

TES:
Ej 2

TESIS
BI
Part. 1

ESTUDIO PRELIMINAR DE LAS PRECIPITACIONES
PLUVIALES Y EVAPOTRANSPIRACIONES, MEDIAS
ANUALES, QUE SE PRODUCEN EN VENEZUELA
A DIFERENTES ALTITUDES.

(Parte I)

TRABAJO DE CONVALIDACION, PARA OPTAR EL
TITULO DE INGENIERO CIVIL EN LA
UNIVERSIDAD CENTRAL DE VENEZUELA

Raúl Jaime Bustillos I.

ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
DEPARTAMENTO DE METEOROLOGIA E HIDROLOGIA

ESTUDIO PRELIMINAR DE LAS PRECIPITACIONES PLUVIALES Y EVAPOTRANSPIRACIONES,
MEDIAS ANUALES, QUE SE PRODUCEN EN VENEZUELA A DIFERENTES ALTITUDES

SUMARIO:

Se pretende instituir, en principio, procedimientos de cálculo que permitan estimar con una aproximación razonable los factores climáticos enumerados en el encabezamiento del presente trabajo, para una hoya cualquiera de Venezuela.

Las precipitaciones y evapotranspiraciones locales podrían ser estimadas por corrección de cifras y leyes generales elaboradas por el autor, tomando en cuenta reducidas observaciones metereológicas, comparación de las hoyas fisiográficamente equivalentes y justipreciación de todos los factores que componen un microclima.

Se ha efectuado demostraciones numéricas de la validez de los conceptos y cálculos desarrollados, una ilustración completa sobre la utilidad que reporta el conocimiento de los valores medios, en la ulterior investigación de los recursos naturales de agua, que es el estudio sobre la hoya del Instituto Venezolano de Investigaciones Científicas; y finalmente, se ha expuesto un esbozo de procedimiento de cálculo de la precipitación pluvial por el crecimiento medio anual de los árboles.

ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
DEPARTAMENTO DE METEOROLOGIA E HIDROLOGIA

A - INTRODUCCION.

1º) IMPORTANCIA DEL ESTUDIO DE LOS FENOMENOS CLIMATICOS NATURALES:

El conocimiento racional de la productividad de la precipitación y evapotranspiración en Venezuela, reviste capital importancia en la magnitud de las obras hidráulicas que se construyen para la comunidad, puesto que permite evaluar mejor los factores subsecuentes que guardan la relación directa con el proyecto de dichas obras.

Particularmente nos interesan las obras de abastecimiento de agua, las destinadas a la evacuación de aguas de lluvia, los estudios que corresponden a la disposición de aguas servidas en cuerpos de agua, y finalmente las obras que se ejecuten para prevenir inundaciones en localidades.

No obstante de que los datos hidrológicos son muchas veces incompletos e inciertos, el Ingeniero Hidráulico debe llevar a conclusiones positivas, con un margen de seguridad en sus cálculos que está muy por debajo de aquel que adoptan los Ingenieros Estructurales en el proyecto de sus obras, considerando que estos últimos tienen datos más completos y fidedignos.

Esta anomalía se debe a que la ejecución de las obras hidráulicas de envergadura, demanda la inversión de ingentes capitales, y en consecuencia, cualquier restricción en el riesgo repercute notablemente en el costo, pudiendo frustrarse la realización de un proyecto, cuando se toma un coeficiente de seguridad amplio.

De la anterior exposición se desprende que cualquier contribución tendiente a un mejor conocimiento de los fenómenos climáticos naturales, será provechosa para la colectividad, puesto que una mayor comprensión permite juzgar más acertadamente sobre la magnitud y economía de las obras hidráulicas que se programen.

2º) OBJETO Y ALCANCES DEL PRESENTE ESTUDIO:

Al Ingeniero dedicado a las actividades de Saneamiento Ambiental, en variadas oportunidades le es dado tratar aspectos relacionados con diver

Los factores que modifican o regulan el medio ambiente, donde profesionalmente debe intervenir. Es bajo esas circunstancias, que en un intento de desempeñar mejor su cometido, emplea su voluntad y conocimientos como una especie de fulcrum donde podrá apoyarse la palanca de la investigación tesonera, para abrir un resquicio por el cual se filtre el rayo de luz que iluminará la senda que conduce a su objetivo.

A pesar de la fuerte probabilidad de que no todas las observaciones, que han servido de base a este estudio, se han realizado en forma apropiada, y - que por lo tanto existen datos contradictorios y erráticos tales como el que se manifiesta a simple vista sobre los valores medios de H.R. correspondientes al Observatorio Cagigal (en la Climatografía de Röhl: 81.6%; en el Boletín N°: 78%); nosotros nos mantenemos en expresar que el propósito que perseguimos, es el de iniciar un procedimiento racional de cálculo para evaluar los factores - del ciclo hidrológico, sin efectuar un discernimiento sistemático, que por el momento no nos interesa, sobre la rigurosidad en la exactitud de los datos proporcionados.

Cabe señalar, como un pequeño ejemplo, que nos parecía arbitrario e irrazonable la práctica usual de aceptar el coeficiente "C" de la fórmula de evaporación mensual, de Meyer, variable entre 11 y 15, sin ninguna justificación y sin una regla que determinase cual valor se debía aplicar.

La consistencia del procedimiento se manifestará por sí sola, al constatar se que en los valores medios y resultados locales no existe una distorsión palpable que haga infructuoso el procedimiento seguido, el cual por su desenvolvimiento lógico y fundado tiene una validez independiente.

Los fenómenos naturales están regidos por leyes que no pueden ser intrínsecamente interpretadas por procedimientos matemáticos; no obstante, a medida que se disponen de mayor cantidad de experimentos y datos sobre hechos colectivos, las leyes matemáticas que se enuncian respecto a magnitudes medias, tendrán mayor exactitud y validez.

A este respecto bastaría recordar que la Física Atómica está sustentada sobre principios estadísticos y que, en general, la Estadística como método que - permite describir y observar los fenómenos colectivos, y el grado de verosimilitud de las hipótesis que atribuyen ciertas causas a determinados fenómenos, es

una herramienta eficiente utilizada por la Ingeniería.

En la formulación preliminar de las leyes que rigen las magnitudes medias anuales de la precipitación, evaporación y evapotranspiración, que ocurren a diferentes altitudes en Venezuela, se ha observado un análisis sistemático de los datos disponibles; basado en procedimientos estadísticos que serán explicados progresivamente, cuando sea oportuno.

El presente esbozo no tiene sino un carácter inicial, puesto que el desenvolvimiento de un estudio completo, es tarea ardua y laboriosa, y por otra parte, existen los siguientes argumentos de peso que han imposibilitado un estudio más refinado:

a) Insuficiencia o inconsistencia de algunos datos.

Al efecto, bastantes estaciones meteorológicas del Boletín mencionado tienen un número insuficiente de datos registrados; y en otras, los evaporímetros no han sido instalados convenientemente.

Una recopilación complementaria de datos, hubiera sido lo suficientemente laboriosa para dilatar por un tiempo apreciable la terminación de este trabajo; además, de que como se indicará enseguida, su contribución hubiera aumentado en mínima proporción la exactitud del estudio realizado.

b) Ausencia de un ajuste y coordinación desmenuzada de conjunto.

Con el objeto de que los dos factores estudiados estén claramente definidos, y tengan su correcta magnitud, es necesario estudiar los restantes componentes del ciclo hidrológico, que son la escorrentía y la infiltración, por la estrecha interdependencia íntima que todos ellos tienen entre sí.

3º ORIGEN Y DESARROLLO DE LOS FENOMENOS METEREOLÓGICOS:

La energía radiante del sol al incidir sobre medios de diferente capacidad calorífica, produce diferencias de temperatura en la atmósfera y la superficie terrestres, con la consiguiente formación de fenómenos meteorológicos, los cuales son modificados por la rotación de la tierra, como así mismo por su orografía.

Las variaciones de temperatura determinan desequilibrios de presión atmosférica, evaporación de agua, ascensión de aire húmedo, producción de vientos y precipitación pluvial. A continuación se produce la infiltración de lluvia en el terreno, la intercepción y transpiración de las mismas, ocasionadas por la -

existencia de plantas, evaporación desde el terreno humedecido y finalmente escorrentía superficial y subterránea, hacia los lagos y los mares; cerrándose, de esta manera, un ciclo hidrológico.

Los vientos transportan el vapor de agua procedente de la evaporación de los lagos, mares y selvas, hacia lugares montañosos donde se produce gran parte de la condensación del aire húmedo. En su tendencia a dirigirse hacia centros de baja presión o ciclónicas, los vientos tendrán una circulación dominante que se puede señalar de la siguiente manera:

- a) De los océanos a los continentes en verano, e inversamente en invierno. Esta misma circunstancia se manifiesta durante las horas del día y de la noche.
- b) Del valle a la montaña, durante el día; y el proceso contrario en la noche.
- c) Desde los polos hacia el ecuador, estando su dirección y circulación modificadas por la fricción de los continentes y la rotación de la tierra. En forma esquemática se puede representar la circulación resultante por la Fig. 3.

4º REGIMEN CLIMATICO DE VENEZUELA:

La producción de corrientes atmosféricas, está determinada en Venezuela por las condiciones barométricas, que se enumeran a continuación:

- a) El cinturón tropical anticiclónico en el Atlántico Norte.
- b) La banda de baja presión desde Estados Unidos hasta Panamá.
- c) La banda ecuatorial de baja presión que cruza a Venezuela.
- d) La zona de baja presión, permanentemente ubicada sobre la región del Lago de Maracaibo.

Como resultado de esta situación, se tiene:

- a) La influencia de los vientos alisios, que vienen del noroeste, modificando su dirección en las regiones interiores del país, con una dirección dominante de S.E. a N.O.
- b) La precipitación de lluvias torrenciales en las faldas septentrionales de la cordillera de la costa, por la incidencia de los frentes fríos del Norte sobre las costas de Venezuela.
- c) Las situaciones sinópticas meteorológicas.

En particular, los vientos tendrán un movimiento fuertemente influenciado por la conformación orográfica local.

5º ESTUDIO DEL MICROCLIMA LOCAL.

En la exposición del proceso desarrollado, se demuestra que una vez establecidas las cifras o leyes generales que expresan las magnitudes medias anuales de la precipitación pluvial, evaporación y evapotranspiración, a diferentes altitudes; es posible calcular los valores locales con un grado razonable de aproximación.

Si una hoya no tiene la información meteorológica requerida y que esencialmente consiste en datos higrométricos de temperatura y velocidad del viento; se procede a efectuar una apreciación de estos elementos, controlada con la subsiguiente evaluación que se haga de los factores y efectos locales. La apreciación podrá fundamentarse en los siguientes criterios correlativos:

1º) La temperatura media anual, por tener una oscilación pequeña durante un período n de años (col. 7, C. XVI), se obtiene satisfactoriamente por el procedimiento, de Boussingault, que consiste en leer las indicaciones de un termómetro introducido en una pequeña perforación de unos $3/4$ " de diámetro y a 1 mt. de profundidad, eligiendo un sitio abrigado de las lluvias y del sol.

2º) La humedad relativa media anual se puede obtener por asimilación de la cuenca en consideración, a una hoya fisiográficamente equivalente determinando su humedad relativa mensual mediante un higrógrafo; o bien, el promedio de varias lecturas correspondientes a un mes, efectuadas a una hora apropiada; y finalmente, calculando en forma correlativa, la humedad relativa que se necesita.

Así por ejemplo, en el caso hipotético de una hoya equivalente a la que caracteriza el Observatorio Cagigal, la variación diaria de la H.A. está ilustrada por la Fig. 7a. siendo su valor medio es de 78,2%, a hrs. 18. Estando en antecedentes de que para el mencionado observatorio, la media anual es de 81.6%; la relación correspondiente será:

$$\frac{81.6}{78.2} = 1.04$$

Luego en la hoya estudiada, el promedio de varias lecturas diarias obtenidas con el higrómetro a las 18 hrs., multiplicado por el factor 1.04, permitirá estimar el valor medio anual de la humedad relativa investigada.

Otra información que debe tenerse presente es que las oscilaciones mensuales en las estaciones de clima oceánico tienen valores menores de 7 a 8% y en la re-

gión continental 12 a 13%. Una excepción al comportamiento seguido por las estaciones de esta última clasificación es San Fernando de Apure, que tiene una fuerte oscilación de su humedad relativa, de 24,8%. Esta anomalía se justifica por la fuerte sequía que se produce en esa región en los meses de verano, en contraste con la humedad de la época de lluvias abundantes. Otro procedimiento que se delinea es el de desarrollar un análisis de los climogramas tales como los que aparecen en las Figs. 7b a 7j. Los dos primeros pertenecen al clima oceánico, los restantes al continental.

Cada centro de gravedad de un climograma corresponde a las situaciones medias anuales, de H.R. y temperatura. Ahora bien, observando los gráficos se puede pensar que existen ciertas distorsiones en la transformación de unos a otros, siguiendo un proceso de homología, sustentado en las enseñanzas de la Geometría Proyectiva. Al encontrar los climogramas probables que caracterizan las condiciones climáticas medias con la altitud, se puede estimar en primera aproximación los valores medios, tal como se ha procedido con los elementos hidrológicos.

Sin embargo ese estudio, está fuera de los límites que encierra el presente trabajo.

3º La velocidad de los vientos puede ser apreciada por:

a) La escala de Beaufort.

b) Examen de mapas sinópticos de presiones barométricas, teniendo presente las indicaciones del Cuadro I-1, extractado de Hidrología de Gustavo Lira, aplicable en especial a la estimación de vientos de considerable velocidad.

Es importante también aplicar la Tabla de Binnie, que tiene valor universal, cuando se desea conocer los valores máximos y mínimos de la precipitación pluvial expresados en desviaciones de los valores medios anuales. Llamamos la atención de que en el estudio hidrológico de la hoya del IVIC, se ha hecho uso del Cuadro Nº I-la que se anexa a continuación.

C U A D R O Nº 1-la.

Desviaciones para un período inferior a 5 años consecutivos

Período (núm. de años consecutivos)	Clima marítimo			Clima continental		
	1	2	3	1	2	3
Desviación máxima positiva	45 %	30 %	23 %	209 %	137 %	114 %
" máxima negativa	34	27	22	66	52	48

Cinógramo de falseta

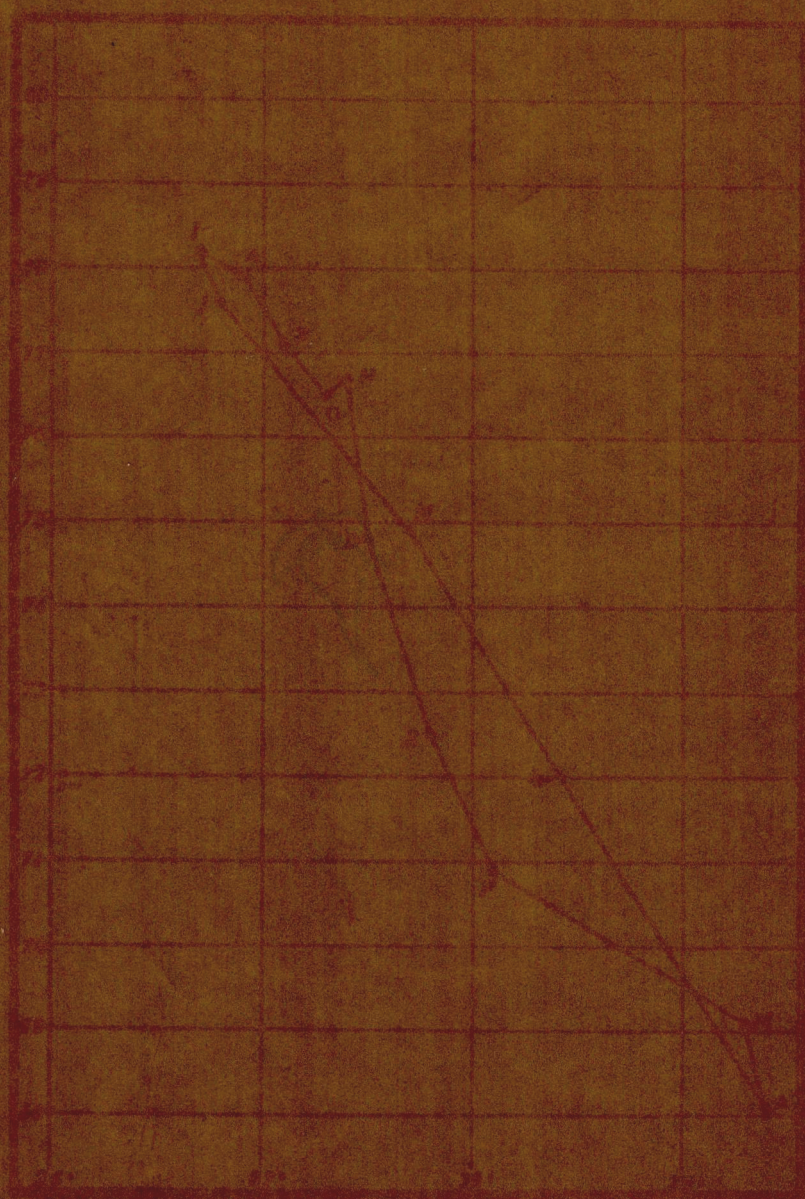


Fig. 15.

PHYSICAL MATHEMATICS I, COURSE 1

PHYSICAL MATHEMATICS I, COURSE 1



Climograma de B. P. 1913



Fig. 71.

C U A D R O N° I-1

<u>Gradiente en mms. por 1000 Kms. de distancia</u>	<u>Velocidad del viento en Kms. por hora.</u>
13.7	16
15.3	24
16.5	35
19.7	48
24.1	56

4º) La dirección dominante por:

- a) El régimen de los vientos en Venezuela.
- b) Las deflexiones que la conformación orográfica de la cuenca origina - en la supuesta dirección de los vientos, modificada con anterioridad por las hoyas circundantes.

5º) Como complemento se pueden hacer evaluaciones, siguiendo el procedimien to esbozado en el Cuadro I-2, que tiene su aplicación concreta para la hoya del Río Guaire en el Cuadro I-3.

Estos cuadros últimamente mencionados sirven también para evaluar condi ciones extremas, tal como aquella patentizada por las Figs. 8a y 8b que se refieren a la tormenta acaecida el 15 - 17 de Febrero de 1.951, con su secuela de desastres, producidos en el Litoral.

6º) Variación de los elementos meteorológicos con la altura.

Se ha llevado en las Figs. 9 y 11 la representación gráfica de los ele- mentos correlativos de Venezuela para comparación con los datos por Me- yer, y que corresponden a Estados Unidos.

Señalamos a continuación su ubicación y procedencia en el Cuadro I-4.

C U A D R O N° I-2

Esquema general de los efectos producidos por factores locales, en el proceso de precipitación pluvial, en una hoya

Factores inherentes en una hoya	Naturaleza de la acción física	Efecto producido
1. Latitud.	Oblicuidad de los rayos solares.	Variación de la temperatura media y sus oscilaciones.
2. Distancia del Océano, barreras orográficas adyacentes a la costa.	Choque de nubes bajas con masas de aire más frías y con montañas costeras.	Condensación de vapor de agua que disminuye hacia tierra adentro. Enfriamiento adiabático del aire húmedo al verse obligado ascender, en contacto con montañas, precipitación óptima sobre 1500 a 2000 mts.
3. Dirección predominante del viento y extensión superficial de la hoya.	Inclinación del viento respecto a la orientación de la hoya. Probabilidad de que lluvias de moderada intensidad y gran duración puedan precipitarse íntegramente dentro de la zona.	Se obtiene la precipitación máxima si la dirección del viento es conciente con la orientación de la hoya y si el viento incide directamente sobre las laderas inclinadas. Se ha comprobado que las lluvias de gran intensidad y muy corta duración no acostumbran a producir un escurrimiento apreciable, salvo circunstancias especiales. El escurrimiento también depende de la proporción de lluvia que cae sobre la hoya.
4. Altitud sobre el nivel del mar.	Expansión y turbulencia del aire en contacto con obstáculos orográficos. Otras conclusiones meteorológicas derivadas de la altitud.	La precipitación ordinariamente aumenta con la altitud, por el enfriamiento dinámico, conexión de corrientes atmosféricas y mayor oportunidad de intercepción de nubes bajas. Los altos relieves apreciables del te

Sigue Cuadro N° I-2.

rreno provocan turbulencia mecánica, únicamente hasta una altura de 1000 mts.

C U A D R O N° I-3

Condiciones locales en la precipitación pluvial de la hoya del Rfo. Guaire

Factores	Naturaleza de la acción física.	Efecto estimado	Efecto observado
1. Latitud: N° 10° 30'24" (Observatorio Cagigal).	Variación entre los rayos vectores del Sol en un ángulo máximo de 47°40' (Fig.6b). Las desviaciones límites respecto a la normal al plano horizontal, son 13°19'36" y de 34°20'24", los días 21 de junio y 21 de diciembre, respectivamente.	Las temperaturas varían en función del cos. del ángulo respectivo. Las laderas de montañas orientadas hacia el Sur son las más fuertemente caldeadas.	Variación máxima de temperatura entre los valores 33.1° y 8.6°, registrada en un período de 12 años. Variación de temperaturas medias anuales entre 19.8° y 21.4°, en el mismo lapso de tiempo. Evaporación del agua, en forma correlativa, a las temperaturas y horas de insolación.
2. Distancia del Océano: Aproximadamente 11 kms. en línea recta. Barrera orográfica: Cordillera de la Costa.	La actuación de los frentes fríos se halla interceptada por la barrera orográfica antes mencionada (Efecto Foehn). Las nubes bajas (2.000' mts.) tienen una frecuencia de 20%.	Precipitación pluvial extraordinaria en el Litoral, por la afluencia de frentes fríos. Atenuación en la precipitación que cae sobre la hoya del Rfo Guaire, por la interposición de 2.500 a 2.700 mts. de barrera orográfica.	Se presenta el perfil de la curva de precipitación y de relieve del terreno, correspondiente a la tormenta ocurrida el 17-18 de febrero de 1951 y también las isohietas correspondientes. Objetivamente se aprecian en estos gráficos, las similitudes y anomalías consiguientes.
3. Dirección predominante del viento: S.E. y N.E. Extensión superficial de la hoya: Hasta Petare tiene una extensión de 545 km ² .	Situaciones sinópticas: E. y S. Orientación de la hoya del Rfo Guaire en la dirección: N.E. - S.O.	Deflexión de los vientos según la dirección N-S. Se nota un aumento de pluviosidad, en los puntos más cercanos a la Cordillera de la Costa	Compárese las altitudes y pluviosidades, de las localidades correspondientes a Caricuao y el Carite, Sabaneta y Macarao, que no están de acuerdo con el criterio -

Sigue Cuadro N° I-3.

y otros, por la colisión de los vientos con las montañas.

de aumento de pluviosidad con la altitud.

En diversos lugares se registran tormentas con dos epicentros.

En Santa Teresa se producen con cierta frecuencia, 2 - lluvias en 24 horas.

4. Altitud media sobre el nivel del mar:
1300 - 1400 mts.

Expansión de las corrientes de aire ascendiendo el Valle de Caracas y las quebradas vecinas, que presentan muchas irregularidades por ser quebradas jóvenes. Disminución de la temperatura con la altitud.

Entre esta altitud y 2.500 mts. que corresponden a la altura de nubes virtuales - en colisión con los accidentes orográficos y una frecuencia media de 34% en la producción de lluvias se obtuvo la precipitación de 896 mms.

El I.N.O.S. determinó la cifra de 990 mms. en un período de 67 años. Las ondulaciones y depresiones de las quebradas vecinas al Valle de Caracas, originan apreciable turbulencia del aire, especialmente en la Zona Sur, donde los vientos transportan humedad a las zonas más elevadas.

5. Topografía: 391 - km2. de zona montañosa.

Nota: elevación máxima; 2.750 mts. (Pico Naiguatá).

Fig. 7a.

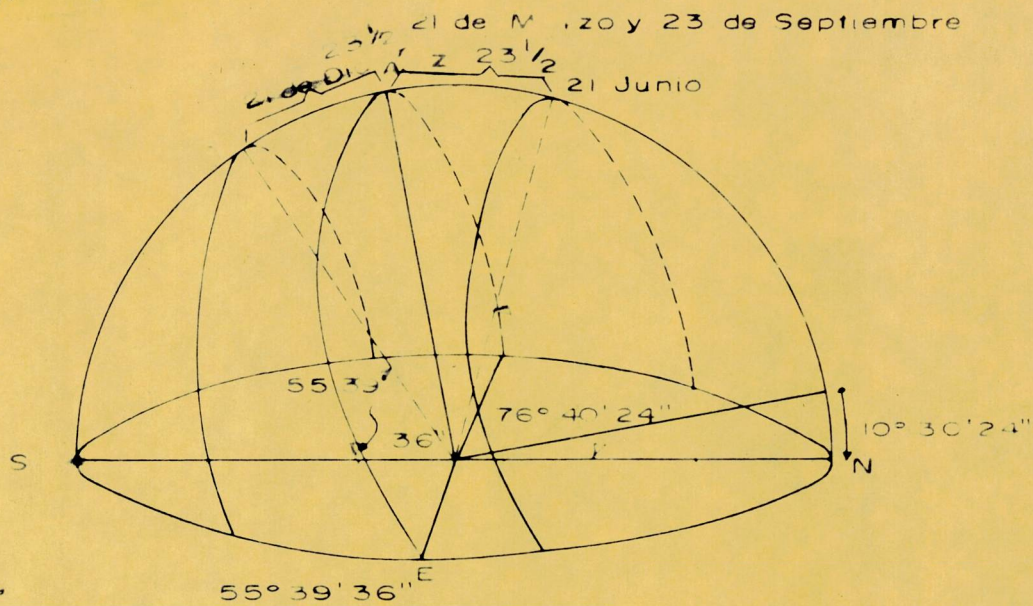


Fig.

