	4.8	105	32	» » » »
Orel	541	4.9	110	30	» » » »
Saratow	371	5.6	66	33	Semi-húmedo, continental
Woronesch	532	5.3	100	31	» » » »
Charkow	450	6.7	67	29	» » » »
Poltawa	501	7.1	70	29	» » » »
Luganj	389	7.7	51	31	Semi-árido, continental
Colonia	696	10.2	68	18.1	Semi-húmedo, oceánico
Breslau	592	11.0	54	19.9	Semi-árido oceánico
Magdeburgo	508	9.1	56	18.3	» » » »
Hannover	644	9.0	73	16.7	» » » »

Los valores de Δt indican que Rusia tiene un clima continental, en cambio el de Alemania es oceánico. Los factores de lluvia o de Lang en Alemania varían entre 54 y 73 y en Rusia entre 51 y 149. El Chernosem de Alemania tiene un 3 por ciento de humus, aproximadamente y el de Rusia está entre 3 y 16 por ciento. El factor de lluvia anual explica fácilmente esta diferencia. Es interesante anotar, además que las estaciones climáticas en Rusia tienen una precipitación inferior a las de Alemania, pero los factores de lluvia son superiores porque las temperaturas promedio del año son más bajas. Los textos de pedología reconocen el hecho de que en Rusia aumenta el humus en los Chernosem desde el sur hacia el norte del país, pero ellos no tienen una explicación para ese fenómeno.

Los periodos de Brückner

Sobre los periodos de Brückner, A. A. Miller (12) anota: "Existen otros ciclos que se deducen del estudio empírico de diversos fenómenos pero cuya causa es desconocida. El más conocido es el ciclo de Brückner de 35 años, que siguen (aunque con muchas irregularidades) una gran variedad de fenómenos, tales como el avance y retroceso de los glaciales alpinos, las fechas de congelación y de deshielo de los ríos rusos, las variaciones de nivel del Caspio y de los ríos que desembocan en él, la fecha de la recolección de la uva y la abundancia de la cosecha de trigo. Parece que hay alternancias irregulares de frío, de periodos húmedos con calor, de periodos de sequedad, especialmente en los climas templados fríos continentales, que pueden considerarse como fluctuaciones de la distancia a que llega la influencia marítima".

Sin duda alguna se trata de un primer ensayo para fijar la periodicidad del clima y por lo tanto pueden surgir modificaciones a medida que aumenta el conocimiento que se tiene del ambiente. Originalmente la meteorología rechazó el concepto de la periodicidad del clima, pero hoy en día es aceptado.

Clasificación natural del clima.

Se puede recapitular en el cuadro siguiente la clasificación que hacen del clima los geólogos, botánicos y pedólogos.

Clasificación natural del clima

Categoría	Denominación	Definición	Autores
I Zona	Zona climática	matemáticamente	Antigüedad
II Orden	Piso térmico	Temperatura media anual	Caldas, Humboldt, Bonpland, Hettner, Mohr, Bach
III Tipo	Humedad	Factor de lluvia anual	Lang
IV Alianza	Oscilación de la temperatura	Temperaturas promedio mensual	Gracanic
V Grupo	Distribución de lluvia	Factor de lluvia mensual	Gracanic
VI Especie	Periodicidad	Número de años	Brückner

En esta clasificación no hay innovaciones, excepto el orden de los conceptos. Lauer y Gracanin usan el factor de lluvia mensual, que da la distribución de la lluvia. Este factor climático caracteriza la categoría V pero no la III, la cual necesita el factor de lluvia anual.

Los agricultores colombianos designan el clima por la temperatura media anual y la humedad. Sus verdaderos factores climáticos son tres: la zona, la temperatura y la humedad. Gracanin usa las definiciones de las categorías IV y V del cuadro anterior y presume que las características del tipo son constantes en el área que se estudia. De aquí se concluye que la experiencia de Caldas, Humboldt, Bonpland, Hettner y Lang por una parte, de Gracanin por otra, se complementan. Lo mismo puede decirse de Holdridge y de Lauer; pues los conocedores del clima tropical dan preferencia a los factores climáticos anuales y los investigadores de la zona templada a los promedios mensuales. La experiencia indica que se podrían aprovechar ambas ideas.

Las definiciones de Flohn

El alemán H. Flohn (2) define la meteorología como física de la atmósfera y la climatología como estadística meteorológica. Ahora se puede contestar a la siguiente pregunta: Qué clima tiene este lugar?. La otra pregunta: Por qué tiene esta localidad tal o cuál clima?. La tiene que responder la meteorología y no la climatología.