Fig 7b.

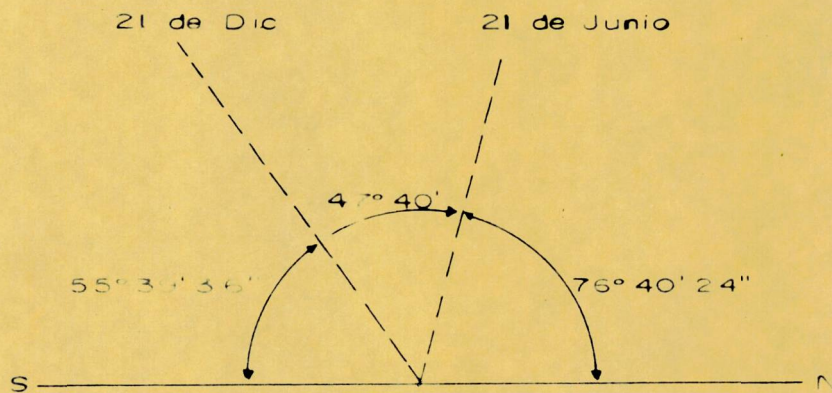


Fig. Movimiento diario del sol y alturas de culminación para la latitud del Observatorio Cagigal.

Fig. Variación máxima anual de la inclinación de los rayos solares.

Sin embargo, no podemos dejar de lado el entusiasmo y respeto que nos inspira la enunciación de la interrelación sustancial entre los factores ecológico - edáficos y los climáticos.

Al respecto ilustramos gráficamente en las Figs. 11a., 11b. y 11c. algunas de las relaciones que, pueden hacerse evidentes. Por otra parte, también se ha efectuado un esbozo de cálculo para estimar la precipitación pluvial en base al crecimiento de los árboles.

Otro estudio que se entrevé pudiera ser realizable sería, el de la erosión del suelo, tipificado por la degradación específica anual del terreno, que por ejemplo para Coro es tan elocuente. El clima local tiene una clasificación BS, correspondiente a la nomenclatura de Koeppen.

8º Enfoque del trabajo.

1. No se ha intentado discutir los principios, fórmulas, criterios individuales, procedimientos y conceptos que sirven de base a la interpretación - físico-matemática de los elementos hidrológicos; salvo en el estudio de la evaporación, una vez que se hubo comprobado que la suposición de la independencia del fenómeno respecto a la presión barométrica con la altitud, en Venezuela, - conducía a la conclusión absurda de que la humedad relativa aumentaba, en líneas generales, con la elevación sobre el nivel del mar.

2. Se ha recurrido, con sus debidas transformaciones para el País, a las fórmulas expeditas de Meyer y Hamond, como herramienta para efectuar las investigaciones pertinentes; sin establecer la innecesaria comparación con otras - fórmulas análogas.

3. Como ya anteriormente se ha dejado traslucir; está fuera del alcance del presente trabajo el pronunciamiento que se pudiera tener sobre la fuente experimental, que comprende la correcta ubicación y operación de instrumentos ,

así como también sobre la validez de los datos proporcionados.

4. Se dedica un capítulo especial para un estudio más concreto sobre la hoya hidrológica del Instituto Venezolano de Investigaciones Científicas. En ese capítulo II, con el propósito de estimar la cantidad mínima de recursos naturales de agua de la hoya, se ha estudiado también la escorrentía y la infiltración correspondientes a la hoya mencionada.

Auxiliares valiosos han constituido los siguientes elementos:

a) Los datos meteorológicos correspondientes a la región.
b) Observaciones y aforos de quebradas efectuados sobre el propio terreno.
c) Datos sobre las aguas subterráneas, que se captan en un algibe de Pipe, en los pozos de las Minas de San Antonio y en otras fuentes similares de abastecimiento de agua.

d) El trabajo: "Geología de la Región Los Teques-Cúa", por Raymond Smith, que nos permite determinar que en el trayecto de las cabeceras de quebradas - hasta el agua prevista por los manantiales, no existe ninguna falla geológica que produzca alguna discontinuidad en la napa subterránea.

5. Es interesante notar que el aumento de precipitación registrado en Altos de Pipe (1700 s/m) puede ser estimado aproximadamente, aplicando el concepto de que la precipitación orogénica, (hasta cierto punto), aumenta con la altura.

a) En efecto, estudiando las hoyas circunvecinas, a la nombrada, se observa de que existe una convección de humedad desde las regiones del Guaire (1300 s/m) y San Diego (1300 s/m).

La expansión adiabática conjunta que se produce por la ascensión del aire hasta el sitio indicado se puede estimar equivalente al enfriamiento en 6°, - que se puede decir representa una condensación adicional de 600 m. de altura.

b) La disposición de los cálculos pertinentes sería como sigue:

<u>Humedad acumulada en-</u> <u>tre 1300 y 2500 s/m.</u> <u>(Hoya del Río Guaire)</u>	<u>Humedad adicional</u> <u>equivalente entre</u> <u>2500 y 3100 s/m.</u>	<u>Aumento relativo en</u> <u>lluvia precipitable</u>
10.94 mm.	35.27 - 31.59 = 3.68 mm.	$\frac{10.94 + 3.68}{10.94} = 1.336$

Luego la cantidad media anual, por un procedimiento diferente al del Capítulo II, para Alto de Pipe será:

$$P_m = 1.336 \times 896 = 1197 \text{ mm.}$$

La diferencia relativa respecto a los 1316 mm., calculados en el Capítulo II es:

$$= \frac{1316 - 1197}{1316} = \frac{119}{1316} = 0.0904$$

o sea tiene una desviación de - 9.04% , que está dentro del 11% de la desviación probable para 7 años, representada en la Fig. 2 de la curva de Binnie.

CICLO HIDROLOGICO

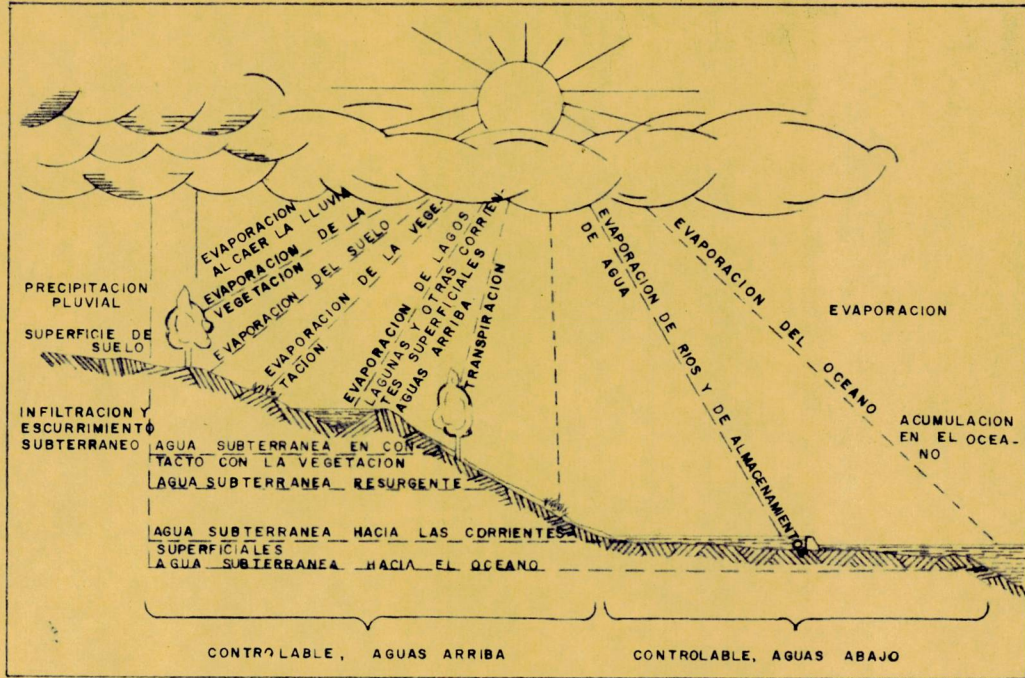
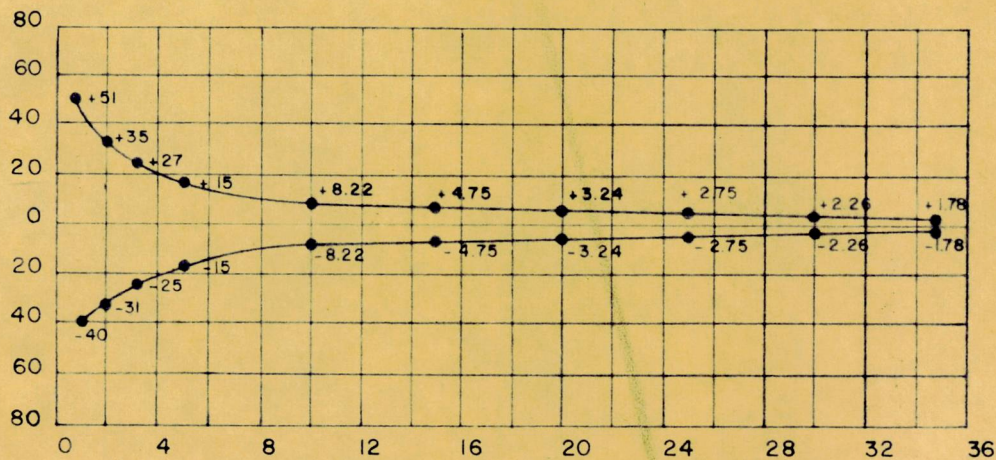


FIG 1- LAS AGUAS TERRESTRES TIENEN UNA CIRCULACION NATURAL CONOCIDA COMO "CICLO HIDROLOGICO" TOMADA DE LA PUBLICACION N° 397 DEL MINISTERIO DE E.U.A.

POR CIENTO DE DESVIACION DEL PROMEDIO ANUAL DE PRECIPITACION



Nº DE AÑOS CON PRECIPITACION REGISTRADA
 FIG-2. DESVIACION DE LOS VALORES MEDIOS DE PRECIPITACION MEDIA ANUAL, DEL VERDADERO VALOR MEDIO, SEGUN EL NUMERO DE AÑOS DE OBSERVACION (ALEXANDER BINME)
 THE VARIATION IN RAINFALL.

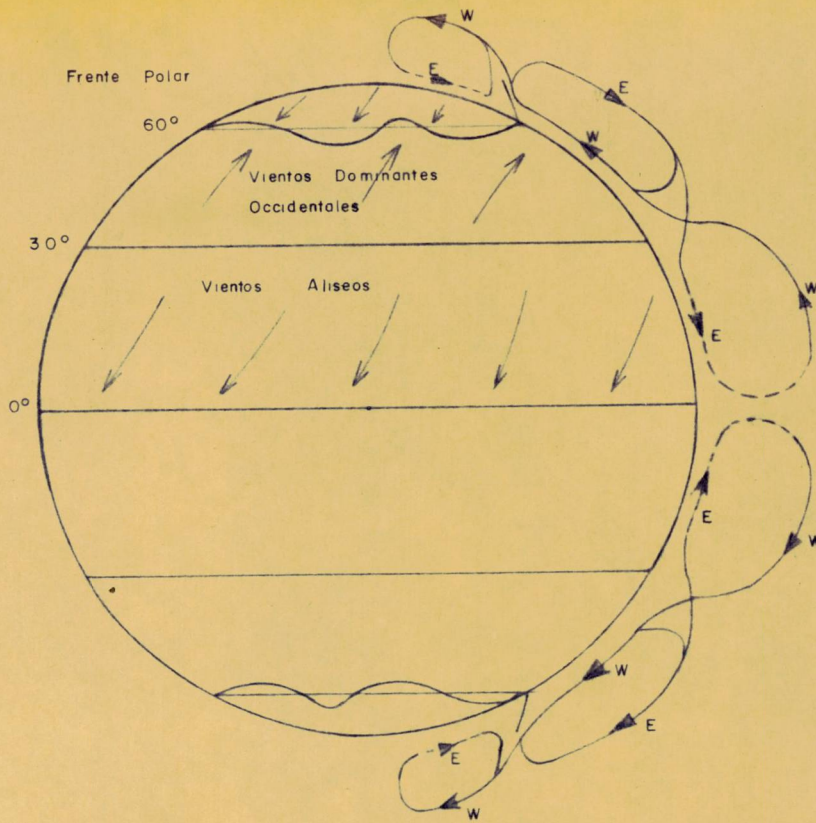


Fig 3 - Circulacion de los vientos en el globo terraqueo (Tomada de Luisley - Hydrology For Engineers)

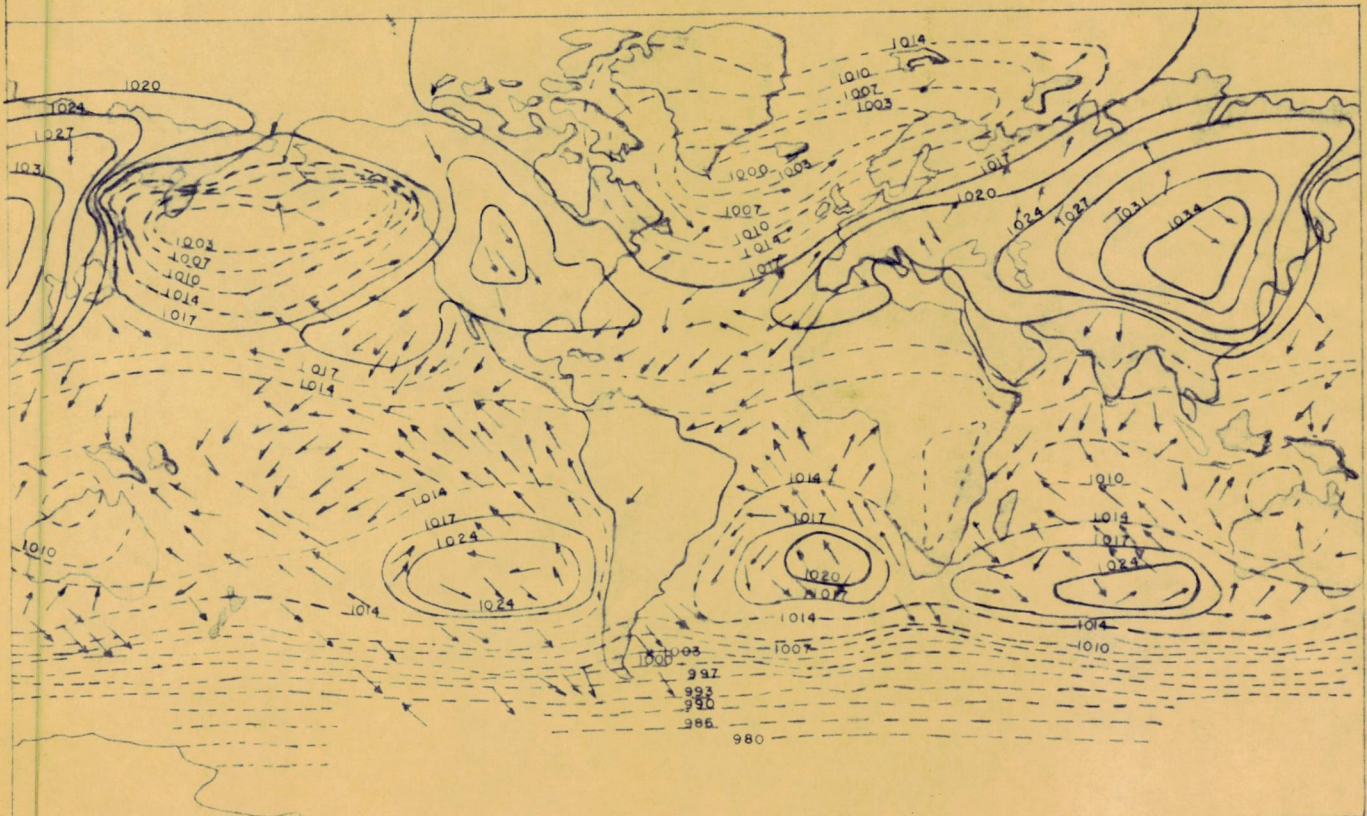


Fig 4 - Lineas isobaricas y vientos predominantes en la tierra, por el mes de enero (Tomada de Meyer - Elements Of Hidrology)

Nota. 760 mm de Hg = 1013.3 Milibares

Direccion del Viento →

Fig 6 - Lineas Isobaricas medias, para el Hemisferio Norte

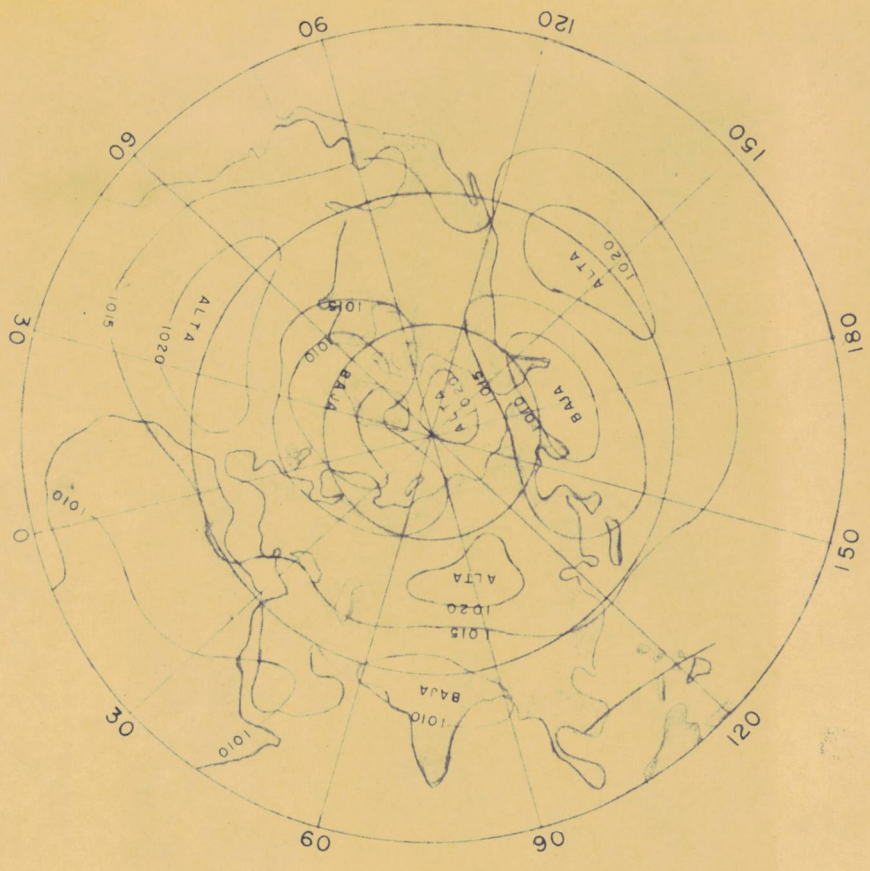
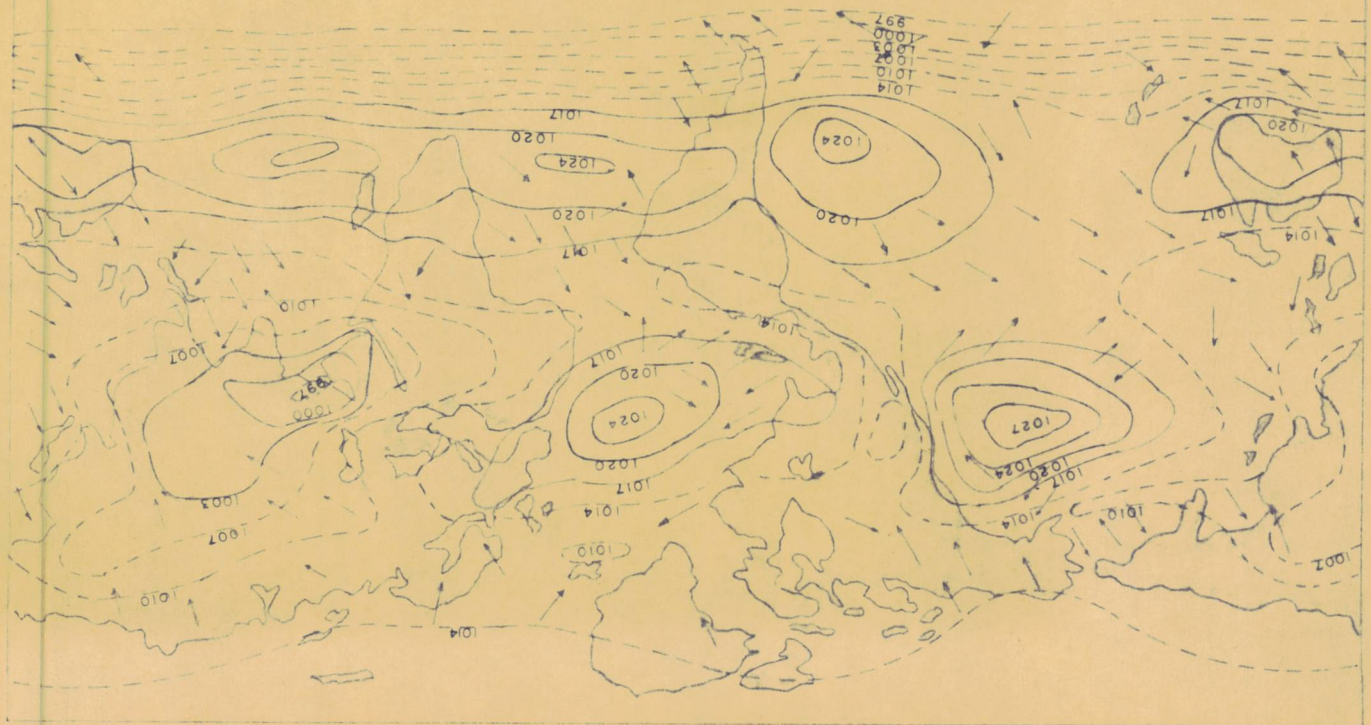


Fig 5. Lineas Isobaricas y Vientos predominantes en la tierra, por el mes de Julio (Tomado de Meyer - Elemento Of Hydrology) Nota - 760mm de Hg = 1013,3 milibares



downwind from the ridge and the slanting fall of the precipitation produce heavy amounts on the lee slopes near the crest.

The variation of precipitation with elevation and other topographic factors has been investigated¹ with somewhat varying conclusions.

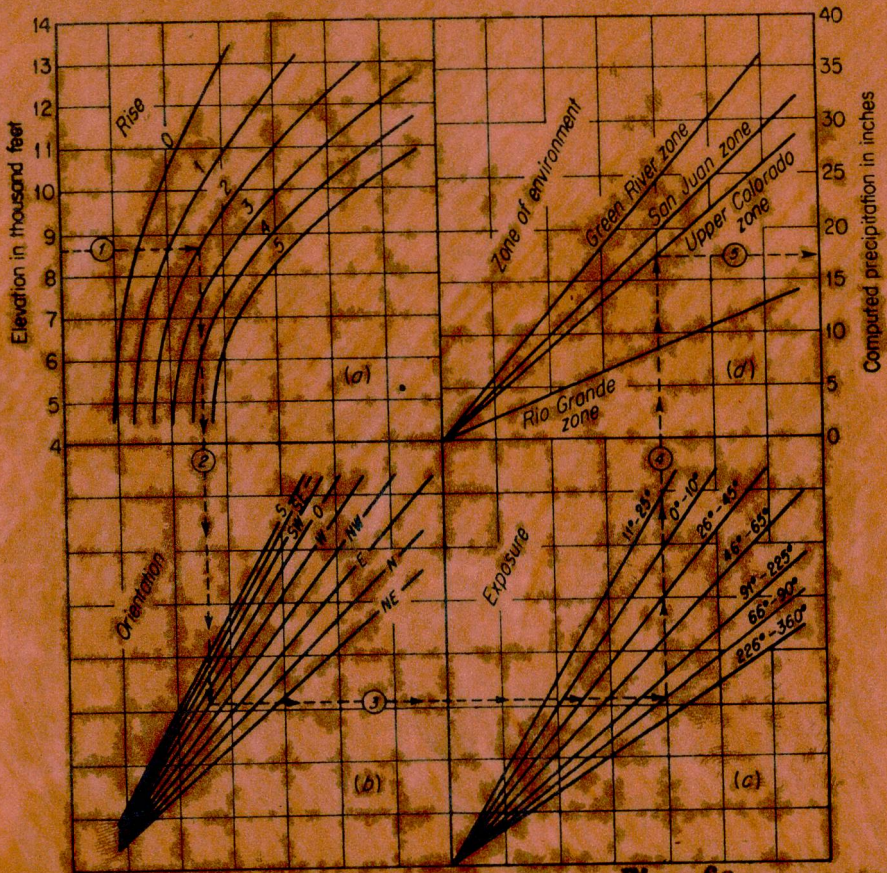


FIG. 3-13. Relation between average October-April precipitation and topographic parameters for western Colorado. (After Spreen.)