Para la clasificación del clima se necesita la zona, que es un concepto matemático, el tiempo en años y meses, la masa, el calor de la lluvia y la temperatura.

Así la clasificación de Caldas, Humboldt, Bonpland, Hettner, Lang y Gracanin corresponden a las definiciones de la meteorología y la climatología que da Flohn.

Clasificación general de Koch

L. E. Koch (7) propone un sistema general de clasificación. Este autor coloca los objetos para clasificar en el centro de un tetraedro y luego los reparte en sus cuatro vértices. Estos a su vez se hallan en el centro de octaedros y en sus seis vértices se encuentran las definiciones que caracteriza cada uno de los objetos.

El sentido común distingue climas fríos y calientes, secos y húmedos. Por combinación resultan los siguientes climas:

- 1.- Frío y seco
- 2.- Frío y húmedo
- 3.- Caliente y seco
- 4.- Caliente y húmedo

Tales pares se hallan en las vértices del tetraedro de Koch y cada par puede definirse con las siguientes seis características:

- 1.- Zona
- 2.- Temperatura media anual
- 3.- Factor de lluvia anual
- 4.- Temperatura promedios mensuales
- 5.- Factores de lluvia mensuales
- 6.- Periodicidad

Es decir la clasificación del clima por Caldas, Humboldt, Bonpland, Hettner, Lang, Gracanic y Brückner está de acuerdo con la de Koch que es un concepto general.

Qué es factor de lluvia?

Lang define así el factor de lluvia = $\frac{\text{precipitación anual en mm.}}{\text{temp. media anual en } ^\circ\text{C}}$

La meteorología mide la altura de la lluvia en milímetros o sea décimas de centímetros. Pero la geología y la hidrología hacen los cálculos con el volumen, es decir, con litros por metro cuadrado o expresado físicamente $0.1 \text{ cm}^3 \times \text{cm}^2$. Este volumen corresponde a la masa de $0.1 \text{ gr.} \times \text{cm}^2$ y a 1°C al calor de $0.1 \text{ calorías} \times \text{cm}^2$. Según las leyes de la física y expresando estas fórmulas en unidades absolutas se tendría:

Calor de la lluvia anual $Q \text{ calorías} \times \text{cm}^2 = \text{Masa de lluvia anual } M \text{ en gr.} \times \text{cm}^2 \times T \text{ } ^\circ\text{C}$.

Masa de lluvia anual $M \text{ gr.} \times \text{cm}^2 = \frac{\text{calor de lluvia anual } Q \text{ calorías}}{\text{cm}^2 \times T \text{ } ^\circ\text{C}}$

Factor de lluvia = $\frac{\text{Masa anual de lluvia } M \text{ gr.}}{\text{cm}^2 \times T \text{ } ^\circ\text{C}} = \frac{\text{calor de lluvia anual } Q \text{ calorías}}{\text{cm}^2 \times (T \text{ } ^\circ\text{C})^2}$

En la figura 8 está el punto ch con la precipitación p de 250 cm y la temperatura $T = 21,5^\circ\text{C}$, el cual fija un rectángulo cuya superficie es $P \times T = Q$, es decir, esta superficie representa también el calor Q de lluvia anual. La división por $T^\circ\text{C}$ nos da la Masa de la precipitación P a la temperatura $T^\circ\text{C}$. La segunda división por $T^\circ\text{C}$ da la misma masa P a la temperatura de 1°C . En este caso el valor Q es equivalente a la masa de la precipitación P . Las precipitaciones de 4, 6, 10 y 16 cm corresponden a los factores de lluvia de 40, 60, 100 y 160, los cuales están marcados sobre la línea de 1°C . La diagonal 0-ch corta este rectángulo según el ángulo a , cuya tangente es el factor de lluvia.

$$\text{tg } a = \frac{P}{T} = \text{factor de lluvia}$$

Ahora tenemos la proporción $T^{\circ} : 1^{\circ} = P \text{ (cm)} : FL \text{ (cm)}$

De donde se concluye que el factor de lluvia es igual a la precipitación en cm dividido por la temperatura.

$$FL = \frac{P \text{ (cm)}}{T^{\circ} \text{C}} = \frac{P \text{ (cm)}}{T}$$

Ahora define Lang la humedad por los siguientes límites:

Límite	FL	$\frac{P \text{ (cm)}}{T}$
Arido - semiárido	40	4
Semihúmedo - semiárido	60	6
Semihúmedo - húmedo	100	10
Húmedo - superhúmedo	160,	16

Es decir la figura 3 muestra la humedad, allí los factores de lluvia delimitan las humedades,; árido, semiárido, semihúmedo, húmedo y superhúmedo.

La fórmula $FL = \frac{Q \text{ cal}}{\text{cm}^2 (T^{\circ} \text{C})^2}$ expresa la relación existente entre la masa, el calor y la temperatura de la lluvia. En el caso de que toda el agua se infiltre al suelo éste recibe la masa M gr. de agua y el calor Q cal, que influye en su temperatura. Esta energía determina también la formación del climasol según los valores siguientes:

FL	$\frac{Q \text{ cal}}{\text{cm}^2 (1^{\circ} \text{C})^2}$	Climasol
< 40	4	Cactusol
40 a 60	4 a 6	Guaduasol
60 a 100	6 a 10	Humusol
100 a 160	10 a 16	Forestsol
> 160	16	Selvasol

La existencia de los climasoles, supuesta por Lang, está comprobada por la geología, la petrografía, la química analítica y la agrícola. Se forman sobre rocas ígneas ácidas, intermedias y básicas, silicatos, loes, etc. No se han encontrado sobre caliza, dolomita, marga, etc. En este caso resultan principalmente por la roca madre. La terra roxa tiene las mismas características y se forma principalmente sobre rocas ígneas básicas, pero en este caso el desarrollo sigue adelante y el producto final es un climasol rojo. Aunque existen también climasoles pardos y amarillos, así el color no es característica primordial.

El factor de lluvia en la forma de precipitación dividida por la temperatura define la humedad como función de estas mismas variables, como lo demuestra la figura 3. En la forma Q da la relación hidrotérmica de la lluvia y la formación del climasol T^2 según la figura 8. El rectángulo representa la relación entre la masa, el calor y la temperatura de la lluvia y la diagonal indica la humedad, la cual fija el desarrollo del climasol.

Así la física y la matemática nos informan lo que es en realidad el factor de lluvia.

CONCLUSION

La meteorología convencional no tiene una clasificación natural del clima. Por consiguiente los botánicos buscaron una sistematización a base de la vegetación. Holdridge y Lauer prefieren las definiciones físicas y matemáticas. Para este fin, ambos usan prácticamente el factor de lluvia pero en la siguiente forma: Holdridge el anual y Lauer el mensual.

El físico Caldas, el geólogo Humboldt, el botánico Bonpland y el geólogo Hettner designan los pisos térmicos de los Andes tropicales por las temperaturas medias anuales de 24, 18, 12 y 6 °C. El pedólogo Bach reconoció que los pisos térmicos de los Alpes de la zona templada hay que tomarlos por las temperaturas medias anuales de 4, 8 y 12 °C a los cuales podemos agregar la de 16 °C para los climas más calientes del Mediterráneo. Como lo indica la figura 7, hay ahora concordancia entre las ideas y propuestas de la Botánica, Geología y las leyes Matemáticas.

Los agricultores colombianos usan desde hace siglo y medio la clasificación de los tipos climáticos tropicales por la temperatura media anual y la humedad y saben lo que se puede cultivar en cada uno. La definición de la humedad por el factor de lluvia está de acuerdo con la larga experiencia de los colombianos. Tenemos un método efectivo que fija en condiciones óptimas el climasol. La existencia de cinco tipos de suelo climáticos la comprueban la Geología, la Química agrícola y analítica y la Petrografía.

Gracaniin usa los promedios mensuales de temperatura y el factor de lluvia, y caracteriza la dinámica del clima en el curso de un año. Pues indica la distribución de la lluvia y la oscilación de la temperatura mensual en el curso del año. Fácilmente se puede comprobar que hay tipos climatológicos tropicales con una o dos estaciones pluviales y también templados, oceánicos y continentales. Finalmente, el geólogo Brückner demostró que hay períodos climáticos.

Aprovechando las experiencias y las expresiones de los factores climáticos expuestos por Caldas, Humboldt, Bonpland, Hettner, Lang, Brückner.

Gracaniin y otros, se obtiene una sistemática del clima en forma matemática y natural, la cual satisface las necesidades de la botánica, agricultura, silvicultura, geología, pedología, etc. y está de acuerdo con las leyes físicas.