Perhaps the most detailed study of orographic influences on precipitation is that by Spreen, who correlated mean seasonal precipitation with elevation, slope, orientation, and exposure for western Colorado (Fig. 3-13). The parameters of the relation are (1) elevation of the precipita-

¹J. I. Burns, Small-scale Topographic Effects on Precipitation Distribution in San Dimas Experimental Forest, *Trans. Am. Geophys. Union*, Vol. 34, pp. 761-768, October, 1953.

W. C. Spreen, Determination of the Effect of Topography upon Precipitation, *Trans. Am. Geophys. Union*, Vol. 28, pp. 285-290, April, 1947.

Precipitaciones caídas en los días 16-17 Febrero de 1951

Corte vertical Camuri Chico - obs. Cagigal

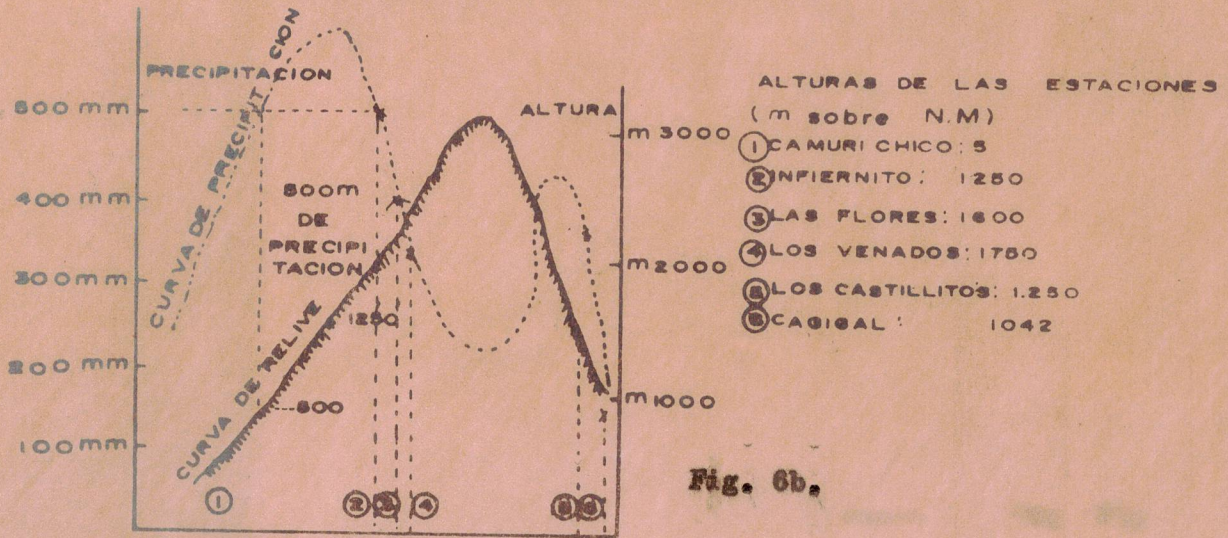


Fig. 6b.

Tomado de Las Causas Meteorológicas de las lluvias de extraordinaria magnitud en Venezuela por Antonio Goldbruner

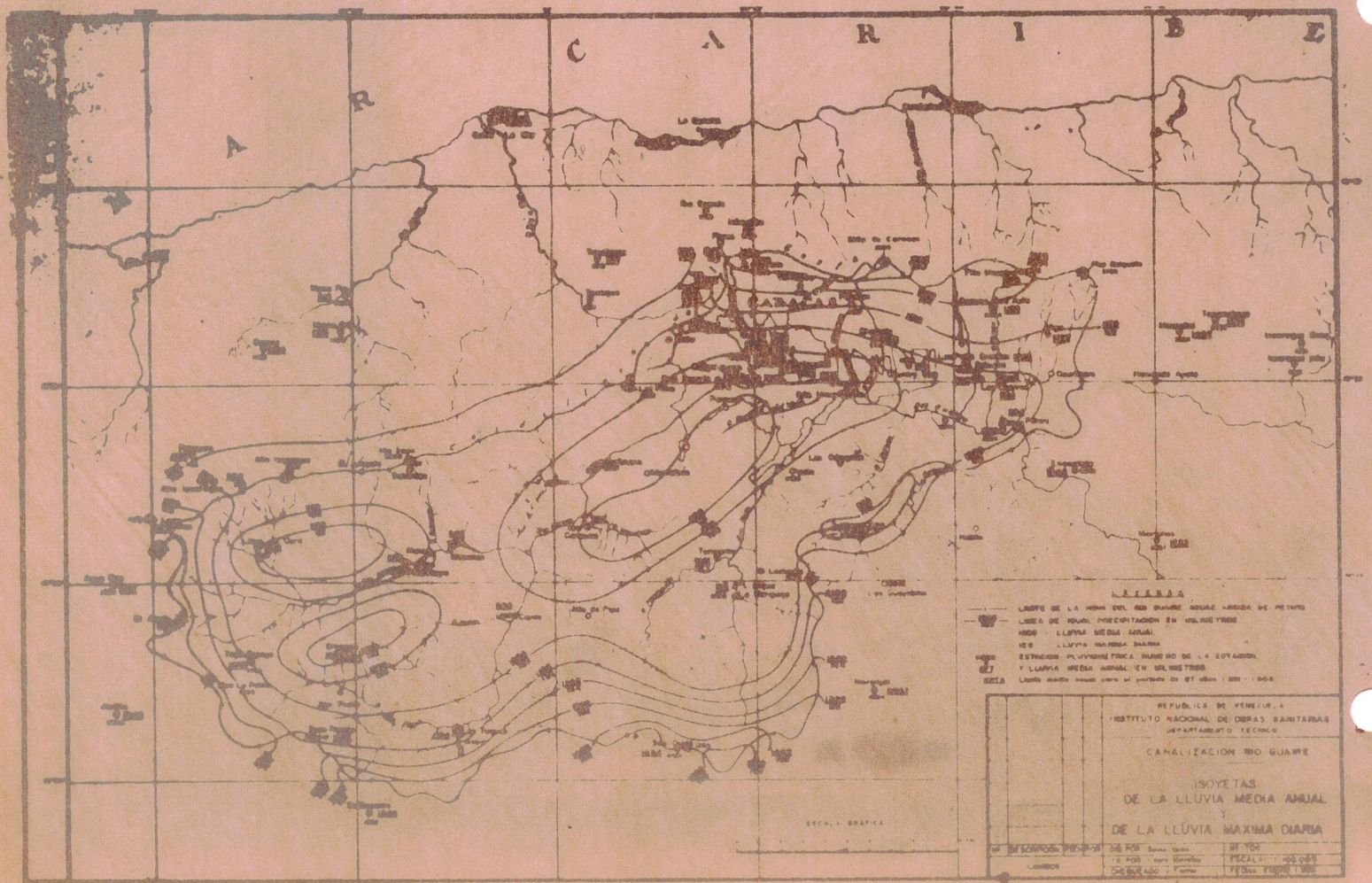


Fig. 7.

Un lisímetro conteniendo una tierra arenosa se mantuvo libre del crecimiento de plantas con el fin de observar la cantidad de agua perdida por evaporación del terreno. Esta cantidad fué determinada restando de la cantidad aplicada, integrada por el agua de riego y la de lluvia, la cantidad recogida como filtración por la parte inferior a 1,82 m. de profundidad.

La diferencia se toma como la pérdida por evaporación. Esta pérdida por evaporación, de un terreno que se riega con frecuencia, puede compararse a la pérdida de una superficie libre de agua en unas condiciones climáticas parecidas.

Transpiración

Transpiración. Designa el agua que se escapa en forma de vapor por los estomas de las hojas, y el proceso según el cual tiene lugar dicha pérdida de humedad. El « agua higroscópica », es decir, el agua retenida en la substancia vegetal engendrada, es inapreciable.

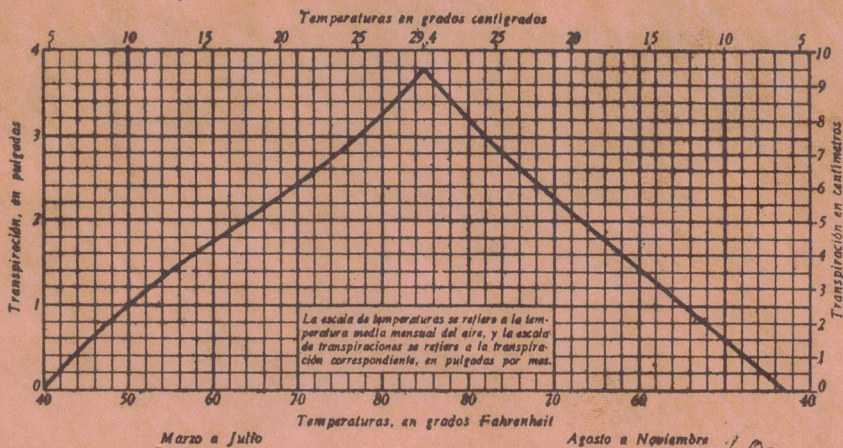


Fig. 8a.

FIG. 8. Gráfica de transpiración

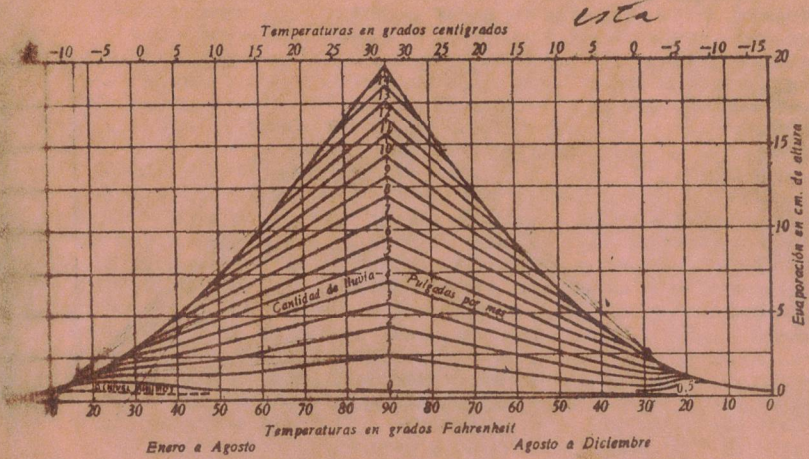
Curva de transpiración. Los valores básicos para la transpiración total, en milímetros de altura, durante el período de crecimiento en una vertiente dada, se eligen teniendo en cuenta la índole de la vegetación y la duración del período de crecimiento, concediendo también importancia a los rayos de sol útiles. Para los cereales pequeños, hierbas y otras plantas agrícolas, se ha admitido una transpiración, en período normal, de unos 230 mm. aproximadamente; 200 mm. para árboles de hoja caediza; 100 mm. para árboles de hoja perenne; 150 mm. para árboles pequeños y matorrales. La distribución mensual normal de estas transpiraciones estacionales totales se basa principalmente en la temperatura. Para obtener la transpiración efectiva en cualquier determinado mes, los valores de la curva de transpiración, después de multiplicados por un coeficiente, deben ser aún modificados a base de la humedad útil. En los lugares en que, la precipitación menos la evaporación para un determinado mes, es insuficiente para satisfacer las necesidades de las plantas normales, el agua subterránea es absorbida en cantidad variable, dependiendo de la índole del sistema de raíces, profundidad y naturaleza del terreno, y cantidad almacenada en la superficie del terreno, igualmente determinada por la precipitación menos las pérdidas en meses anteriores¹¹.

En las mismas condiciones locales, la dimensión del evaporador de una manera insignificante en la evaporación. De acuerdo con los datos efectuados en el mar de Salton y en otros sitios, Duryea y Hach

TABLA 12. Tensión máxima del vapor para diferentes temperaturas 4a

Temperatura °F	Tensión vapor		Temperatura		Tensión vapor	
	mm. mercurio	pulg. mercurio	°C	°F	mm. mercurio	pulg. mercurio
-4,0	0,927	0,04	16	60,8	13,536	0,53
-0,4	1,100	0,04	18	64,4	15,357	0,60
+5,0	1,400	0,06	20	68,0	17,391	0,68
10,4	1,780	0,07	22	71,6	19,659	0,77
14,0	2,093	0,08	24	75,2	22,184	0,87
17,6	2,455	0,10	25	77,0	23,550	0,93
23,0	3,113	0,12	26	78,8	24,988	0,98
26,6	3,644	0,14	28	82,4	28,101	1,11
32,0	4,600	0,18	30	86,0	31,548	1,24
35,6	5,302	0,21	32	89,6	35,359	1,39
39,2	6,097	0,24	33	91,4	37,411	1,47
41,0	6,534	0,26	34	93,2	39,565	1,56
42,5	6,988	0,28	35	95,0	41,827	1,65
46,4	8,017	0,32	36	96,8	44,201	1,74
50,0	9,165	0,36	37	98,6	46,691	1,84
53,6	10,457	0,41	38	100,4	49,302	1,94
57,2	11,908	0,47	39	102,2	52,039	2,05
59,0	12,699	0,50	40	104,0	54,906	2,16

recomendado, como valores de $C_f(h)$, los siguientes: 0,042 para evaporadores de 2 pies (0,609 m.); 0,036 para evaporadores de 4 pies (1,219 m.); y 0,024 para superficies de lagos



Evaporación de agua en la tierra referida a varias temperaturas e intensidades de lluvia

Fig. 8.

Grunsky señala que ninguna fórmula del tipo de Dalton, o del indicado por el profesor Bigelow (U. S. Weather Bureau), cumple requisitos precisos al ingeniero encargado de determinar, con sólo el conocimiento de las indicaciones atmosféricas, la cantidad de evaporación de una lámina de agua que todavía no exista^{6a}.

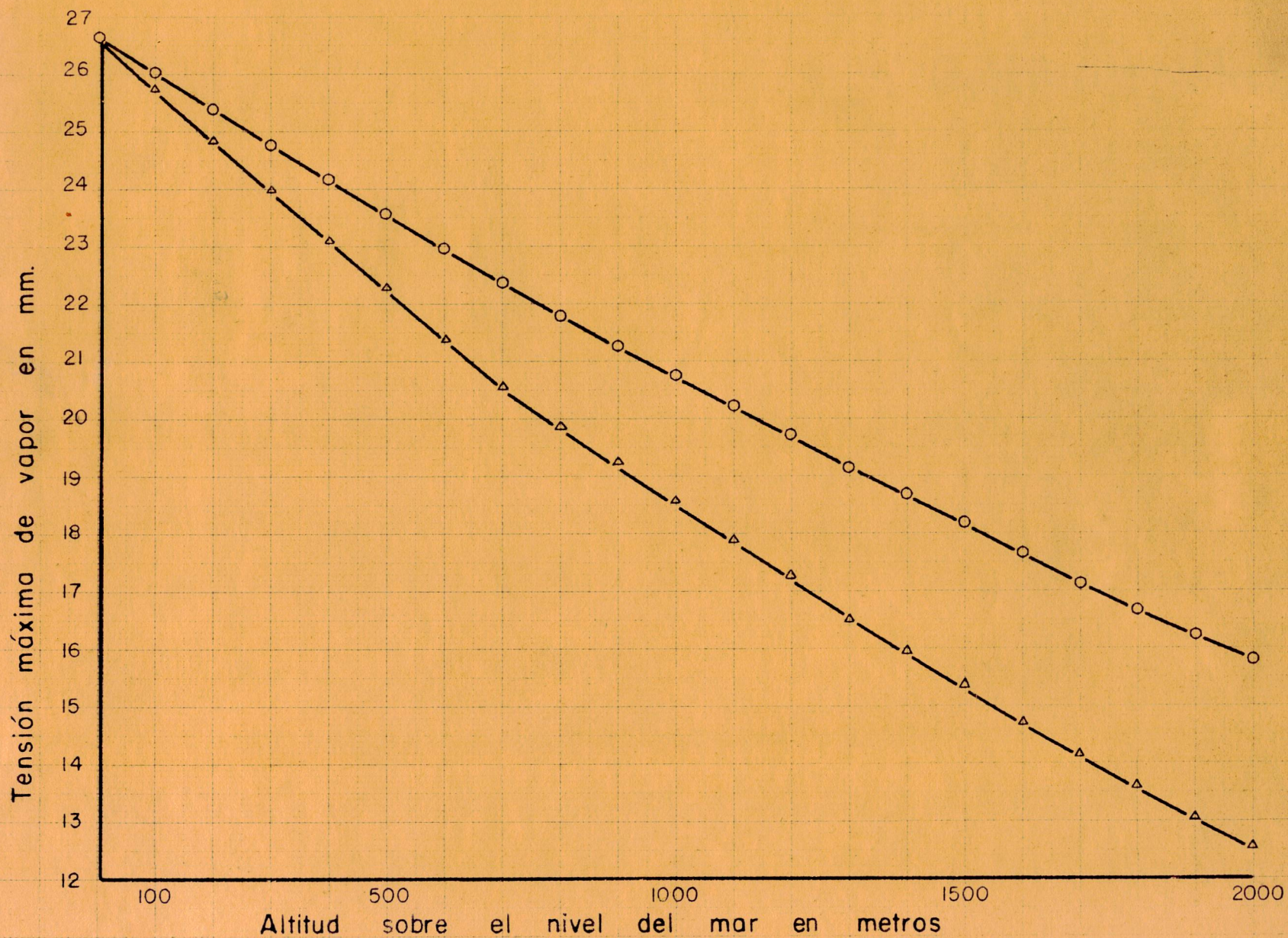


Fig. 9 Tensiones Máximas de Vapor de Agua a diferentes altitudes s/m

○ Tensiones máximas sin corrección por presión barométrica: F

△ Tensiones máximas corregidas por presión barométrica: $F' = \frac{F}{P}$

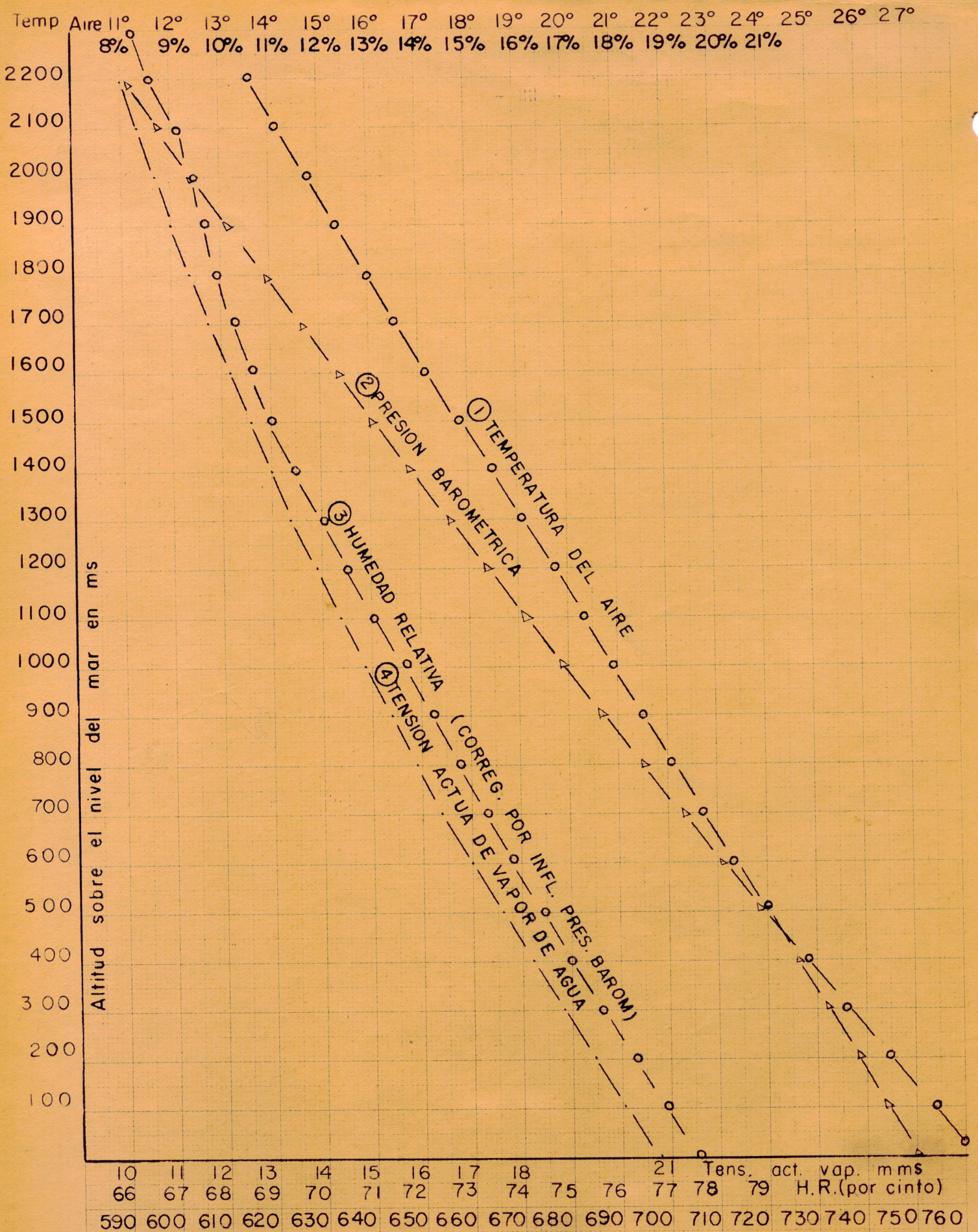


Fig. II Variacion en Venezuela, de los Elementos Meteorológicos con la Altitud s/m

Nota Las curvas ① ② ④ traducen valores dados por Röhl

Fig. 11a.

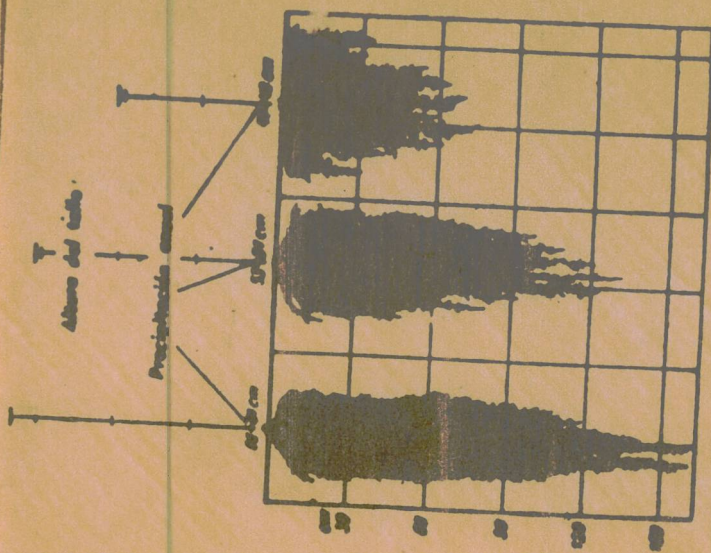


Fig. 28. — Desarrollo de los raiños del trigo de invierno en diferentes cotas de precipitación anual. (Según Weeber.)



Fig. 29. — Perfil del suelo en el Carvalotum de los Alpes centrales sobre dolomita, 200 m. de altura, mostrando 3 cm. de humus negro (A₁); 6 cm. de suelo fino algo de humus (A₂); horizonte en desintegración de color gris claro (B); y fragmentos de dolomita (C). (Según Braun-Blanquet y Jenny.)

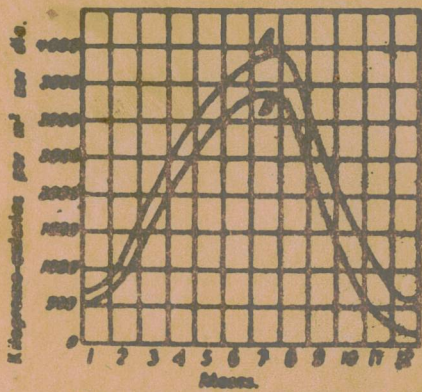


Fig. 45. — Energía solar recibida con limpiés media del día en las sitios montaños (A) y en las valles del norte (B) de Suiza. (Según Haeuser.)

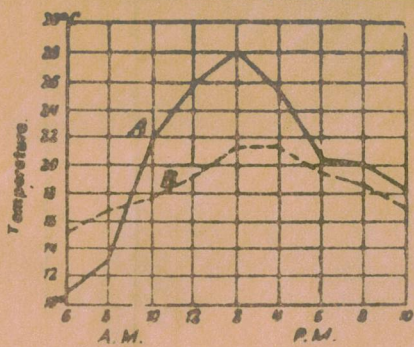


Fig. 48. — Variación diaria de la temperatura en un bosque caducifolio (B), y en una pradera inmediata, seca (A) en Bellichen, 17 de julio de 1925. (Según Hueck.)

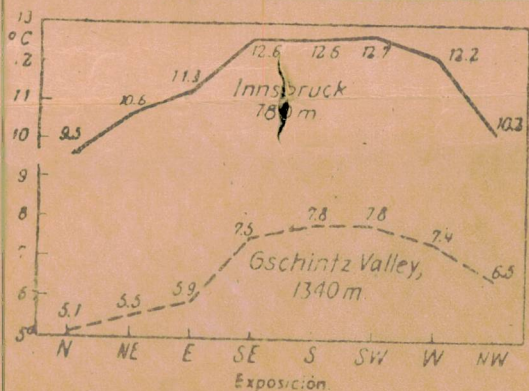


Fig. 73. — Influencia de la exposición sobre la temperatura media anual del suelo a una profundidad de 80 cm. Hechada en datos de Kerner.