BIBLIOGRAFIA

- 1.- BACH, R. Resultats des recherches phytosociologiques et pedologiques en Suisse. Congrès International de Botanique, 8^e. pp. 75-88.
- 2.- FLOHN, H. Zur Frage der Einteilung der Klimazonen. Erdkunde (Bonn) 11(3):161-175. 1957.
- 3.- GRACANIN, M. Monthly rain-factors and their significance in pedological investigations. Revisio Scientifica Agriculturae (Zagreb) 12:51-67. 1950.
- 4.- HETTNER, A. Die Kordillera von Bogotá. Petermanns Geographische Mitteilungen (Gotha) no. 104. 1892. 131 p.
- 5.- HOLDRIDGE, L. R. Determination of world plant formation from simple climatic data. Turrialba, C. R., Inter-American Institute of Agricultural Sciences, 1959. 4 p. (Coffee & Cacao Training Materials).
- 6.- _____ & HUNTER, J. R. Clave de las asociaciones climáticas naturales del mundo y guía para el uso de la tierra en los trópicos. Suplemento de la academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales. Revista 11(43):1-14. 1961.
- 7.- KOCH, L. E. Tetraktys. Australian Journal of Science 11(4):1-31. 1949.
- 8.- KÖPPEN, W. Climatología. México. 1948. 478 p.
- 9.- LANG, R. Versuch einer exakten Klassifikation der Böden in klimatischer und geologischer Hinsicht. Internationale Mitteilungen für Bodenkunde 5(4):312-346. 1915.

- 10.- LAUER, W. Humide und aride jahreszeiten in Afrika und Südamerika und ihre Beziehung zu den Vegetationsgürteln. Bonner Geographische Abhandlungen (Bonn) 9:15-98. 1952.
- 11.- MEYER, A. Ueber einige Zusammenhänge zwischen Klima und Böden in Europa. Diss. ETH Zürich. 1926. 138 p.
- 12.- MILLER, A. A. Climatología. Traducción de la sexta edición inglesa por Ismael Antich. Barcelona, Ediciones Omega, S. A., 1951. 376 p.
- 13.- MOHR, E. C. J. The soils of equatorial regions, with special reference to the Netherlands East Indies. Translated by R. L. Pendleton. Ann Arbor, Michigan, J. W Edwards, 1944. 766 p.
- 14.- RAMANN, E. Bodenkunde. Berlin. 1911. 619 p.
- 15.- SCHAUFELBERGER, P. Wie verläuft die Gesteinsverwitterung und Bodenbildung in den Tropen, insbesondere in Kolumbien. Schweizerisch Mineralogische und Petrographische Mitteilungen (Zürich) 30(2):237-257. 1950.
- 16.- ————— Tropische Verwitterung und Bodenbildung über Andesit und Diorit. Schweizerisch Mineralogische und Petrographische Mitteilungen (Zürich) 33(1):127-143. 1953.
- 17.- ————— Verwitterung und Bodenbildung auf basischen Eruptivgesteinen. Schweizerisch Mineralogische und Petrographische Mitteilungen (Zürich) 34(2):319-335. 1954.
- 18.- ————— El factor de Lang y su aplicación en Colombia. Centro Nacional de Investigaciones de Café, Chinchiná, Colombia. Boletín Informativo 6(65):160-169. 1955.
- 19.- ————— Zur Systematik des Tropenklimas. Geographica Helvetica (Bern) 12(1):56-62. 1957.
- 20.- ————— Mapas climatológicos para Colombia y Costa Rica. Cenicafé (Colombia) 9(3-4):65-72. 1958.
- 21.- ————— Las bases científicas de la edafología. Anales de Edafología y Fisiología Vegetal (España) 17(11):833-852. 1958.
- 22.- ————— Klima-, Klimaboden- und Klimavegetationstypen. Geographica Helvetica (Bern) 14(1):35-43. 1959.
- 23.- ————— Algunas leyes pedológicas. Cenicafé (Colombia) 10(6):178-200. 1959.

- 24.- ————— Die Lössböden. Schweizerisch Mineralogische und Petrographische Mitteilungen (Zürich) 40(2):289-410. 1960.
- 25.- ————— Die Erfassung des Wasser- und Wärmehaushaltes der Atmosphäre. Geographica Helvetica (Bern) 17(1): 1962.
- 26.- WOODRING, W. P., BROWN, J. S. & BURBANK, W. S. Geology of the Republic of Haiti. Port-Au-Prince. 1924. 630 p.