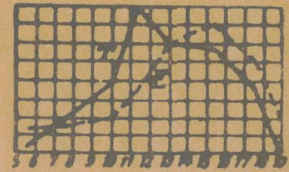


Fig. 75. — Variación diaria de la transpiración de *Eucalyptus* (T) y la evaporación de un atmómetro (E) en un día de la estación seca, mayo 25, en Tucson, Arizona. (Según Shreve.)

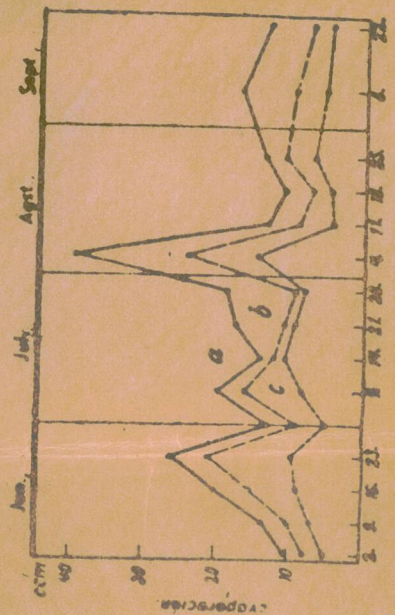


Fig. 76. — Gráficos de evaporación (a) para la pradera de *Andropogon*; (b) para el bosque bajo de *Corylus*; y (c) para el bosque de *Tilia americana*-*Ostrya virginiana* cerca de Peru, Nebraska. (Según Weeber.)

Fig. 11b.

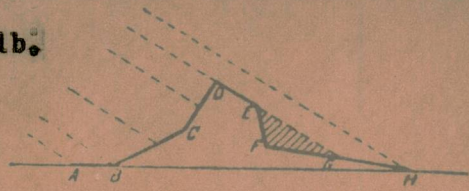


FIG. 132. - Diferencias de insolacion; C-D recibe la mayor radiación; D-E la menor; EFG queda en la sombra. (Según De Martonne.)



FIG. 63. - Un desierto edáfico ocasionado por la erosión; las "bad lands" de Dakota del Sur. (Fotografía de Hayward).

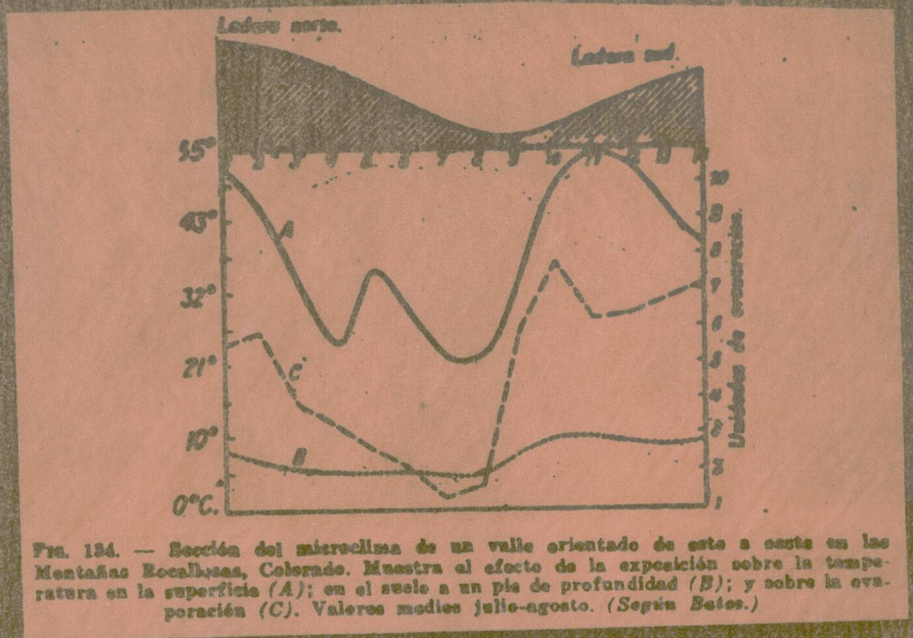


FIG. 134. - Sección del microclima de un valle orientado de este a oeste en las Montañas Rocalvasas, Colorado. Muestra el efecto de la exposición sobre la temperatura en la superficie (A); en el suelo a un pie de profundidad (B); y sobre la evaporación (C). Valores medios julio-agosto. (Según Bates.)



FIG. 131. - Límites de bosques sometidos a distintas exposiciones en las dolomitas del Engadina inferior, Suiza; muestran las regiones climax de los bosques de Pinus-Larix (A), del Caricion curvulus (B) y de las comunidades de líquenes crustáceos (C).

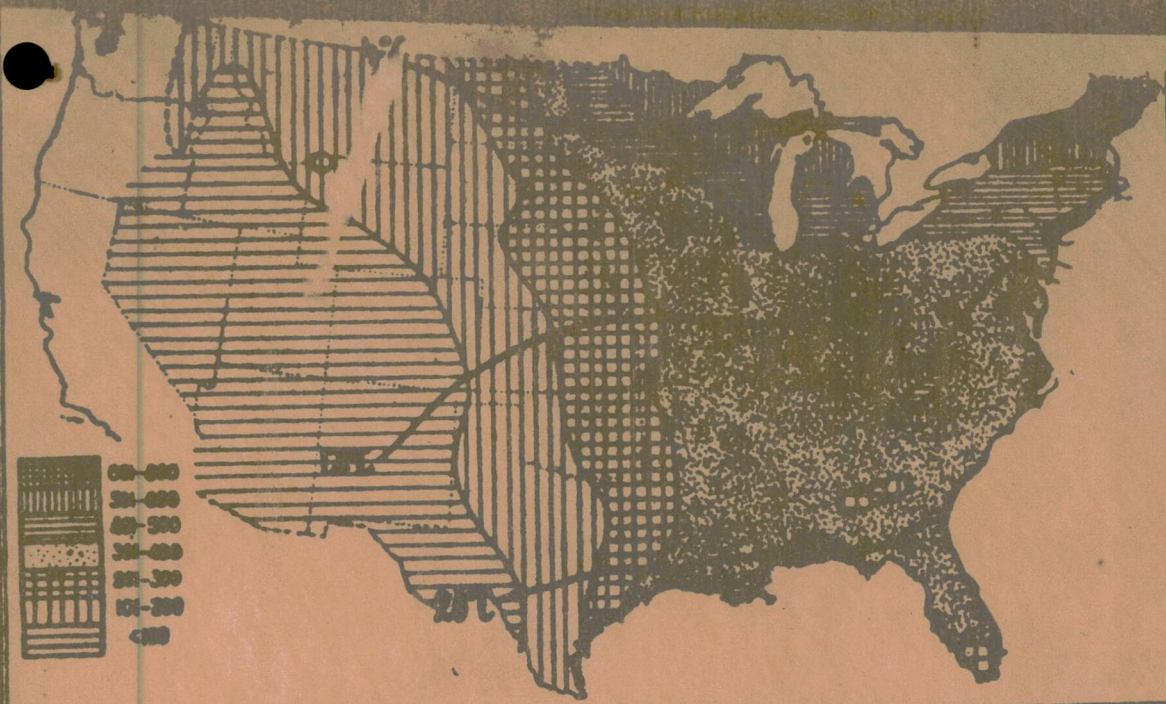


FIG. 79. — Mapa del factor humedad (coeficiente N. S.) de los Estados Unidos, y las isotermas anuales de 4, 12 y 20 grados centígrados. (Según Jenyns.)



FIG. 82. — Forma de bandera de un pino, situado en el límite del bosque, producida por el viento en los Alpes.

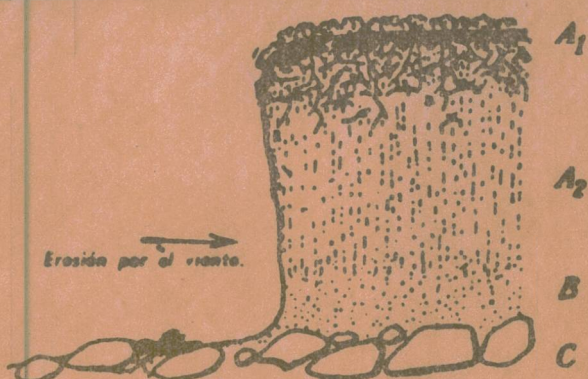


FIG. 87. — Erosión frontal del viento y perfil del suelo en el Empetretum-Vacciniatum sobre el calcáreo de los montes del Tatra.



FIG. 81. — Formas de árboles ocasionadas por el viento. *Cupressus macrocarpa* deformados por los vientos oceánicos. Costa Pacífica de California.

ELEMENTS OF HYDROLOGY

barometer serves a similar purpose. The pressure of the atmosphere diminishes with altitude approximately in accordance with the following simple equation, which serves every ordinary engineering purpose.

$$\text{Log barometric pres. in ins. mercury} = 1.47712 - \frac{\text{altitude in ft}}{64,000}$$

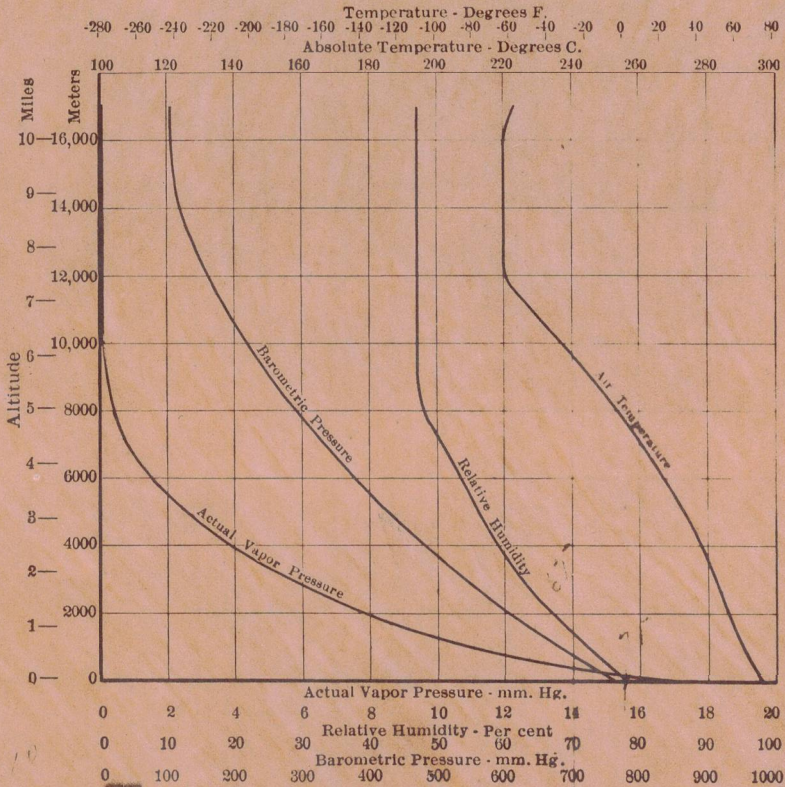
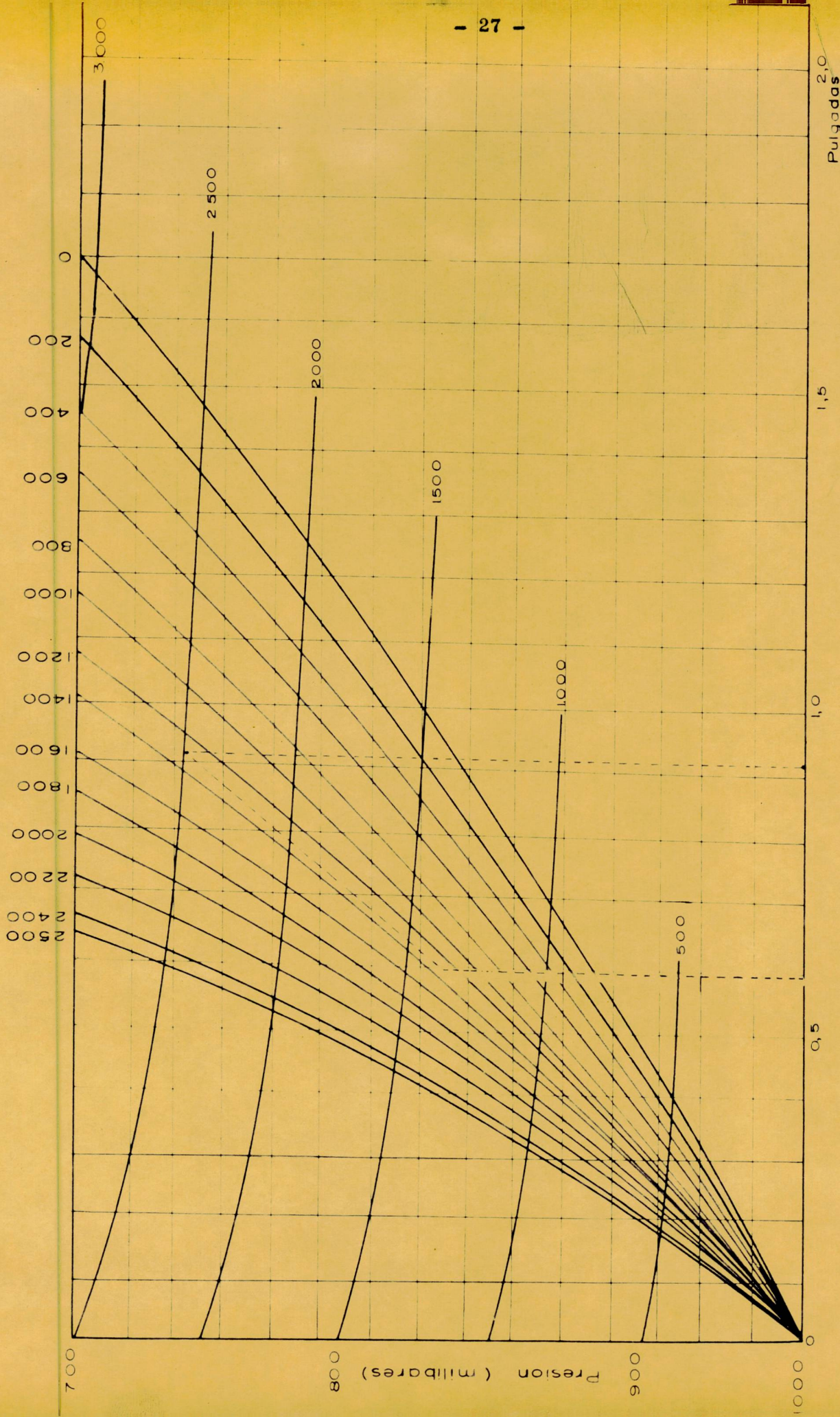


FIG. 14. — Variation of Meteorological Elements with Altitude.

Fig. 14 is a typical graph of the reduction in barometric pressure, temperature, relative humidity and water vapor content of the atmosphere, with increase in altitude, over the Atlantic Ocean in middle latitude in September, 1907. This figure is based on data observed by the U. S. Weather Bureau by means of "sounding balloons."

Altura de la localidad s/m



Aguá precipitable

Fig12. Cantidad precipitable de agua según la altura media de la localidad. (Transformación del abaco del US Weather Bureau)

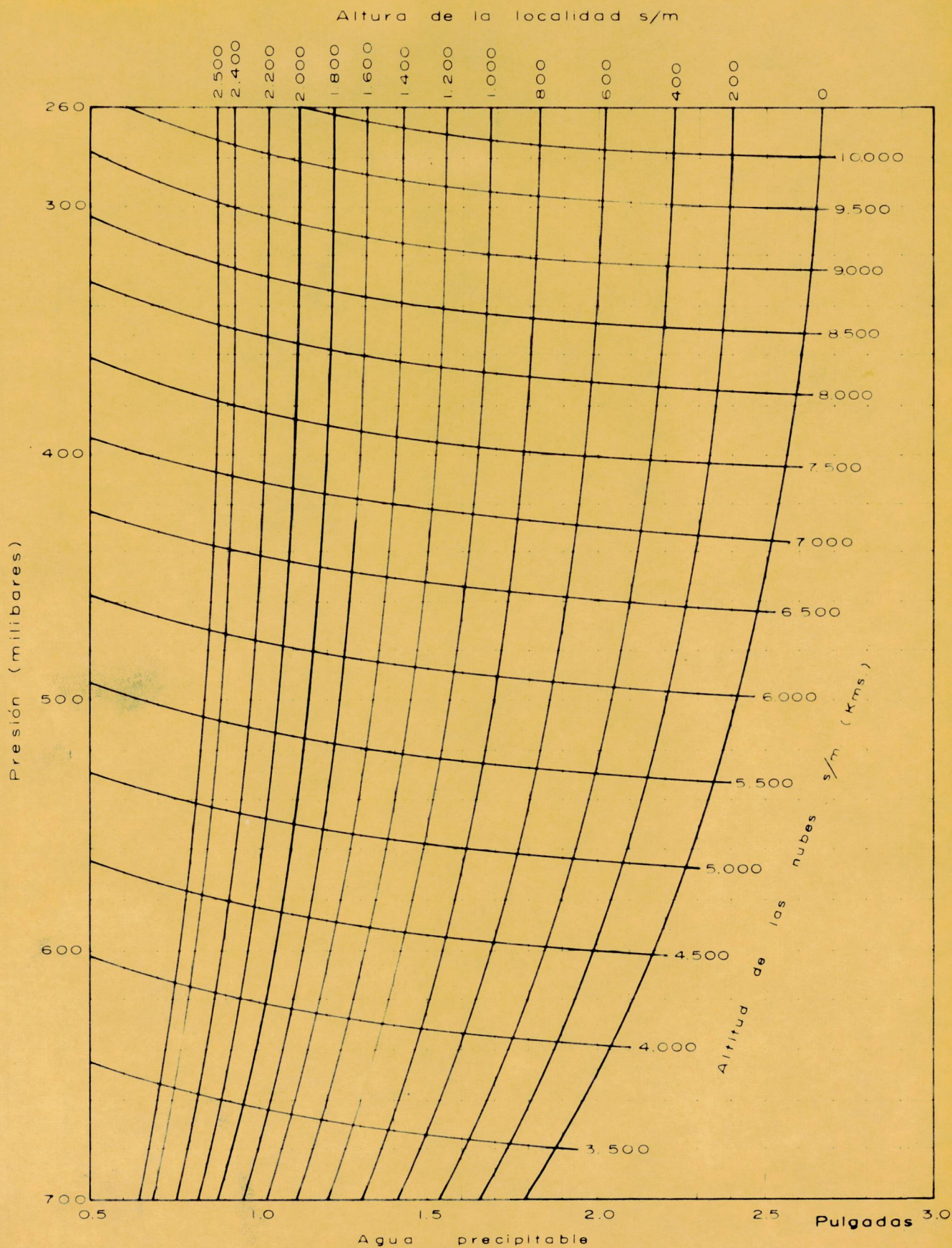


Fig. 13 Cantidad precipitable de agua según la altura media de la localidad. (Transformación del ábaco del U.S. Weather Bureau.)

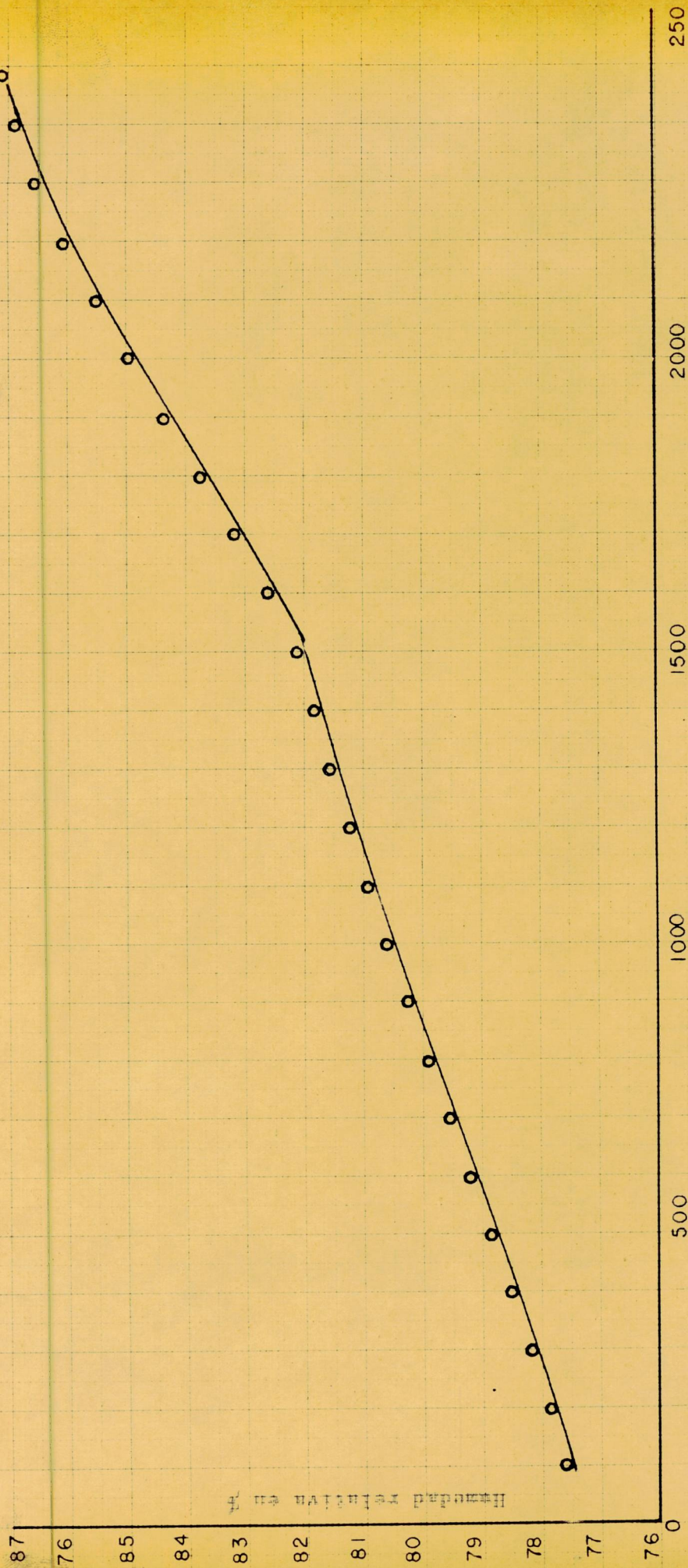


Fig. 15 Humedad relativa media anual variable con la altitud, sin corrección por presión atm, (col. 4, C. VI) véase al comparar con la forma de variación de La N. H., dada por Meyer para Estados Unidos, el aburrido que compare esta hipótesis para la evaluación del elemento meteorológico de Venezuela.

C U A D R O N° I-5.

Tensiones máximas de vapor a diferentes altitudes s/m

(1) <u>Altitud</u>	(2) <u>Sin corrección por presión at- mosférica</u> (F en mms.)	(3) <u>Considerando la variación inversamente prop. a la - presión barom.</u> (F' = $\frac{F}{P}$ en mms.)
0	26.7	26.7
100	25.8	26.09
200	24.90	25.47
300	24.00	24.82
400	23.14	24.21
500	22.3	23.60
600	21.39	22.89
700	20.64	22.34
800	19.92	21.81
900	19.25	21.32
1000	18.58	20.82
1100	17.86	20.24
1200	17.28	19.81
1300	16.51	19.15
1400	15.95	18.71
1500	15.40	18.28
1600	14.70	17.65
1700	14.14	17.17
1800	13.60	16.71
1900	13.06	16.24
2000	12.56	15.80

C U A D R O N° I-6

NOTA: Véase Fig. 12.

Altitud equivalente al punto de rocío, fundada en los datos de
tensión de vapor local

(Condiciones medias empleadas para la transformación del ábaco)
del U.S. Weather Bureau, a hoyas venezolanas

(1)	(2)	(3)
<u>Tensión de</u> <u>vapor local</u> (Col.2, C.II)	<u>Punto de</u> <u>rocío</u> (aplicación) del C.I.	<u>Altitud</u> s/m
e_h en mms.	grados °	metros
20,7	22,7	0
20,1	22,2	100
19,4	21,6	200
18,8	21,1	300
18,2	20,6	400
17,6	20,1	500
17,0	19,5	600
16,4	19,0	700
15,9	18,4	800
15,4	17,9	900
14,9	17,4	1000
14,4	16,9	1100
13,9	16,4	1200
13,4	15,9	1300
13,0	15,4	1400
12,6	14,9	1500
12,2	14,3	1600
11,8	13,8	1700
11,4	13,3	1800
11,0	12,7	1900
10,7	12,3	2000
10,3	11,7	2100
10,0	11,3	2200
9,7	10,8	2300
9,3	10,2	2400
9,0	9,7	2500

B. PRECIPITACION PLUVIAL

1. Aplicación de la ecuación general de los gases al aire húmedo.

A las respectivas notaciones se les da el significado que se destaca a continuación:

p = presión exterior que actúa sobre el gas.

v = volumen específico, es decir volumen que ocupa cada 1000 gramos de gas

$\frac{l}{v}$ = peso específico, es decir peso contenido en el volumen unitario.

R = constante característica del gas.

T = $273^{\circ} + t^{\circ}$ = temperatura absoluta.

La ecuación general de los gases, expresada en general por la fórmula:

$$pv = RT \quad 1)$$

$$\text{o } p \frac{l}{v} = \frac{p}{\frac{l}{v}} = RT$$

Se manifiesta en forma explícita respecto al peso específico por:

$$m = \frac{p}{RT} \quad 2)$$

Mediante experiencias de laboratorio, Regnault determinó, en la latitud $48^{\circ} 50' 14''$, el peso específico del aire en condiciones normales, es decir el peso de un m³. de aire a 0° de temperatura y 760 mm. de presión atmosférica, resultando ser $m = 1.293, 187$ grs.

Si estos valores normales se sustituyen en la ecuación 2), se tendrán calculada la constante R para el aire seco:

$$1.293,187 = \frac{1}{R \text{ a.s.}} \times \frac{760}{273}$$

$$\text{luego: } \frac{1}{R \text{ a.s.}} = \frac{273 \times 1.293,187}{760} = 464,5$$

Por otra parte sabiendo que la densidad del vapor de agua es 0.623 de la del aire seco:

3. Lluvia media precipitable sobre una región indeterminada. Aplicación para la hoya del Río Guaire.

Definición.- Se entiende por lluvia precipitable, la cantidad de humedad contenida en el aire desde un cierto nivel, que en nuestro caso es el co-rrespondiente a la altitud media de la hoya, hasta una altura virtual, que deberá ser estimada en atención a factores climáticos locales.

La Col. 5 del C. IV. da la lluvia precipitable por m². de superficie, -acumulada desde el nivel o hasta 10000 m.s/m.

Por diferencia de dos valores que correspondan a dos altitudes, se tendrá la cantidad de humedad potencialmente precipitable entre estos límites mencio-nados.

La altura acertada, deberá ser aquella que corresponda a las nubes virtuales que provoquen la precipitación anual media, con una frecuencia estimada mediantе observaciones o por comparación con una hoya fisiográficamente equiva-lente.

Habiéndose partido de datos extractados del Boletín de Malariología y del Atlas Climatológico Provisional de Venezuela, en la determinación de la preci-pitación media anual sobre la hoya del Río Guaire, se llegó a un valor diferen-te en 9,49% al expresado por el INOS, para un período de 67 años.

Las cifras numéricas contempladas en el cálculo respectivo, véase Pag. fueron:

<u>Altura media</u> <u>de la hoya.</u>	<u>Altura virtual de nu-</u> <u>bes productoras de la</u> <u>precipitación media -</u> <u>anual</u>	<u>Frecuencia media</u> <u>de estas lluvias</u> <u>que engloban to-</u> <u>do el fenómeno.-</u>
s/m	s/m	%
1300 m.	2500	34

La cifra calculada fue de 896 mm. en contraposición de 990 mm. que corres-ponde a INOS.

4. Transpiración del ábaco de lluvia precipitable del U.S. Weather Bu---

reau.

a) Se observa que este ábaco tiene como variable a el punto de rocío, y - que éste es expresable por la tensión de vapor altitudinal; es decir, que la - condensación de la humedad media, contenida desde cierta altitud y patentizada por la tensión e_h (col. 1), se produce sobre una hoya, solamente cuando la temperatura desciende lo suficiente para que e_h sature de humedad el ambiente.

b) La temperatura a la cual se produce la condensación, punto de rocío, - se determina equiparando e_h a la tensión máxima de vapor, F , (col. 2, C. I) y obteniendo la temperatura equivalente en la Col. 1, del mismo cuadro.

c) Se ha efectuado este proceso, sustituyendo las temperaturas de rocío e interpolando las curvas para altitudes convenientes, según se detalla en el Cuadro N° I-6 y las Figs. 12 y 13.

d) Aplicando el ábaco de la Fig. 12 para la hoya del Río Guaire se tiene como lluvia precipitable, el valor diferencial de 3,15 pulgadas.

Luego:

$$P_m = 1,1 \times 2,54 \times 3,15 \times 0,34 \times 365 = 1092 \text{ mm.}$$

$$\text{Diferencia con 990 mms.} = + 10.3\%$$

C. EVAPORACION Y EVAPOTRANSPIRACION

1. Aplicaciones derivadas de la Fórmula de Meyer.

Nos concretaremos a servirnos convenientemente de la fórmula de Meyer, basada en la Ley de Dalton, en la cual la evaporación por unidad de superficie, se expresa por:

$$E = K (F_{ag} - e)$$

Donde F_{ag} es la tensión máxima de vapor correspondiente a la temperatura del agua, reemplazable por la tensión máxima, F , del aire adyacente, puesto que en condiciones medias anuales la temperatura del agua es sensiblemente igual -

que la del aire. La fórmula anterior se convierte en:

$$E = K (F - e) \quad 3)$$

K es una magnitud dependiente de diversos factores, entre los cuales nos interesa enumerar únicamente al viento y a la presión barométrica, en atención de que el análisis que se lleva a cabo se tiene como datos meteorológicos, cifras medias de la evaporación, el viento y presión barométrica.

La acción del viento está tomada en cuenta en la fórmula expedita de Meyer.

$$E = C (F - e) \left(1 + \frac{v}{4.4}\right) \quad 4)$$

E, F y e en mms. C = coeficiente de evaporación v en m/s.

2. Criterios expuestos sobre la influencia de la presión barométrica en la evaporación.

Del concepto de que la disminución de presión debe favorecer en cierta forma la evaporación del agua, algunos autores como Mead, Russell y Tate establecen que la evaporación es inversamente proporcional a la presión barométrica; otros ingenieros que han empleado las ecuaciones energéticas, le conceden al efecto de la presión una reducida importancia.

De la observación del fenómeno se desprende que, si bien es cierto que la disminución de la presión barométrica con la altura facilita la convección ascendente del vapor de agua en la atmósfera, también es evidente que la disminución de temperatura reduce el déficit de saturación, contrarrestando el incremento de evaporación originado con el aumento de altitud.

3. Investigación efectuada sobre la influencia de la presión barométrica en la evaporación que se produce en Venezuela.

Ante este estado incierto de cosas, y siendo uno de nuestros objetivos determinar la variación de la evaporación media con la altitud en Venezuela,

correspondía verificar numéricamente la verosimilitud de los resultados a los -
cuales conducían las aseveraciones vertidas anteriormente, siguiendo dos alterna-
tivas que distinguimos con los Nos. 1 y 2.

La alternativa 1, consiste en no conceder ninguna influencia a la presión
barométrica sobre el fenómeno de evaporación, con los cambios en altitud.

La alternativa 2, investiga el efecto de la presión barométrica, motivando
diversos tanteos, entre los cuales el más fructuoso fue el de atribuir a la ten-
sión máxima de vapor saturado una variación inversamente proporcional con la pre-
sión atmosférica.

Los dos criterios expuestos, como asimismo sus subsecuentes desarrollos, -
están detallados en las Pags.

4. Exposición de los cálculos que involucra la alternativa 1.

Los pasos desarrollados son:

a) Prescendencia de la acción del viento y obtención de las evaporaciones -
reducidas, local, E_o y media E_{om} .

b) Corrección de E_{om} , por tensión de vapor.

c) Cálculo del coeficiente, C, de evaporación.

Ejemplo:

<u>Estación</u>	<u>Altitud</u>	<u>Evaporación</u> <u>media anual</u>	$1 + \frac{v}{4.4}$	<u>Evaporación</u> <u>reducida</u> E_o
9. Pampanito	375	589	1,273	463

Según la col. 4 del C. VI, a la altitud de 375 m. le corresponde una H.R. -
de 78.4% y un C.H.R. de 21.6%.

Los mismos valores locales son: H.R. = 85%; C.H.R. = 15%.

La razón de complementos es: $\frac{21.6}{15.0} = 1.44$ (col. 7, C. VII)

$$E_{mo} = 1.44 \times 463 = 667$$

Las temperaturas y tensiones máximas de vapor de agua son:

	<u>Temp.</u> t°	<u>Tensión max.</u> (F mms.)	
1. Valor medio ex- pectativo, se- gún la altitud.	24.8 (Col.4,C.II)	23.4 (Col.2,C.I)	Razón de tensiones: $\frac{23.4}{24.8} = 0.94$ o sea que debe efectuarse una - corrección de = 6% a E _{mo} (Col.9, C. VII)
2. Pampanito.	25.7 (Boletín N° 8)	24.8 (Col.2,C.I)	

Finalmente, siendo el déficit de saturación equivalente = 4.9 mm. (Col.2,C. VI); el coeficiente buscado, C, será:

$$C = \frac{667 \times 0.94}{4.9} = 128 \quad (\text{Col. 10, C.VII})$$

De manera similar se ha procedido en la obtención de las restantes cifras de la columna 10 del Cuadro VII.

Por otra parte, mediante los valores existentes en los Cuadros I y II, se ha calculado el déficit de saturación y humedad relativa en función de la altitud.

5. Clasificación suplementaria de zonas climáticas, cuando se desprecia la acción de la presión atmosférica, en la evaporación aunque la humedad relativa resultante está abiertamente en contradicción con la que aparece en los datos meteorológicos de Meyer? Fig. 10 ; se ha proseguido con el análisis iniciado en la alternativa 1, en el entendimiento de que en un estado anormal de disgregación la dispersión más pronunciada del coeficiente, C, de evaporación caracteriza las tendencias individuales de los microclimas correspondientes a las 26 estaciones meteorológicas agrupadas en el Cuadro V, como luego se podrá confrontar en el Cuadro VII y Fig. 15.

Efectivamente, dentro de la clasificación general de la climatografía venezolana, que define como zonas tropical y subtropical aquellas que tienen por límites extremos 0-800 y 800-2000 m. respectivamente; la agrupación peculiar de los coeficientes de evaporación de las estaciones meteorológicas estudiadas, ha permitido clasificar en forma más concreta y de acuerdo a la influencia sobresaliente -

del microclima local las cuatro zonas que se indican:

1. Zona Tropical.
2. Zona Tropical Modificada.
3. Zona Subtropical.
4. Zona Subtropical Modificada.

La exteriorización de esta alternativa, constituye un indicador del microclima local, que se verá más adelante, puede ser utilizado en forma ventajosa.

En lo concerniente a la clasificación climática de las estaciones meteorológicas estudiadas, de acuerdo a los conceptos emitidos se tiene:

C U A D R O N° B-1

<u>Nº y Estación</u>	<u>Clima Asignado</u>
Grupo a)	
1. Barcelona (Gr. Agr).	Zona Tropical
2. Coro (Dep. MOP).	" "
3. La Pica.	" "
4. Pariaguán.	" "
5. San Carlos (MAC).	" "
7. Cumanacoa (MAC).	" "
Grupo b)	
6. Agua Blanca (MAC).	Zona Tropical Modificada.
8. Guatire (MOP).	" " "
9. Pampanito (MAC).	" " "
Grupo c)	
10. Maracay (Boca del Río).	Zona Subtropical
13. San Felipe (MAC).	" "
14. Santa Rosa (MAC).	" "
15. Valencia (Gr. Agr. Nagueaguá).	7 " "
17. Caripe (MAC).	" "
20. Churuguara (MAC).	" "
21. Observatorio Cagigal.	" "
Grupo d)	
16. San Cristóbal. (MAC).	Zona Subtropical Modificada.
18. El Valle (Inst. Exp.) (MAC).	" " "
19. Güigüe (Esc. Cafetera de Altamira).	" " "
22. El Recreo (MAC).	" " "
23. Sanare (MAC).	" " "
24. Mérida (Gr. Agr.).	" " "
25. Bailadores (MAC).	" " "

NOTA: Véase Fig. 15.

6. Desarrollo de los cálculos relativos a la alternativa 2.

La investigación de la alternativa 2 ha dado resultados ampliamente satisfactorios y sobre ellos se fundamenta el desarrollo posterior de este estudio.

Continuando con la exposición del ejemplo anterior, en su fase relacionada con la alternativa 2, se tiene:

	<u>Altitud</u>	<u>Presión Bar.</u> (atm)	<u>H.R. corregida</u> (p x H.R.equiv) %	<u>Compl. de H.R.</u> <u>corregida</u> %
	300	0.9668		
Pampanito	375	0.9585	0.9585x78.4 = 75.2	1 - 75.2 = 24.8
	400	0.9558		

<u>Altitud</u>	<u>Tensión max.</u> <u>de vapor corr.</u> $F' = \frac{F}{p}$	<u>Tensión de</u> <u>vapor local</u> <u>media.</u> e_h	<u>Déficit de</u> <u>saturación</u> <u>corregido</u> D.S. = $F - e_h$	<u>Coefficiente</u> <u>de evapora-</u> <u>ción anual</u> <u>corregido</u>	<u>Déficit</u> <u>saturación</u> <u>adoptado.</u>
300	$\frac{24.00}{0.9668} = 24.82$	18.80	6.02		
375			6.01		
400	$\frac{23.14}{0.9558} = 24.21$	18.20	6.01		

$$H.R. \text{ corregida} = \frac{e_h}{F'} = \frac{e_h}{\frac{F}{p}} = \frac{p e_h}{F} \quad p \text{ H.R.}$$

$$C = \frac{463 \times \frac{24.8}{6.01} \times 0.94}{15.0 \times 6.01} = \frac{463 \times 24.8 \times 0.94}{15.0 \times 6.01} = 119.7 \quad 120$$

NOTAS ACLARATORIAS:

<u>Designación</u>	<u>Equivalencia</u>	<u>Observaciones</u>	<u>Referencias o</u> <u>Resultados</u>	
			<u>Col.</u>	<u>Cuadro</u>
1. Altitud: 375 m.	Atm. local: 0.9578	Valor interpo- lado.	3	II
2. H.R. correg.	p x H.R.	Fórmula trans- formada, de a- cuerdo a la va- riación de F.	3	VII
3. Déficit de - saturación.	6.01	Valor interpo- lado.		
4. Coeficiente C' corregido	120	Diferencia per- centual con el - de la curva prob.	9	VIII
5. Déficit de sa- turación adop- tado.	diversos valores.	Todos ellos sobre una curva compen- sadora.	10	VIII

6. Siendo la parábola probable que enlaza el coeficiente, C', con la altitud.

$$C' = 0.1 H^2 = 4.5 H + 142.2 \quad \text{H expresado en centenas de metros. Véase Fig. 16.}$$

Para Pampanito de:

$$\begin{aligned} C' &= 0.1 \times (3.75)^2 - 4.5 \times 3.75 + 142.2 \\ &= 1.41 - 16.88 + 142.20 = \underline{126.73} \end{aligned}$$

7. Verificación numérica de la aproximación del cálculo de evaporación, a partir de la ley media probable.

Para juzgar acerca de la exactitud de la ley establecida revertimos los cálculos :

C U A D R O IX

(4)	(5)	(6)	(7)
<u>Déficit de sat. adoptado</u>	<u>Corrección por H.R. local.</u>	<u>Corrección por temp. local.</u>	<u>Evaporación reducida calculada.</u>
(Col. 10, C. VIII)			
6.0	$\frac{15.0}{24.8} = 0.61$	$\frac{24.8}{23.4} = 1.06$	$E_{oc} = 126.7 \times 6.0 \times 0.61 \times 1.06 = 491.6 \quad 492$

Siendo la evaporación reducida inicial, Col. 7, Cuadro V, $E_0 = 463$.

La desviación relativa respecto al valor original de partida será:

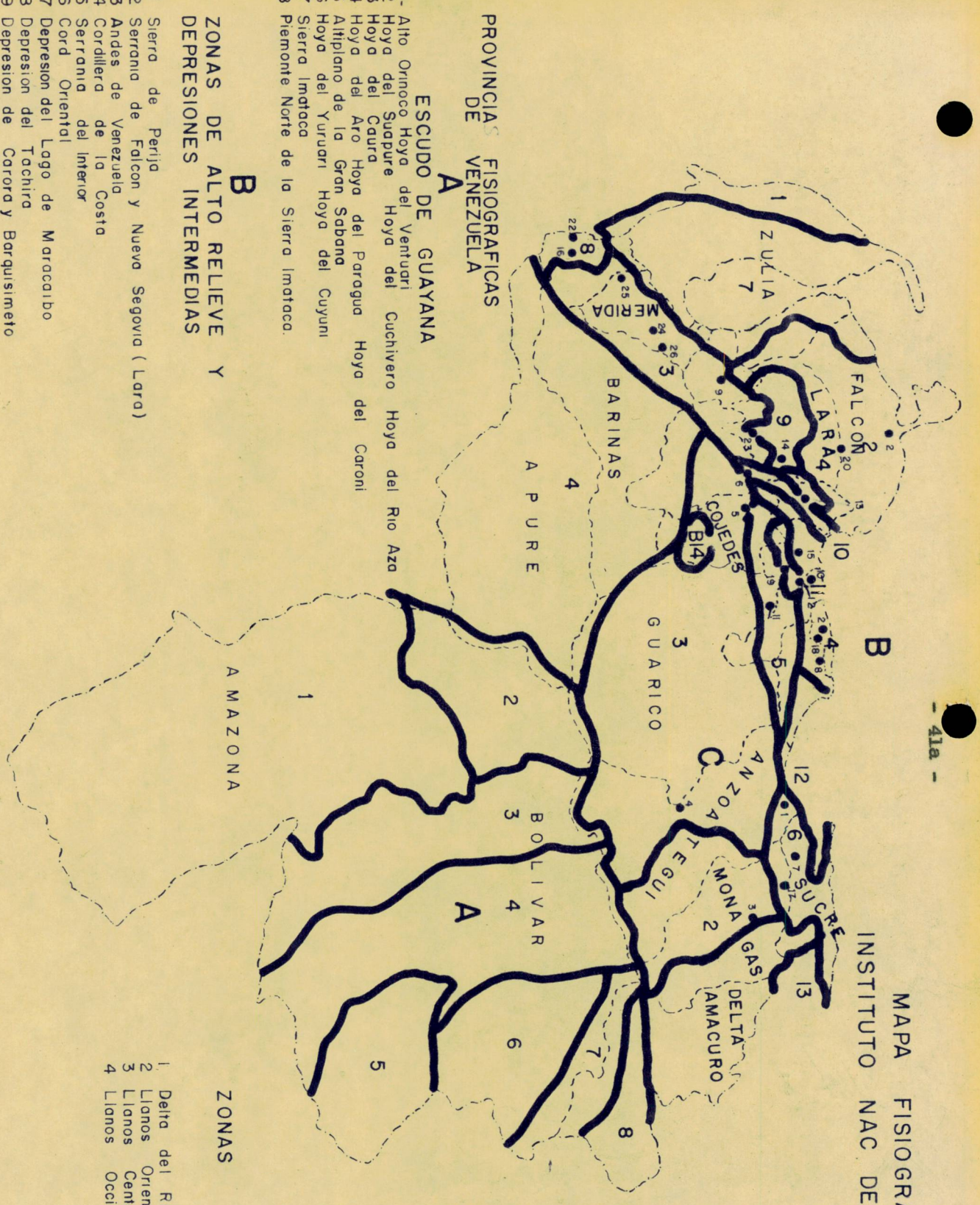
$$= \frac{492 - 463}{463} = \frac{29}{463} = 0.063 \text{ y la desviación porcentual.}$$

6.3% (Col. 9, Cuadro IX).

8. Conclusiones del estudio de la evaporación.

Habiéndose observado que las desviaciones porcentuales en general son aceptables, la desviación media standard es 13.9% y que la existencia de una desviación individual notable es aleccionadora puesto que proviene de la influencia marcada del microclima respectivo; se han considerado todos los valores obtenidos, así como los suplementarios como una base para determinar estadísticamente la ley probable de Evaporación Media Anual Reducida en Venezuela, a diferentes

MAPA FISIOGRAFICO TOMADO DEL
INSTITUTO NAC DE MINERIA Y GEOLOGIA



● = Posición de la Est. Meteorológica

PROVINCIAS FISIOGRAFICAS DE VENEZUELA

- A ESCUDO DE GUAYANA**
- 1- Alto Orinoco
 - 2 Hoya del Ventuari
 - 3 Hoya del Supure
 - 4 Hoya del Caura
 - 5 Hoya del Arco
 - 6 Hoya del Paragua
 - 7 Hoya del Yuruari
 - 8 Hoya del Gran Sabana
 - 9 Hoya del Cuyuni
 - 10 Hoya del Caroni
 - 11 Hoya del Aza
 - 12 Hoya del Piomonte Norte
 - 13 Hoya del Piomonte Sur
 - 14 Hoya del Piomonte Occidental
 - 15 Hoya del Piomonte Oriental
 - 16 Hoya del Piomonte Central
 - 17 Hoya del Piomonte del Norte
 - 18 Hoya del Piomonte del Sur
 - 19 Hoya del Piomonte del Oeste
 - 20 Hoya del Piomonte del Este
 - 21 Hoya del Piomonte del Noreste
 - 22 Hoya del Piomonte del Suroeste
 - 23 Hoya del Piomonte del Noroeste
 - 24 Hoya del Piomonte del Sureste
 - 25 Hoya del Piomonte del Suroeste
 - 26 Hoya del Piomonte del Noroeste
 - 27 Hoya del Piomonte del Suroeste
 - 28 Hoya del Piomonte del Noroeste
 - 29 Hoya del Piomonte del Suroeste
 - 30 Hoya del Piomonte del Noroeste

B ZONAS DE ALTO RELIEVE Y DEPRESIONES INTERMEDIAS

- 1 Sierra de Perija
- 2 Serranía de Falcon y Nueva Segovia (Lara)
- 3 Andes de Venezuela
- 4 Cordillera de la Costa
- 5 Serranía del Interior
- 6 Cord Oriental
- 7 Depresion del Lago de Maracaibo
- 8 Depresion del Tachira
- 9 Depresion de Carora y Barquisimeto
- 10 Depresion del Yaracuy
- 11 Depresion del Lago de Valencia
- 12 Depresion del Rio Carriaco
- 13 Depresion de Paria
- 14 Region del Baul

C ZONAS DE BAJO RELIEVE LLANOS

- 1 Delta del Rio Orinoco
- 2 Llanos Orientales
- 3 Llanos Centrales
- 4 Llanos Occidentales

Fig. 14a.

Distribución Geográfica de las Estaciones Meteorológicas, en las cuales se analizó el proceso de evaporación.

Fig. 14b.

UBICACION DE LAS ESTACIONES METEREOLÓGICAS

Nº	Estación Meteorológica	Coordenadas Geográficas		Altitud sobre el nivel del mar (mts)
		Longitud	Latitud	
1.	Barcelona (Gr. Agr.) Edo. Anzoátegui.	W64°40'06"	N10°06'30"	6
2.	Coro (Dep. MOP) Edo. Falcón.	W69°45'00"	N11°23'00"	20
3.	La Pica Edo. Monagas.	W63°10'40"	N 9°44'50"	74
4.	Pariaguan Edo. Anzoátegui.	W64°44'00"	N 8°46'00"	123
5.	San Carlos (MAC) Edo. Cojedes.	W68°36'00"	N 9°39'32"	140
6.	Agua Blanca (MAC) Edo. Portuguesa.	W69°04'25"	N 9°39'30"	170
7.	Cumanacoa (MAC) Edo. Sucre.	W63°55'00"	N10°15'00"	240
8.	Guatire (MOP) Edo. Miranda.	W66°32'30"	N10°29'00"	321
9.	Pampanito (MAC) Edo. Trujillo.	W70°29'51"	N 9°24'54"	375
10.	Maracay (Boca del Río) Edo. Aragua.	W67°38'25"	N10°17'47"	415
11.	San Juan de Los Morros (MAC) Edo. Guárico.	W67°20'42"	N 9°53'00"	430
12.	Maracay (La Providencia)(MAC) Edo. Aragua.	W67°35'10"	N10°15'47"	450
13.	San Felipe (MAC) Edo. Yaracuy	W68°44'04"	N10°20'38"	255
14.	Santa Rosa (MAC) Edo. Lara.	W69°15'05"	N10°03'46"	475
15.	Valencia (Gr. Agr. Naguanagua) Edo. Carabobo.	W68°00'40"	N10°15'20"	480
16.	San Cristóbal (MAC) Edo. Táchira.	W72°14'20"	N 7°46'11"	830
17.	Caripe (MAC) Edo. Monagas.	W63°34'40"	N10°10'00"	870
18.	El Valle (Inst. Exp.) (MAC), Distrito Federal.	W68°50'52"	N10°29'07"	885
19.	Güigüe (Esc. Cafetera de Altamira) Edo. Carabobo.	W67°47'02"	N10°05'16"	885
20.	Churuguara (MAC) Edo. Falcón.	W69°32'44"	N10°48'50"	900
21.	Observatorio Cagigal Caracas Distrito Federal.	W66°55'21"	N10°30'34"	912
22.	El Recreo Est. de Zootecnia (MAC) Edo. Táchira.	W72°24'00"	N 7°44'00"	1268
23.	Sanare (MAC) Edo. Lara.	W69°39'31"	N90°44'44"	1352
24.	Mérida (Gr. Agr.) Edo. Mérida.	W71°09'00"	N 8°35'30"	1590
25.	Bailadores (MAC) Edo. Mérida.	W71°48'00"	N 8°16'00"	1750
26.	Mucuchies (MAC) Edo. Mérida.	W70°55'29"	N 8°44'52"	2980

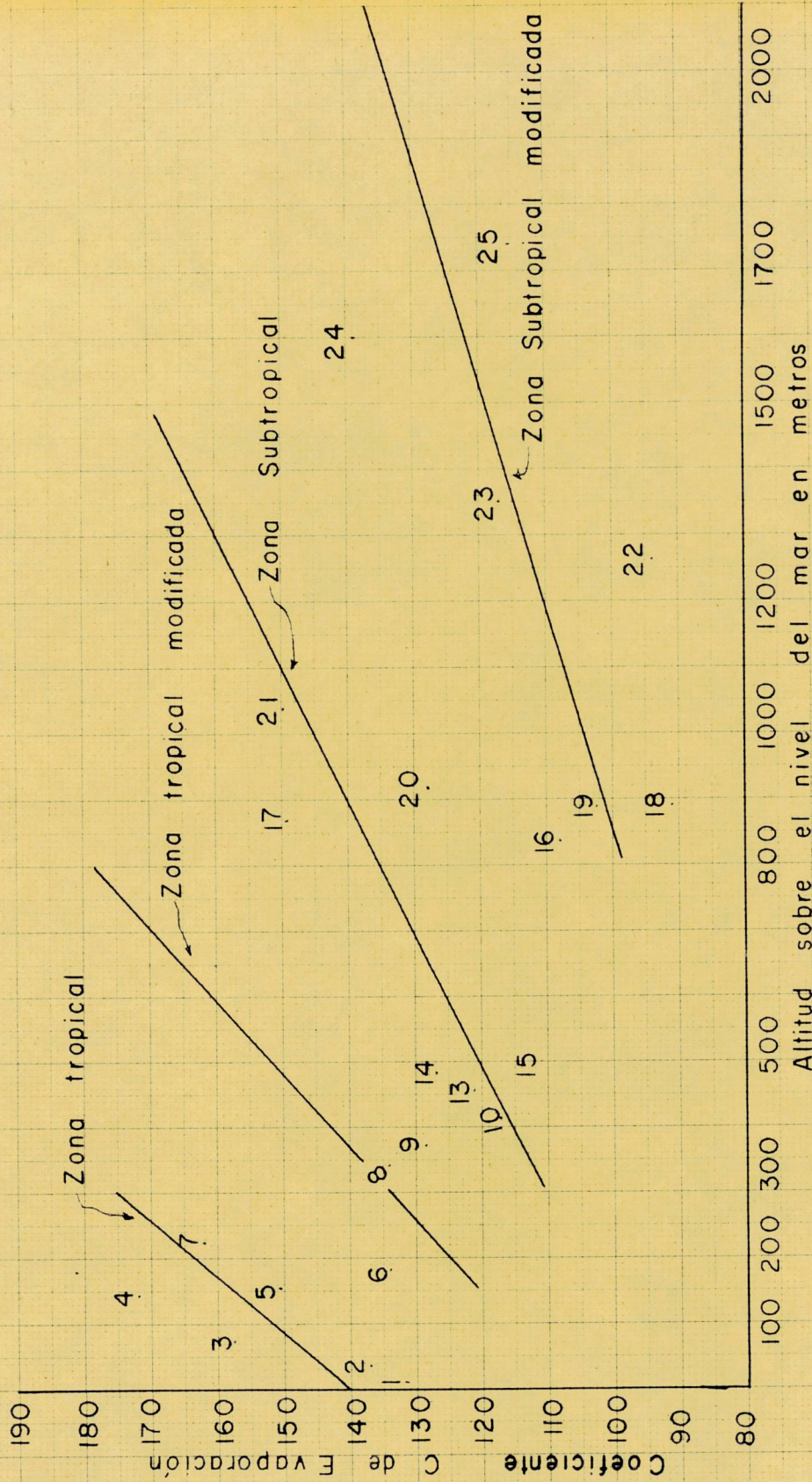


Fig 15 Valor del Coeficiente C de Evaporación con la Altitud s/m (Alternativa I; Sin influencia de la presión barom)

3 N° y Coeficiente de Evaporación de la Estac. Metereológica

— Líneas rectas probables que clasifican e interpretan los valores dispersos

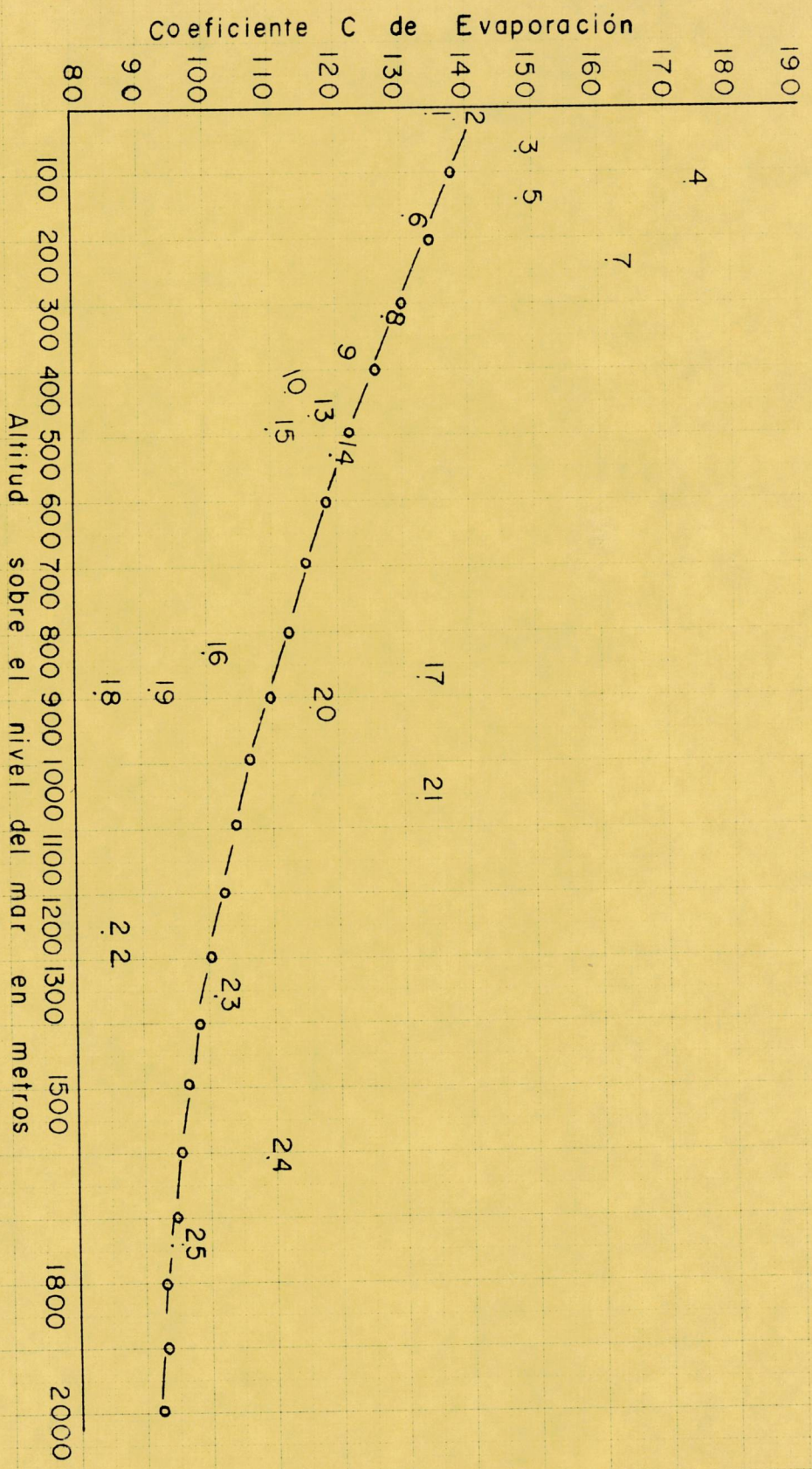


Fig 16 Valor del Coeficiente C' de Evaporación con la Altitud s/m
(Alternativa 2; corrección por pres. barom.)

3 N° y Coeficiente de Evaporación de la Estac. Meteorológica
Curva media probable que interpreta los valores dispersos

altitudes.

NOTA:

<u>Promedio de desviaciones porcentuales</u>	<u>Suma de las desviaciones cuadráticas, respecto al promedio</u>	<u>Promedio de las desviaciones cuadráticas</u>	<u>Desviación media standard.</u>
Col. 9, C. IX	$(\sum (\Delta V)^2)$	$\sum \left(\frac{\Delta V^2}{n} \right)$	$(\sigma = \sqrt{\frac{\sum \Delta V^2}{n}})$
1.23%	44568.1	193.77	13.9%

El número, n, de estaciones es de 23.

9. Criterio definitivo empleado para calcular la evaporación de una localidad.

Estando ya preparado el camino, es ahora que se hace uso de la clasificación establecida en la alternativa 1, para regular aún más las desviaciones de evaporación, aplicando diferentes criterios según que las estaciones se caracterizan o no por estar bien conformadas a las condiciones medias equivalentes.

Uno de los exponentes más notables del clima local, es su humedad relativa y en los párrafos que siguen se trata de prejuzgar cual debe ser su magnitud probable de acuerdo con la localidad, para influir en la evaporación y viceversa.

Es de esperar que la evaporación de lugares encajonados, o próximos a serranías o depresiones, se realice bajo condiciones bastante anormales. Consiguientemente, el microclima respectivo debe hacer prevalecer fuertemente sus expresiones climáticas sobre las que están señaladas en el presente estudio, como valores medios. Por lo tanto, en estos casos, en el cálculo de la evaporación debe mantenerse inalterada la cifra que arroja la humedad relativa media local. Tal es el caso de las estaciones de clima modificado 6, 8, 9, 16, 18, 19, 22, 23, 24 y 25.

En cambio estaciones similares a las designadas con los Nos. 1, 2, 3, 4, 5,

7, 10, 13, 14, 15, 17, 20 y 21, es decir, todas aquellas que manifiestan sus características climáticas muy poco diferentes de los valores medios, deben tener su humedad relativa de cálculo en una región intermedia entre la que está registrada por la estación meteorológica, y la virtud que señala el lugar.

10. Ilustración del criterio anteriormente expuesto.

Como una ilustración de lo expuesto, se han escogido al azar cinco estaciones, a saber: Pariaguán, Pampanito, Churuguara, Observatorio Cagigal y Bailadores.

El Cuadro X y los diversos datos meteorológicos tienen adecuada aplicación en las Pags. 84 y 87, donde se efectúan las operaciones aritméticas respectivas.

Las desviaciones porcentuales obtenidas con los nuevos criterios, pueden compararse con aquellas registradas en el Cuadro VIII, notándose que ha existido una aminoración en las discrepancias y que los valores finales son satisfactorios, como se resalta en el cuadro que sigue.

<u>Estación</u>	<u>Desviaciones</u> <u>Porcentuales</u>	
	<u>Según Cuadro IX</u>	<u>Según cálculo registrado</u>
	<u>%</u>	<u>%</u>
4. Pariaguán.	- 20.3	- 17.3
9. Pampanito.	+ 6.3	+ 5.1
20. Churuguara.	- 9.2	- 6.6
21. Observatorio Cagigal.	- 22.1	- 10.4
25. Bailadores.	+ 3.2	+ 3.2

En definitiva, se considera que no podría haberse obtenido una mayor aproximación en vista de la calidad y cantidad insatisfactoria de datos recogidos.

Un estudio más exhaustivo sería admisible solamente si se subsana las deficiencias anteriormente anotadas.

Como respaldo final a la hipótesis sustentada en la variación inversamente proporcional de la evaporación respecto a la presión barométrica, el Cuadro XI y Fig. 11 señalan su supuesta consistencia.

11. Evaporación desde el terreno humedecido.

Finalizado el estudio de la evaporación exteriorizada por los evaporímetros, encaramos el aspecto más importante que es la evaporación desde el terreno humedecido.

Como una demostración de que estamos impuestos de los criterios sustentados por Transeau y Meyer sobre la influencia de la topografía, clase de terreno y cobertura vegetal, transcribimos los conceptos fundamentales así como los cuadros pertinentes, en Pags. 90 y 91.

Los gráficos de Meyer relativos a evaporación de agua desde el terreno humedecido (incluyendo la intercepción del follaje de los árboles) y la transpiración de las plantas, están mostrados en las Figs. 8 y 8a.

Las lecturas provenientes del ábaco de evaporación de Meyer, deben ser afectadas, en líneas generales, por un coeficiente indicado en el Cuadro XIII, que a su vez está controlado en cierta medida por la cantidad mensual de transpiración, que sabemos se obtiene igualando el área de la curva base (Fig. 8a.) a la cifra que corresponde a la transpiración estacional (aproximadamente de 8 a 9 meses) de la clase de plantas, que componen la cobertura del suelo, y obteniendo los valores mensuales correctos.

Se observará más adelante que el efecto de transpiración para Venezuela ha sido traducido (en cierta forma) por el número de días lluviosos y horas de sol de cada localidad. Es evidente que el proceso de transpiración deben manifestarse por índices apropiados, en los cuales se hallan involucrados ambos factores.

En nuestro estudio transformamos convenientemente para el medio venezola-

no, la fórmula de evapotranspiración potencial de Hamond y el ábaco, mencionado, de evaporación de Meyer.

12. Razonamientos sobre transformaciones efectuadas.

Llegados a esta etapa, nos pronunciamos inequívocamente sobre las repercusiones de las transformaciones ejecutadas.

La definición de evapotranspiración potencial es "aquella que se produce desde el terreno continuamente humedecido"; es decir, que este fenómeno difiere de aquel que se registra en la naturaleza, puesto que en ésta existen épocas de sequía, en las cuales prácticamente no existe evapotranspiración.

Nótese que la fórmula de Hamond se refiere a la producción diaria del mencionado fenómeno, si esta relación indiscriminadamente se extendiera por ampliación para determinaciones medias anuales, se obtendría la formulación potencial del fenómeno; que solamente traduciría el valor real, después de efectuadas las correcciones necesarias en los cálculos.

Ahora bien, los datos obtenidos en nuestras fuentes documentales, se refieren a procesos fenoménicos medios anuales, es decir a condiciones conjuntas de humedad y sequía durante el año medio; y por consiguiente, al ser llevados a la fórmula transformada de Hamond, expresan plenamente los resultados de la evapotranspiración efectiva.

Respaldando a este hecho perfectamente explicable, se encuentra en primer término, la aproximación obtenida en el cálculo de la lluvia precipitable en la hoya del Río Guaire, y en segundo lugar, observaciones notables derivadas del examen de los cálculos; patentizando que el porcentaje promedio de Evapotranspiración respecto a la Evaporación Reducida Media, derivada de la lectura de los evaporímetros, es 57.5% (Cuadro XVII), valor muy parecido al de 59% encontrado por Meinzer y Stearns, en la hoya de Pomperang; y situación más notable todavía, los razonamientos y los cálculos desenvueltos, posteriores, conducen a resulta-

f) Por división de las cols. 5 y 4 de los Cuadros XXII y X, respectivamente, se obtiene las fracciones de la evapotranspiración efectiva respecto a la evaporación reducida, a distintas altitudes.

g) Todos estos números son un poco mayores de 0.575, valor medio correlativo que corresponde a los resultados obtenidos por aplicación de la fórmula de Hamond (Final del Cuadro XVII).

La amplitud del intervalo es $0.642 - 0.585 = 0.057$. Las divergencias con respecto al valor medio de 0.633, son muy pequeñas.

h) La desviación standard, $\sigma = 0.0187$ resulta de la elaboración de la siguiente Tabla.

T A B L A N° C-1

(1) <u>Coefficientes de proporcionalidad</u> (col. 6. C. XXII) v	(2) <u>Desviaciones respecto al promedio</u> Δv (10 ⁻²)	(3) <u>Desviaciones cuadráticas</u> $(\Delta v)^2$ (10 ⁻⁴)
0.642	0.9	0.81
0.644	1.1	1.21
0.645	1.2	1.44
0.646	1.3	1.69
0.646	1.3	1.69
0.646	1.3	1.69
0.646	1.3	1.69
0.647	1.4	1.96
0.648	1.5	2.25
0.646	1.3	1.69
0.645	1.2	1.44
0.643	1.0	1.00
0.641	0.8	0.64
0.636	0.3	0.09
0.633	0.0	0.00
0.627	- 0.6	0.36
0.617	- 1.6	2.56
0.611	- 2.2	4.84
0.604	- 2.9	8.41
0.594	- 3.9	15.21
0.585	- 4.8	23.04

T.M. = 0.633

$$\sum (\Delta v)^2 = 73.71$$

$$\begin{aligned} \sigma &= \sqrt{\frac{\sum (\Delta v)^2}{n}} \\ &= \frac{73.71 \times 10^{-4}}{21} \\ &= 0.0187 \end{aligned}$$

i) Finalmente el procedimiento, que designamos "de aproximación", aplicado a la verificación de los cálculos de evaporación desde el terreno humedecido arroja desviaciones locales cuyo promedio es apenas de - 0.34% y una desviación standard de 11.53%, según se demuestra en la tabla adjunta.

T A B L A N° C-2.

(1) <u>Desviación porcentual</u> (Col.12,C.XXIII) v	(2) <u>Desviación respecto al promedio</u> Δv	(3) <u>Desviación cuadrática, de la anterior</u> $(\Delta v)^2$
+ 9.7%	10.04	100.80
+ 16.2%	16.54	273.57
+ 13.5%	13.84	191.55
+ 8.5%	8.84	78.15
+ 5.6%	5.94	35.28
+ 6.0%	6.34	40.20
+ 4.8%	5.14	26.42
+ 2.2%	2.54	6.45
+ 1.8%	2.14	4.58
- 0.5%	- 0.16	0.03
- 2.4%	- 2.06	4.24
- 5.1%	- 4.76	22.66
- 5.2%	- 4.86	23.62
- 10.6%	-10.26	105.27
- 23.9%	-23.56	555.07
- 26.0%	-25.66	658.44
- 5.4%		
T _p M.- 0.34%		

$$\sum (\Delta v)^2 = 2126.33$$

$$\sigma = \frac{\sqrt{\sum (\Delta v)^2}}{n} = \frac{2126.33}{16} = 11.53\%$$

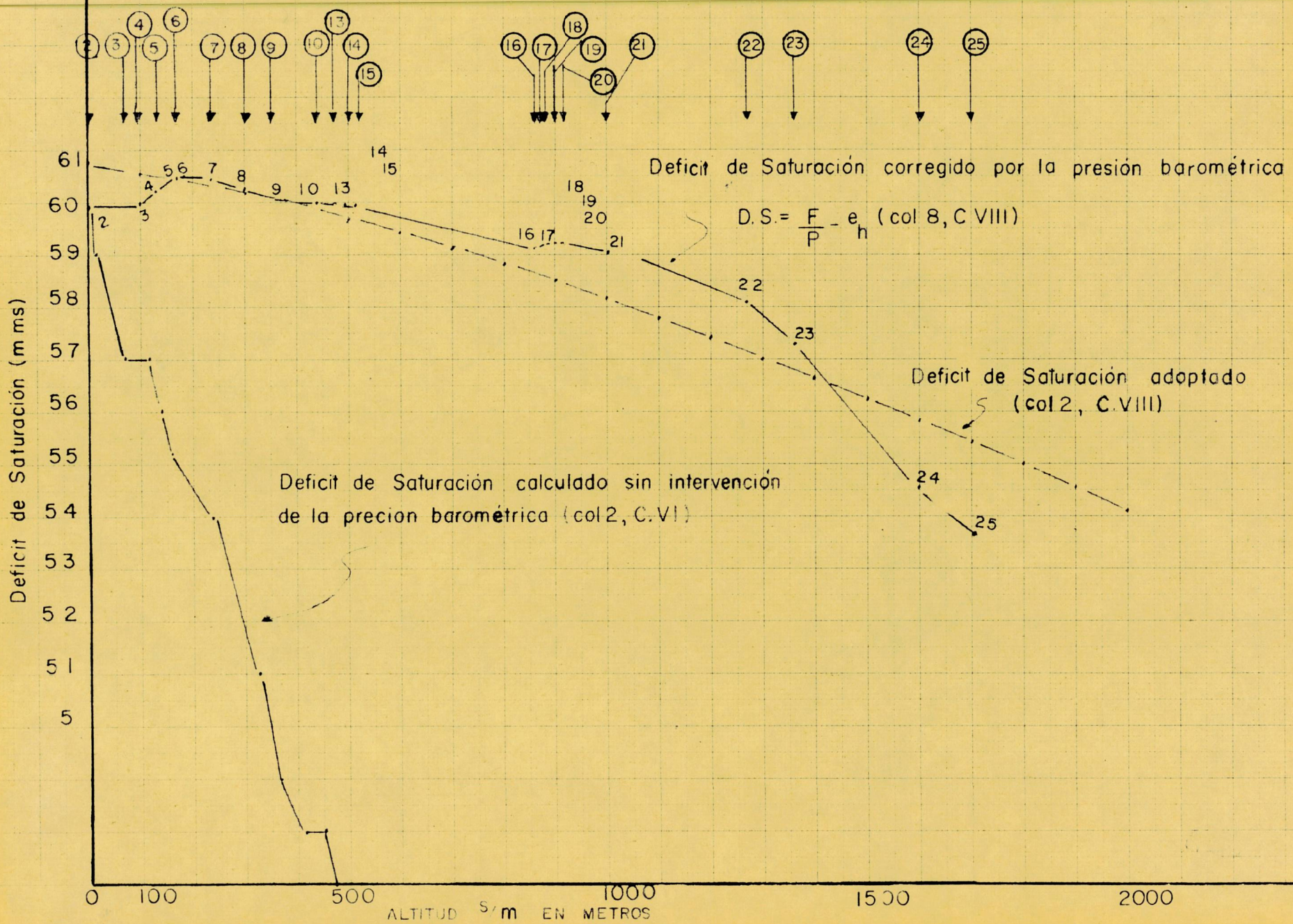


Fig 17- Deficits de Saturación Segun la altitud estaciones meteorologicas

3

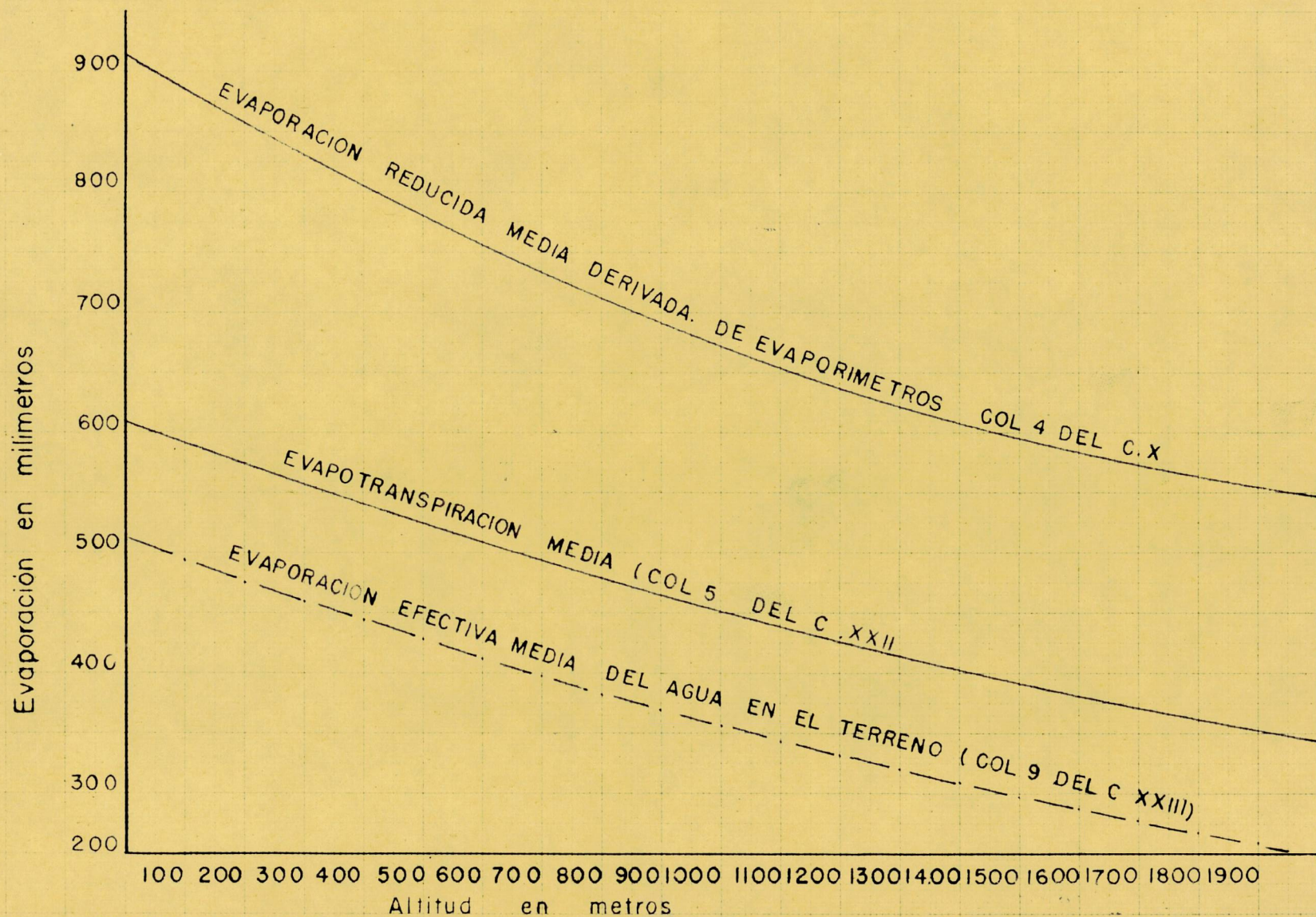


FIG 18 EVAPORACIONES Y EVAPOTRANSPIRACION MEDIAS ANUALES EN VENEZUELA SEGUN LA ALTITUD

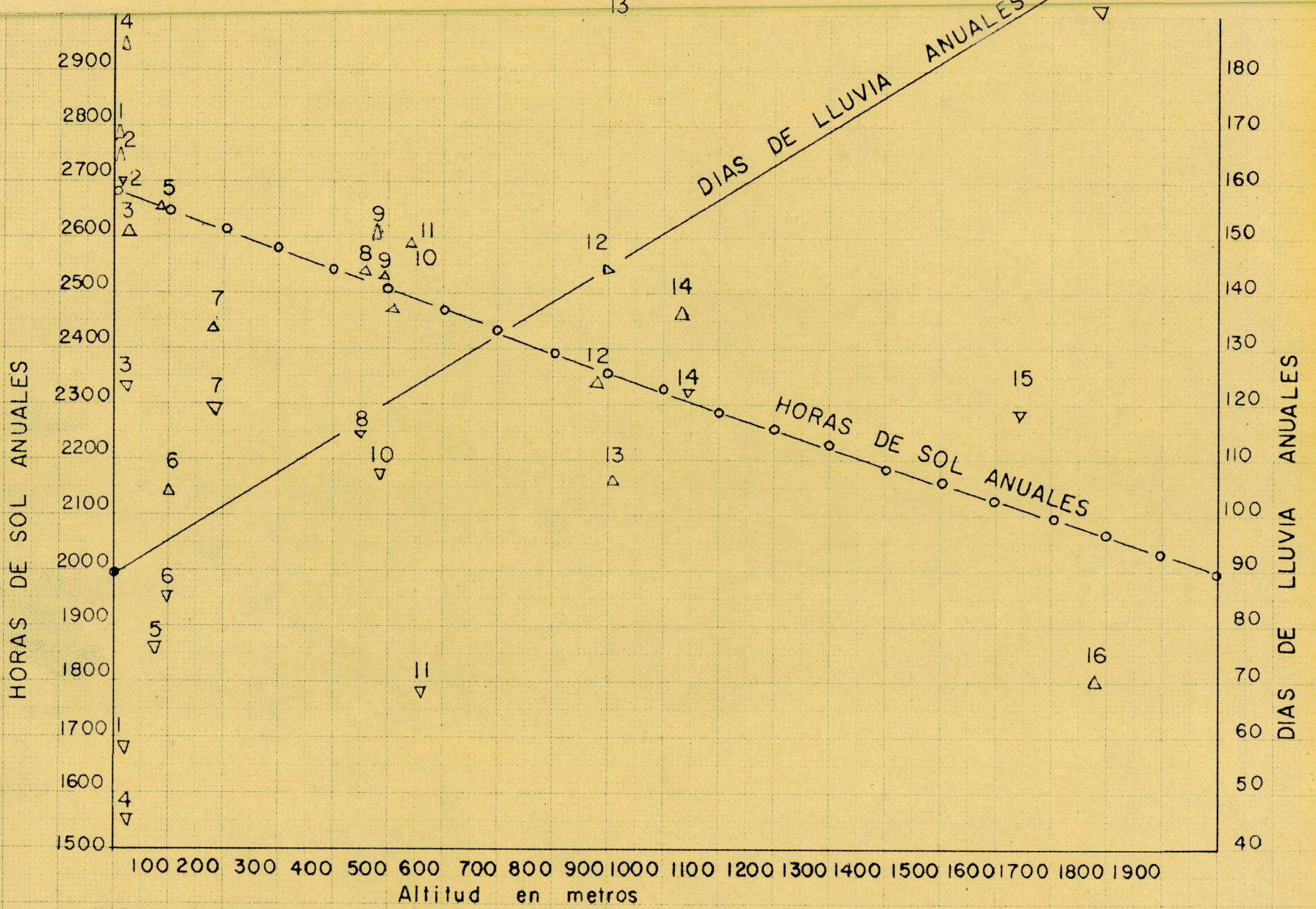


FIG19 HORAS DE SOL Y DIAS DE LLUVIA ANUALES, SEGUN LA ALTITUD

△ Horas de Sol observadas en las estaciones
▽ Dias de lluvia registradas por las estaciones

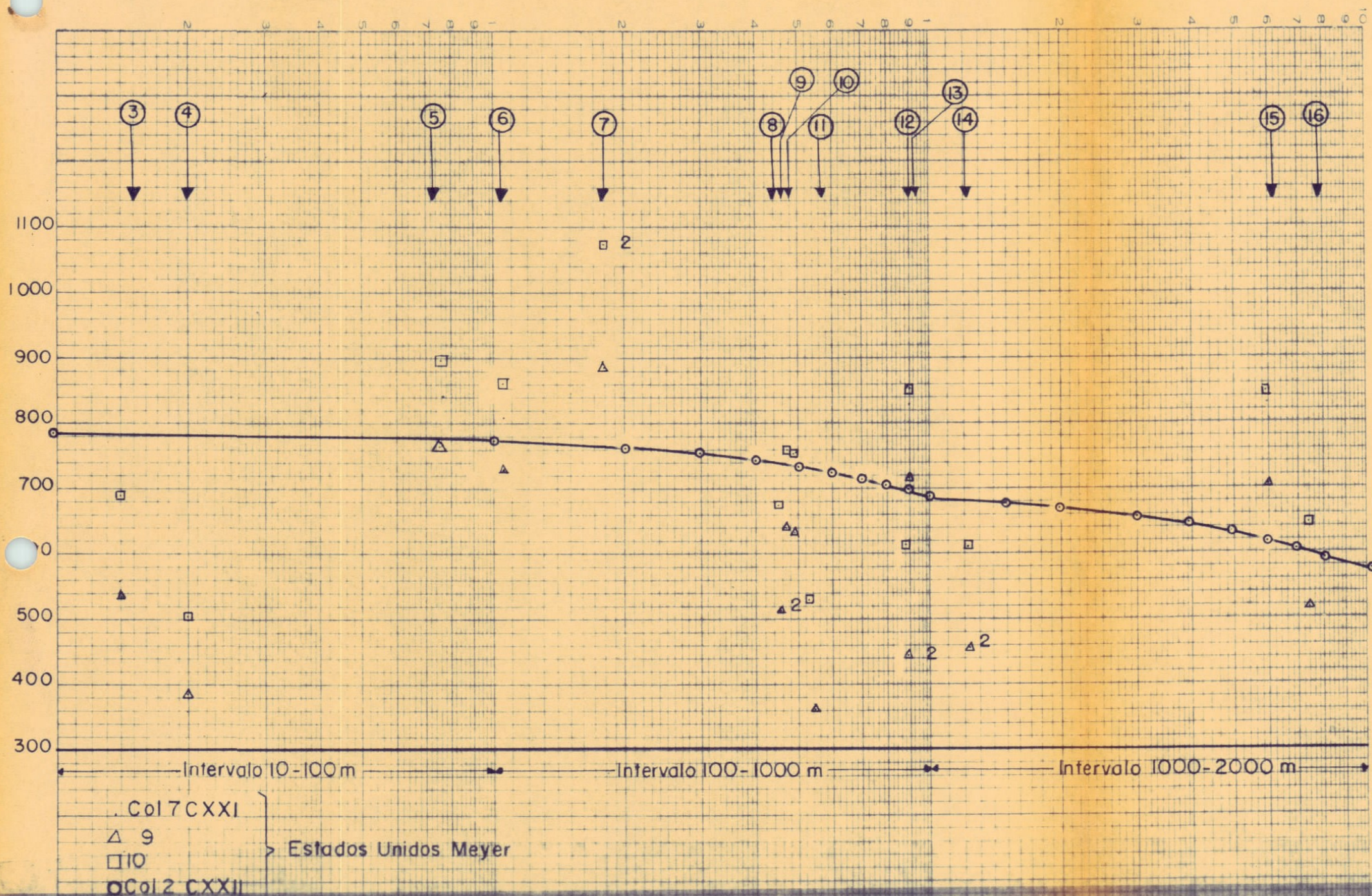


Fig 20- Dispersión de la evaporación y evapotranspiración local respecto a la evapotranspiración media
 Aplicación de las experiencias de Meyer a hojas de Estados Unidos, fisiográficamente
 equivalentes a las venezolanas.

Referencia:

- Evap. terr. anual calc. col 7 CXXI
- Δ Evap. terr. anual correg. col 9 CXXI
- Evapotransp. col 10 CXXI
- Evapotransp. media probable col 2 CXXI

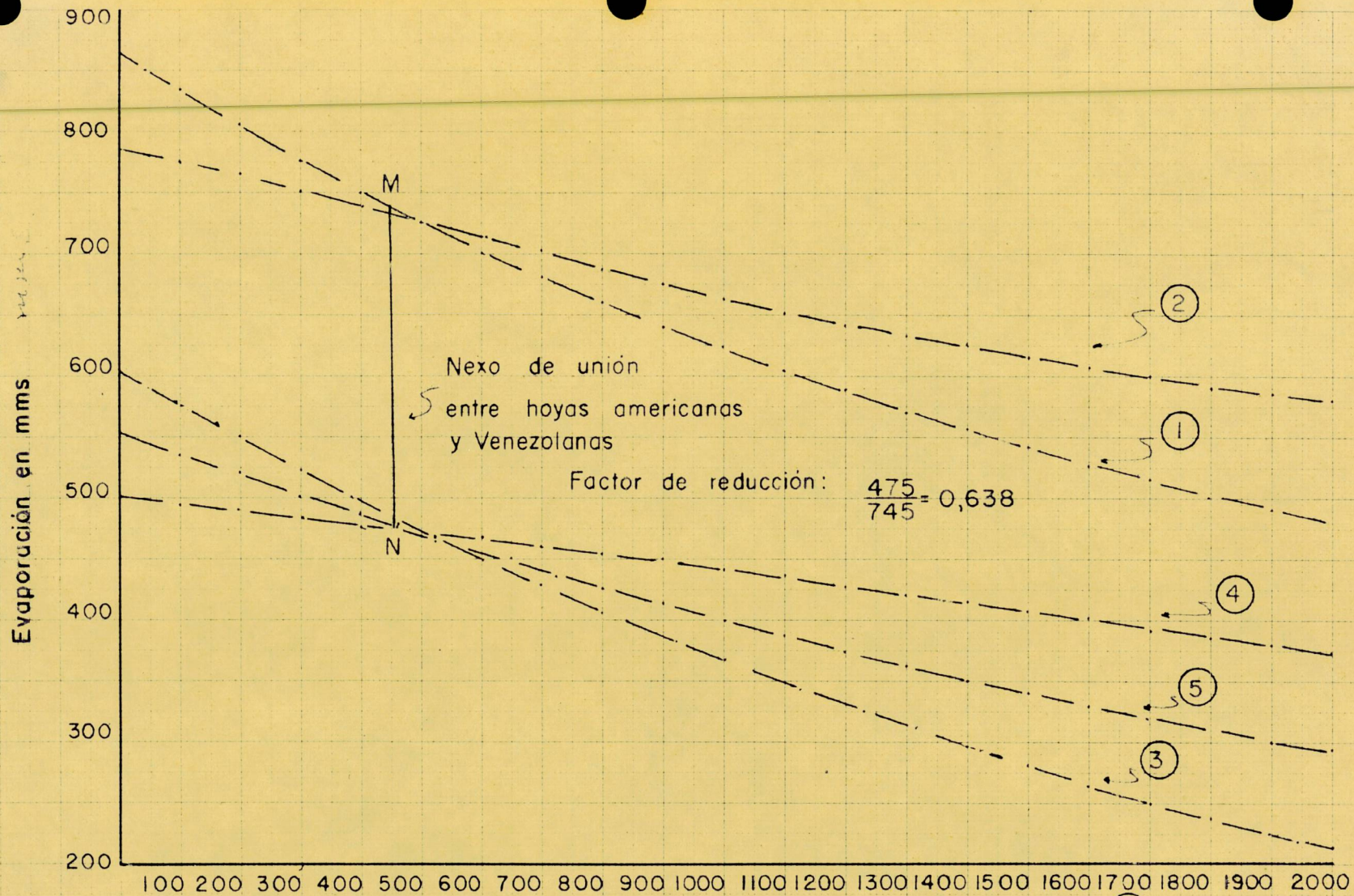


Fig 2: Ilustración del proceso de elaboración de la Evaporación probable media efectiva para Venezuela (5)

- ① Evap. red. media de evaporímetros en Venezuela
- ② Evap. del terr. hum. en hojas americanas; derivación de las experiencias Meyer
- ③ Evap. media efect. en Venezuela, según adapt de la fórmula Hamond
- ④ Evap. reducida de la ③ por aplicación del factor 0.638
- ⑤ Evap probable media efectiva, semisuma de ③ y ④

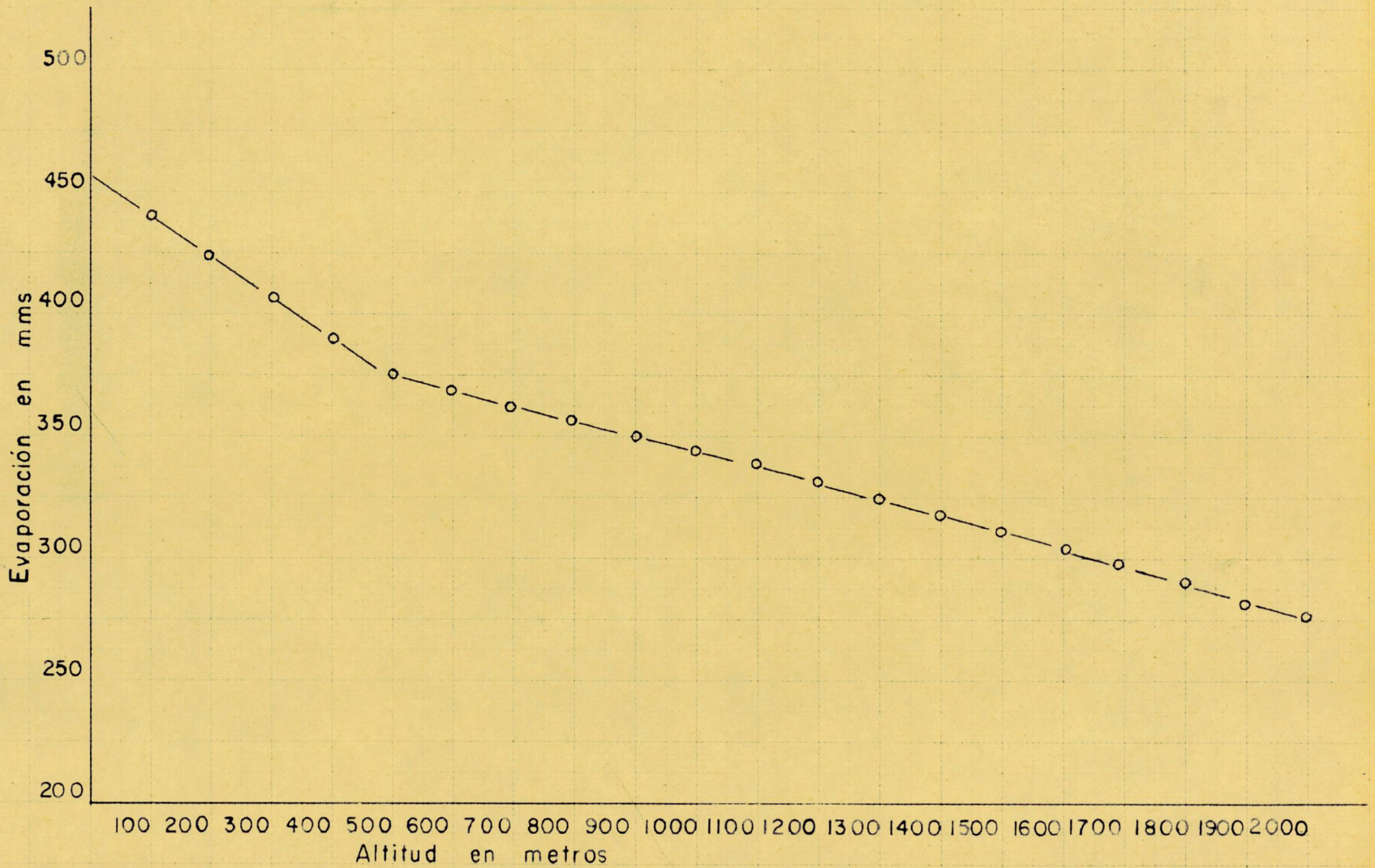


Fig22Valores medios anuales recomendables, de Evaporación Efectiva

Complementos

C U A D R O I

Tensión y masa del vapor de agua saturado, contenido en un metro cúbico de aire, a diferentes temperaturas

(1) <u>Temperatura en grados centígrados</u>	(2) <u>Tensión máxima de vapor</u> (m m) F	(3) <u>Masa de vapor saturado en gramos por m³.</u> $m_s = \frac{290 F}{T}$	(4) <u>Observaciones</u>
t			T = temperatura absoluta = 273° + t
0	4.6	4.9	Valores de la columna (3), tomados de la tabla psicrométrica del Boletín de Malariología, para una diferencia de 0°, entre los termómetros húmedo y seco, que corresponde a una humedad relativa de 100%. Esa tabla fué elaborada por el Ing° Epifanio González.
1	4.9	5.2	
2	5.3	5.6	
3	5.7	6.0	
4	6.1	6.4	
5	6.5	6.8	
6	7.0	7.3	
7	7.6	7.8	
8	8.0	8.3	
9	8.6	8.8	
10	9.2	9.4	
11	9.8	10.0	
12	10.5	10.7	
13	11.2	11.4	
14	12.0	12.1	
15	12.7	12.8	
16	13.6	13.6	
17	14.5	14.5	
18	15.5	15.4	
19	16.4	16.3	
20	17.5	17.3	
21	18.7	18.4	
22	19.8	19.5	
23	21.0	20.6	
24	22.3	21.8	
25	23.7	23.1	
26	25.2	24.4	
27	26.7	25.8	
28	28.3	27.3	
29	30.0	28.8	
30	31.8	30.4	
31	33.7	32.1	
32	35.7	33.9	
33	37.7	35.7	
34	39.8	37.6	
35	42.1	39.6	

C U A D R O II

Variación de la tensión actual de vapor, de la presión barométrica y temperatura media según la altura sobre el nivel del mar

(1)	(2)	(3)	(4)
Altitud h (mts)	Tensión de vapor e_h (m m)	Presión barom b (m m)	Temp ^a media t °
0	20,7	761,0	27,0
100	20,1	752,5	26,4
200	19,4	744,1	25,8
300	18,8	735,7	25,2
400	18,2	727,4	24,6
500	17,6	719,2	24,0
600	17,0	711,1	23,3
700	16,4	703,0	22,7
800	15,9	695,0	22,1
900	15,4	687,1	21,5
1000	14,9	679,3	20,9
1100	14,4	671,5	20,3
1200	13,9	663,9	19,8
1300	13,4	656,2	19,1
1400	13,0	648,7	18,5
1500	12,6	641,2	17,9
1600	12,2	633,8	17,2
1700	11,8	626,5	16,6
1800	11,4	619,2	16,0
1900	11,0	612,1	15,4
2000	10,7	604,9	14,8
2100	10,3	597,9	14,2
2200	10,0	590,9	13,6
2300	9,7	584,0	13,0
2400	9,3	577,2	12,4
2500	9,0	570,4	11,8
2600	8,8	563,7	11,1
2700	8,5	557,0	10,5
2800	8,2	550,4	9,9
2900	7,9	542,9	9,3
3000	7,7	537,5	8,7
3100	7,4	531,1	8,1
3200	7,2	524,8	7,5
3300	6,9	518,6	6,9
3400	6,7	512,4	6,3
3500	6,5	506,2	5,7
3600	6,3	500,1	5,0
3700	6,1	494,1	4,4
3800	5,9	488,2	3,8
3900	5,7	482,3	3,2
4000	5,5	476,5	2,6

(1)	(2)	(3)	(4)
Altitud h (mts)	Tensión de vapor e_h (m m)	Presión barom. b (m m)	Temp ^a media t °
4100	5,3	470,7	2,0
4200	5,1	465,0	1,4
4300	5,0	459,3	0,8
4400	4,8	453,7	0,2
4500	4,7	448,2	-0,4
4600	4,5	442,7	-1,1
4700	4,4	437,3	-1,7
4800	4,2	431,9	-2,3
4900	4,1	426,6	-2,9
5000	3,9	421,4	-3,5
5100	3,8	416,2	-4,1
5200	3,7	411,0	-4,7
5300	3,6	406,0	-5,3
5400	3,5	400,9	-5,9
5500	3,3	395,8	-6,6

Esta tabla está tomada de "Climatografía de Venezuela" por el Dr. Eduardo Röhl.

NOTAS:

1º) La tensión de vapor e_h , se relaciona con la tensión al nivel del mar, e_0 , por la fórmula:

$$e_h = e_0 \times 10^{-\frac{h}{6937}}$$
 donde h representa la altitud del punto considerado, e_0 tiene un valor promedio de 20.7 m m, resultado de observaciones en la costa de Venezuela, y finalmente, el valor de 6937 corresponde a 320 combinaciones de las tensiones de vapor de agua observadas en las distintas estaciones del antiguo Servicio Meteorológico Nacional.

2º) La variación de la presión barométrica con la altura está dada por la fórmula:

$$\log b = \log B - \frac{h}{13460 (1 + 0.004 t)}$$

Donde B representa la presión media al nivel del mar = 761,0 m m, b la presión en m m a una altura h y temperatura t (Climatografía 2a. Parte)

3º) La temperatura disminuye de 0.61º por cada 100 mts. de elevación, esta disminución se denomina "gradiente térmico vertical".

C U A D R O I I I

Disminución Porcentual de la tensión de vapor y presión atmosférica

(1) <u>Altitud</u> h (mts)	(2) <u>% Tens. vapor en</u> <u>el terreno</u>	(3) <u>% Tens. vapor en la</u> <u>atmósfera libre</u>	(4) <u>% Presión atmos-</u> <u>férica</u>
0	100	100	100
500	85	83	95
1000	72	68	89
1500	61	51	84
2000	51	41	79
2500	44	34	75
3000	37	26	71
3500	31	20	67
4000	27	17	63
4500	22	14	59
5000	19	11	55
5500	16	8	52

NOTAS:

1º) Esta tabla está copiada de la obra citada anteriormente.

2º) Los porcentajes son útiles, para la obtención de valores, cuando los valores normales (al nivel del mar) son diferentes a los indicados en el Cuadro II.

3º) Los porcentajes de la tensión de vapor en el terreno (col. 2), se obtiene por la fórmula:

$$\frac{e_h}{e_o} \times 100 = 10^{2 - \frac{h}{6937}}$$

4º) La col. 3 está calculada por la fórmula empírica del Prof. Süring, que expresa su experiencia recogida en el aire libre, por medio de globos-sondas.

$$2 - \frac{h (1 + 0.00005 h)}{6000}$$

$$\frac{f}{f_0} \times 100 = 10$$

f_0 = tensión de vapor a nivel del mar.

f = tensión de vapor a la altura h .

5º) La col. 4 se deriva de:

$$\frac{b}{B} 100 = 10 \quad 2 - \frac{h}{18460 (1 + 0.004 t)}$$

La nomenclatura ya está definida en la nota 2, correspondiente al Cuadro II,

pag .

C U A D R O I V

Lluvia precipitable media, sobre un m² de superficie

(1) Altitud h (m)	(2) Tensión media de vapor, por cada intervalo fm (m m)	(3) Cantidad parcial de vapor acuoso, conte- nida entre 2 alturas contiguas $\frac{290 \times f_m \times \Delta h}{T}$	(4) Cantidad de va- por acuoso, acu- mulada gr	(5) Valores para el cálculo de la - lluvia precipi- table sobre un m ² . de hoyá. m m
0	20.7	0	0	0
100	20.4	1980	1980	1.98
200	19.7	1910	3890	3.89
300	18.9	1840	5730	5.73
400	18.2	1770	7500	7.50
500	17.5	1710	9210	9.21
600	16.9	1650	10860	10.86
700	16.2	1590	12450	12.45
800	15.5	1520	13970	13.97
900	14.9	1470	15440	15.44
1000	14.2	1400	16840	16.84
1100	13.5	1330	18170	18.17
1200	12.8	1270	19440	19.44
1300	12.2	1210	20650	20.65
1400	11.5	1140	21790	21.79
1500	10.9	1090	22880	22.88
1600	10.4	1040	23920	23.92
1700	9.9	990	24910	24.21
1800	9.5	950	25860	25.86
1900	9.1	920	26780	26.78

(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
<u>Altitud</u> h (m)	<u>Tensión media</u> <u>de vapor, por</u> <u>cada intervalo</u> fm (m m)	<u>Cantidad parcial de</u> <u>vapor acuoso, conte-</u> <u>nida entre 2 alturas</u> <u>contiguas</u> $\frac{290 \times fm \times h}{T}$	<u>Cantidad de va-</u> <u>por acuoso, acu-</u> <u>mulada</u> gr	<u>Valores para el cál-</u> <u>culo de la lluvia -</u> <u>precipitable sobre</u> <u>un m², de hoya</u> m m
2000	8.7	880	27660	27.66
2100	8.3	840	28500	28.50
2200	8.0	810	29310	29.31
2300	7.8	790	30100	30.10
2400	7.5	760	30860	30.86
2500	7.2	730	31590	31.59
2600	6.9	700	32290	32.29
2700	6.5	660	32950	32.95
2800	6.2	640	33590	33.59
2900	5.9	610	34200	34.20
3000	5.5	570	34770	34.77
3500	4.8	2500	37270	37.27
4000	3.8	2000	39270	39.27
4500	3.2	1700	40970	40.97
5000	2.6	1400	42370	42.37
5500	2.0	1090	43460	43.46
6000	1.2	660	44120	44.12
7000	0.8	900	45020	45.02
8000	0.4	460	45480	45.48
9000	0.2	240	45720	45.72
10000	0.1	130	45850	45.85

NOTAS:

1º) La columna (2), hasta una altitud de 5500 mts., está derivada de la (3) del Cuadro III, y corresponde a la tensión de vapor promedio al aire libre, entre los dos niveles de altitud inmediatos.

A partir de 5500 mts. se ha usado la fórmula de Süiring

$$fm = fo \times 10^{-\frac{h_m (1 + 0.00005 h_m)}{6000}}$$

donde fo = 20.7 m m y h_m, es la altura media sobre el nivel del mar.

2º) El Cuadro IV, tiene aplicación práctica cuando se conocen o se asumen condiciones, con cierto fundamento, procedentes de la hoya o de hoyas fisiográficamente equivalentes.

d) La frecuencia de las nubes bajas (2000-2500 mts. de altura) es 20% (2). Se estima que su colisión con la falda meridional de la cordillera de la costa y la expansión adiabática del aire húmedo, originada por la conformación orogénica de la cuenca, precipitan la humedad contenida en el aire. A esta acción se aúna la de las brisas húmedas del Noroeste, soplando por el abra de Boquerón y Catia (1).

Se puede decir que la aparición de estas nubes bajas determina la mínima precipitación anual, ya que del registro de días lluviosos mínimo del Observatorio Cagigal (1891-1946) se obtiene 77 días (4), cuyo número corresponde a una frecuencia anual de $\frac{77}{365} \times 100 = 21.5\%$

Del mismo registro se obtuvieron 122 días medios lluviosos que representan una frecuencia de 33.4%. Se puede aceptar, como precipitación media de la cuenca, la equivalente a una precipitación anual emergente de nubes de 2500 mts. de altura y 34% de frecuencia.

e) El rendimiento de la precipitación teórica es de 60% (3).

f) La continuación del cálculo, en base a una altitud promedio de la cuenca de 1300 mts., sería la siguiente:

	<u>Humedad acumulada</u> <u>hasta 2500 mts.</u> (m m)	<u>Humedad acumulada</u> <u>hasta 1300 mts.</u> (m m)	<u>Cantidad de lluvia</u> <u>precipitable</u> (m m)
Col.(5), Cuadro IV	31.59	20.65	10.94

Cantidad de precipitación media anual = $1.1 \times 0.60 \times 0.34 \times 10.94 \times 365 = 896 \text{ m m}$

El cálculo efectuado por el Servicio Hidrológico del INOS (5) para un período de observaciones de 67 años (1891-1958), arrojó el valor de 990 m m. La divergencia entre ambos valores es de 9.49%.

No obstante de que por estimaciones aproximadas se ha llegado a un resultado bastante satisfactorio, el propósito de este ejemplo no es otro que el de demostrar la utilidad del Cuadro IV, cuando se poseen datos complementarios acertados; ya que la determinación de la precipitación anual media, sobre una cuenca, no es un problema cuya solución sea tan simple de resolver, requiriéndose, en primer término, del conocimiento de datos experimentales adecuados.

Sin embargo, se puede adoptar este procedimiento como una medida para obtener valores en primera aproximación, cuando se efectúan suposiciones con cierta validez, careciéndose de registros pluviométricos anuales, o si el número de éstos es insuficiente.

C U A D R O V

Evaporaciones medias anuales, en diferentes estaciones, y reducción de la evaporación, a una velocidad nula del viento

(1) <u>Estación</u>	(2) <u>Altitud</u> (mts)	(3) <u>Años de ob-</u> <u>servación</u>	(4) <u>Humedad</u> <u>relativa</u> <u>media</u> %	(5) <u>Evapora-</u> <u>ción me-</u> <u>dia</u> (m m)	(6) <u>Velocidad me-</u> <u>dia del vien-</u> <u>to</u> m/s	(7) <u>Evapora-</u> <u>ción re-</u> <u>ducida</u> (v = 0) m m E ₀
1. Barcelona Granja Agrícola de Demostración, Edo. Anzoátegui	5	1943 - 46	85	679	1.0	535
2. Coro - Depósito del M.O.P. Edo. Falcón.	20	1942 - 46	77	2395	7.0	925
3. La Pica Granja - Agrícola Edo. Monagas.	74	1943 - 45	87	695	2.2	463
4. Pariaguan Edo. - Anzoátegui.	123	1943 - 46	78	1710	3.3	978
5. San Carlos, Edo. Cojedes - Granja - Agrícola.	140	1942 - 46	84	825	1.3	626
6. Agua Blanca Granja Agrícola, Edo. Portuguesa.	170	1943 - 45	78	1050	1.5	783

(1) <u>Estación</u>	(2) <u>Altitud</u> (mts)	(3) <u>Años de Ob-</u> <u>servación</u>	(4) <u>Humedad re-</u> <u>lativa me-</u> <u>dia</u> %	(5) <u>Evapora-</u> <u>ción me-</u> <u>dia</u> m m	(6) <u>Velocidad</u> <u>media del</u> <u>viento</u> m/s	(7) <u>Evaporación</u> <u>reducida</u> ($v = 0$) m m E _o
7. Cumanacoa Granja Agrícola, Edo. Sucre.	240	1943 - 46	85	956	2.9	576
8. Guatire - Granja Agrícola, Edo. Miranda.	321	1946	86	478	2.0	328
9. Pampanito Granja Agrícola, Edo. Trujillo.	375	1941 - 46	85	589	1.2	463
10. Maracay, Boca del Río, Edo. Aragua.	415	1940 - 46	75	1250	3.6	687
11. San Juan de Los Morros.	430	1942 - 44	79	1400	1.3	1080
12. Maracay - La Providencia, Edo. Aragua.	450	1941 - 46	64	772	2.1	521
13. San Felipe - (Granja Agrícola) Edo. Yaracuy.	456	1942 - 46	84	750	2.3	492
14. Santa Rosa, Edo. Lara.	475	1942 - 46	79	1113	3.3	647
15. Valencia, Granja Agrícola de Nguanagua.	489	1942 - 46	82	767	2.9	462
16. San Cristóbal Edo. Táchira.	830	1942 - 46	77	755	2.3	496
17. Caripe - Granja Agrícola, Edo. Monagas.	870	1943 - 46	86	533	1.7	386
18. El Valle Instituto de Agricultura, Distrito Federal.	885	1940 - 44.	76	747	3.8	401
19. Güigüe - Escuela Cafetera de Altamira.	885	1942 - 44	77	671	1.5	500
20. Churuguara - Edo. Falcón.	900	1943 - 46	86	694	4.6	347

(1) <u>Estación</u>	(2) <u>Altitud</u> (mts)	(3) <u>Años de Ob-</u> <u>servación</u>	(4) <u>Humedad re-</u> <u>lativa media</u> %	(5) <u>Evaporación</u> <u>media</u> m m	(6) <u>Velocidad</u> <u>media del</u> <u>viento</u> m/s	(7) <u>Evapora-</u> <u>ción re-</u> <u>ducida</u> (v = 0) m m
21. Observatorio Cagigal.	1043	1937 - 46	78	1078	3.5	602
22. El Recreo Estación de Zootecnia, Edo. Táchira.	1268	1942 - 46	75	902	3.6	497
23. Sanare - Edo. Lara.	1352	1942 - 46	79	799	4.1	414
24. Mérida - Granja Agrícola, Edo. Mérida.	1600	1942 - 46	81	684	2.9	412
25. Bailadores - Edo. Mérida.	1744	1941 - 46	72	861	3.1	505
26. Mucuchíes, - Edo. Mérida.	2980	1942 - 46	68	681	5.7	296

NOTAS:

1. Los datos que figuran en la tabla han sido extraídos de E. González "Datos Detallados de Climatología de Venezuela".

2. La reducción de la evaporación media anual, a condiciones en las cuales la velocidad del viento es nula, se ha efectuado dividiendo la cantidad de evaporación media, por el término que representa la influencia del viento, en la fórmula de Meyer. En efecto se tiene de:

$$E = E_0 \left(1 + \frac{v}{4.4} \right)$$

$$E_0 = \frac{E}{\left(1 + \frac{v}{4.4} \right)}$$

Donde E_0 representa la evaporación sin viento y E la evaporación total, obtenida por la agregación de la acción del viento a las condiciones climáticas naturales, del lugar.

3. Ejemplo:

<u>Estación</u>	<u>Evaporación media anual</u> (1941 - 46)	<u>Velocidad media del viento</u> m/s	<u>Factor</u> $1 + \frac{v}{4.4}$	<u>Evaporación reducida</u> ($v = 0$) m m
Maracay - La Providencia, Edo. Aragua.	772 m m	2.1	1.48	521

C U A D R O V I

Variación con la altitud, del Déficit en saturación de tensión de vapor de agua y de la humedad relativa, en condiciones medias

(1)	(2)	(3)	(4)
<u>Altitud</u> h (mts)	<u>Déficit en saturación de tensión de vapor - de agua</u> $F - e = F \left(1 - \frac{e}{F}\right)$ (m m)	<u>Humedad relativa calculada</u> $\frac{e}{F}$ %	<u>Humedad relativa equivalente</u> (adoptada) %
0	6.0	77.5	77.5
100	5.7	77.7	77.7
200	5.5	77.9	78.0
300	5.2	78.3	78.2
400	4.9	78.6	78.5
500	4.7	78.9	78.8
600	4.4	79.5	79.0
700	4.2	79.5	79.3
800	4.0	79.8	79.6
900	3.9	80.0	80.0
1000	3.7	80.2	80.3
1100	3.5	80.6	80.5
1200	3.4	80.4	80.8
1300	3.2	81.2	81.2
1400	3.0	81.5	81.5
1500	2.8	81.8	81.8
1600	2.5	83.0	82.4
1700	2.3	83.5	83.0
1800	2.2	83.8	83.5
1900	2.1	84.2	84.2
2000	1.9	85.2	84.8
2100	1.8	84.8	85.4
2200	1.7	85.6	85.8
2300	1.5	86.6	86.3
2400	1.4	86.3	86.6
2500	1.3	86.9	87.0

NOTAS:

1. La evaporación es proporcional al déficit de saturación de vapor de agua y a un factor que es función de la velocidad del viento.

2. En la fórmula de Meyer

$$E = C (F - e) \left(1 + \frac{v}{4.4}\right) \quad 1)$$

Donde las notaciones, tienen la siguiente significación

E = Evaporación que, en nuestro caso, representa la evaporación media anual, ya que los valores del segundo término están referidos a situaciones medias anuales.

C = Coeficiente anual de evaporación, a ser determinado.

F = Tensión máxima de vapor de agua, a la temperatura que corresponda a la localidad, (col. (3), Cuadro I).

e = Tensión media de vapor de agua, proveniente de la col. (2) del Cuadro - II.

F-e = Déficit de saturación.

v = Velocidad en m/s.

3. El déficit de saturación, F - e, también se puede escribir: $F \left(1 - \frac{e}{F}\right)$, donde $\frac{e}{F}$ representa a la humedad relativa y el factor que multiplica a la tensión máxima, F, es el complemento de la humedad relativa.

4. La columna (3) obtenida mediante el cálculo directo dá valores que no están sobre una curva continua. A objeto de obviar este inconveniente, se ha traza do según la Fig. 29 , la curva representativa; habiéndose, de este modo, determinado los valores equivalentes de la humedad relativa media, a diferentes altitudes.

C U A D R O V I I

Determinación del Coeficiente anual de evaporación para las distintas estaciones (Alternativa 1)

(1) <u>Nº de Es-</u> <u>tación</u>	(2) <u>Altitud</u> <u>h</u>	(3) <u>H.R. equi-</u> <u>valente</u> (de la co- lumna (4), Cuadro VI)	(4) <u>Complemento</u> <u>de la H.R.</u> <u>equivalente</u> $1 - \frac{e}{F}$	(5) <u>Déficit de</u> <u>saturación</u> (de col(2) Cuadro VI)	(6) <u>Complemento</u> <u>de H.R. ac-</u> <u>tual</u> (de col (4) Cuadro V)	(7) <u>Razón de</u> <u>complemen-</u> <u>tos</u> (4) (6)	(8) <u>Evapora-</u> <u>ción ac-</u> <u>tual re-</u> <u>ducida a</u> <u>condicio-</u> <u>nes medias</u> (m m)	(9) <u>Correc-</u> <u>ción -</u> <u>por la</u> <u>tensión</u> <u>actual</u> <u>máxima</u> <u>de vapor</u> <u>de agua</u> %	(10) <u>Coeficiente</u> <u>anual de</u> <u>evaporación</u> (Sin correc- ción por - presión ba- rométrica).
1	5	77.5	22.5	6.0	15%	1.5	803	+ 0.4	135
2	20	77.5	22.5	5.9	23	0.98	905	- 9	139
3	74	77.7	22.3	5.7	13	1.72	814	+ 10	157
4	123	77.8	22.2	5.7	22	1.01	988	0	173
5	140	77.8	22.2	5.6	16	1.39	870	- 4	149
6	170	77.9	22.1	5.5	22	1.00	783	- 6	133
7	240	78.1	21.9	5.4	15	1.46	841	+ 6	165
8	321	78.3	21.7	5.1	13	1.67	548	+ 24	134
9	375	78.4	21.6	4.9	15	1.44	667	- 6	128
10	415	78.6	21.4	4.8	25	0.82	563	- 2	115
11	430	78.6	21.4	4.8	21	1.02	1102	- 1	228 *
12	450	78.7	21.3	4.8	36	0.59	307	- 1	63 *
13	456	78.7	21.3	4.8	16	1.33	654	- 11	121
14	475	78.8	21.2	4.7	21	1.01	653	- 9	126
15	489	78.8	21.2	4.7	18	1.12	517	+ 1	111
16	830	79.7	20.3	4.0	23	0.88	436	- 1	108
17	870	79.9	20.1	3.9	14	1.44	556	+ 4	149
18	885	79.9	20.1	3.9	24	0.84	337	+ 6	91
19	885	79.9	20.1	3.9	23	0.87	435	- 9	102
20	900	80.0	20.0	3.9	14	1.43	496	+ 2	129
21	1043	80.4	19.6	3.6	22	0.89	534	+ 1	150
22	1268	81.0	19.0	3.3	25	0.76	377	- 18	94
23	1352	81.4	18.6	3.1	21	0.89	368	- 2	117
24	1600	82.4	17.6	2.5	19	0.93	383	- 10	138
25	1744	83.2	16.8	2.3	28	0.60	303	- 13	115
26	2980	85.6	14.4	0.8	32	0.45	133	- 13	144

Coeficiente Anual Promedio de Evaporación = 130

NOTA: Los valores *, son descartados por ser considerados como erráticos.

NOTAS:

1. Con el propósito de determinar el valor del Coeficiente Anual Promedio de Evaporación, se ha reducido, ordenada y gradualmente, las evaporaciones locales a la evaporación media, que existiría en una altitud determinada, sin la acción del viento y en las mismas condiciones de tensión de vapor saturado y humedad relativa que presupone el Cuadro VI, derivado de tensiones medias de vapor en Venezuela.

2. Siendo las respectivas evaporaciones proporcionales a los complementos de sus humedades relativas y a sus tensiones de vapor saturado, se puede llegar de la evaporación local a la evaporación media para una misma altitud, efectuando las correcciones pertinentes.

3. El proceso es el siguiente:

$$E_m = \frac{F_m}{F} \frac{\left(1 - \frac{e_h}{F_m}\right)}{\left(1 - \frac{e}{F}\right)} E_o$$

Donde:

F_m , es la tensión de vapor saturado que corresponde a las condiciones medias, es decir, la tensión correspondiente a la temperatura nominal, de acuerdo a la altitud sobre el mar.

F , es la tensión de vapor actual que corresponde a la localidad considerada.

$\frac{e_h}{F_m}$ y $\frac{e}{F}$, representan las humedades relativas: media anual equivalente (col. 4 del Cuadro VI) y actual, respectivamente.

E_o , es la evaporación reducida, (sin viento), col. (7) del Cuadro V y finalmente,

E_m , es la evaporación reducida a la media local.

4. Según la fórmula de Meyer E_m debe ser equivalente a la expresión $C (F_m - e_h)$. Por consiguiente, multiplicando la columna (8) por la (9) y dividiendo el resultado por el déficit de saturación, col. (5), se determina el coeficiente de evaporación, C , para cada caso.

5. En el Cuadro VII se obtiene un valor promedio del coeficiente $C_m = 130$.

Ahora bien, efectuando una representación gráfica (Fig. 15.) de los valores C relacionados con las alturas sobre el nivel del mar, respectivas; se observa que:

a) La aplicación de un coeficiente promedio igual a 130, en el proceso de obtener las cantidades de evaporación, da errores apreciables respecto a los valores que figuren en la Col. (7) de la Tabla V.

b) Existe cierto agrupamiento de los valores de evaporación, que podría ser tratado analíticamente de las dos siguientes maneras:

b-1 Alternativa 1. Estableciendo ecuaciones lineales empíricas que interpreten la variación del coeficiente de evaporación, previa clasificación de las estaciones meteorológicas en 4 Zonas.

Las denominaciones de estas Zonas, en base a los datos y condiciones climatéricas existentes, podrían ser: 1ª) Zona Tropical, 2ª) Zona Tropical Influenciada, 3ª) Zona Subtropical y 4ª) Zona Subtropical Influenciada.

b-2 Alternativa 2. En consideración a que la presión atmosférica influye sobre la evaporación, (Coeficiente C), se procede a efectuar la corrección barométrica a la Tabla VII, (Véase Cuadro VIII); es decir, se divide la tensión máxima de vapor que corresponde a cada altitud por la presión barométrica expresada en atmósferas, obteniendo de esta manera un nue

vo valor del déficit de saturación, que a su vez disminuye los coeficientes de evaporación.

En este estado de cosas, se puede determinar la ecuación de la parábola - probable que interpreta los valores correspondientes.

Se detalla a continuación el procedimiento de cálculo seguido:

b-1 Alternativa 1.

Cálculo de las rectas probables que expresan el Coeficiente Anual de Evaporación, C, en función de la altitud, h, sobre el nivel del mar.

b-1-1 Recta probable para las estaciones: 1, 2, 3, 4, 5 y 7. Zona Tropical; - n = 6.

La ecuación es: $C = ah + b$, donde a y b son dos coeficientes a determinar por el procedimiento de los mínimos cuadrados, llegándose a las expresiones:

$$a = \frac{n \sum hC - \sum h \sum C}{n \sum h^2 - (\sum h)^2} \quad 1)$$

$$b = \frac{h^2 \sum C - \sum h \sum hC}{n \sum h^2 - (\sum h)^2} \quad 2)$$

Se obtiene del Cuadro VII: $h=602$, $C = 918$.

Efectuando los cálculos correspondientes y notando que en este caso el número de estaciones $n = 6$, se tendrá:

$$n \sum hC = 6 \times 96812 = 580.872; \quad \sum h. \sum C = 552636$$

$$\sum h^2 \sum C = 98230 \times 918 = 90175140; \quad \sum h. \sum hC = 602 \times 96812 = 58280824$$

$$n \sum h^2 = 6 \times 98230 = 589380; \quad (\sum h)^2 = (602)^2 = 362404$$

Sustituyendo estos valores en 1) y 2) se tiene:

$$a = \frac{580872 - 552636}{589380 - 362404} = \frac{28236}{226976} = 0.1244$$

$$b = \frac{90175140 - 58280824}{589380 - 226976} = \frac{31894316}{226976} = 140.53$$

Por consiguiente la ecuación de la recta es:

$$C = 0.12h + 140.53 \quad a)$$

b-1-2 Recta probable para las estaciones 10, 13, 14, 15, 17, 20 y 21. Zona Sub-Tropical; n = 7.

Del Cuadro VII: $\sum h = 4648$; $\sum C = 901$.

Los cálculos dan:

$$n \sum hC = 7 \times 619210 = 4334470; \sum h \cdot \sum C = 4648 \times 901 = 4187848$$

$$\sum h^2 \sum C = 3499656 \times 901 = 3153190056; \sum h \cdot \sum hC = 4648 \times 619210 = 2878088080$$

$$n \sum h^2 = 7 \times 3499656 = 24497592; (\sum h)^2 = (4648)^2 = 21603904$$

Sustituyendo valores, se tiene:

$$a = \frac{4334470 - 4187848}{24497592 - 21603904} = \frac{146622}{2893688} = 0.051$$

$$b = \frac{3153190056 - 2878088080}{24497592 - 21603904} = \frac{275101976}{2893688} = 95.070$$

De donde la ecuación de la recta es:

$$C = 0.05 h + 95.07 \quad b)$$

b-1-3 Recta probable para las estaciones 16, 18, 19, 22, 23, 24 y 25. Zona Sub-tropical modificada; n = 7.

Del Cuadro VII: $\sum h = 8564$; $\sum C = 765$

Por consiguiente:

$$n \sum hC = 7 \times 959181 = 6714267; \sum h \cdot \sum C = 8564 \times 765 = 6551460$$

$$\sum h^2 \sum C = 11292614 \times 765 = 8638849710; \sum h \cdot \sum hC = 8564 \times 959181 = 8214426084.$$

$$n \sum h^2 = 7 \times 11292614 = 79048298; (\sum h)^2 = (8564)^2 = 73342096$$

Sustituyendo valores:

$$a = \frac{6714267 - 6551460}{79048298 - 73342096} = \frac{162807}{5706202} = 0.029$$

$$b = \frac{8638849710 - 8214426084}{79048298 - 73342096} = \frac{424423626}{5706202} = 74.379$$

De aquí resulta la ecuación:

$$C = 0.03 h + 74.38$$

b-1-4 Ecuación de la recta probable para las estaciones 6,8 y 9.

Estas estaciones, por ser tan poco numerosas y no estar bien distribuidas, no pueden determinar por si mismas la dirección de la recta probable.

Sin embargo, como es sabido, la recta debe pasar por el centro de gravedad de las 3 estaciones, pudiéndose suponer que su inclinación es intermedia entre las dos rectas adyacentes y adoptándose la inclinación promedio de estas, como probable.

De esta manera se tendrá para las coordenadas del centro de gravedad, las siguientes:

$$C = 131.67 ; h = 288.67$$

Respecto a la dirección se tendrá:

$$\text{Inclinación de la recta a): } \text{tang } \alpha = 0.12440 : \alpha = 7^{\circ} 5'28''$$

$$\text{Inclinación de la recta b): } \text{tang } \beta = 0.05067 : \beta = 2^{\circ} 54'02''$$

Semi-suma	$\frac{\alpha + \beta}{2}$	<u>4° 59'45"</u>
-----------	----------------------------	------------------

$$\text{Inclinación de la recta d): } \text{tang. } \frac{\alpha + \beta}{2} = 0.08742$$

Ecuación de la recta:

$$C - 131.67 = 0.08742 (h - 288.67), \text{ o finalmente } C = 0.09h + 106.44 \text{ d)}$$

b-2 Alternativa 2.

b-2-1 Corrección de las columnas (3), (5), (7), (8) y (10) del Cuadro VII, por la influencia de la presión barométrica. Las otras columnas permanecen inalteradas.

La corrección aparece en el Cuadro VIII, en el cual la tensión máxima de vapor ahora es $F' = \frac{F}{p}$ (col. 4), donde F es la tensión máxima anterior y p es la presión atmosférica que corresponde a la altitud considerada, por consiguiente el déficit de saturación corregido será:

$$D.S. = F' - e_h = \frac{F}{p} - e_h$$

En la elaboración de esta Tabla, como antes, se multiplica la evaporación reducida a condiciones normales E_0 , por las cifras de las cols. (8) y (9), del Cuadro VII y se divide por los déficits de saturación, corregidos (col.(6) del Cuadro VIII).

Notas relativas al Cuadro VIII:

1. e_h se obtiene de la col. (2) del Cuadro II.
2. El déficit de saturación corregido col. (6) que corresponde a las estaciones meteorológicas, se obtiene por interpolación de los valores deducidos cada 100 mts. a partir de 0.
3. El déficit de saturación adoptado, col. (8), resulta del trazado de una curva compensadora de los valores de la col. (6) llevados sobre un gráfico.

b-2-2 Con las cifras pertenecientes a las estaciones meteorológicas, omitiendo los Nos. 11, 12 y 26, se efectuaron los cálculos cuyo resultado es el si--

CUADRO VIII

Corrección del Coeficiente de Evaporación, por el efecto de la presión atmosférica y déficit de saturación adoptado

(1) <u>Nº de Es-</u> <u>tación</u>	(2) <u>Altitud</u> <u>(h)</u>	(3) <u>Presión ba-</u> <u>rométrica -</u> <u>en atmósfe-</u> <u>ras.</u> p	(4) <u>Humedad</u> <u>relati-</u> <u>va co-</u> <u>rregida</u> %	(5) <u>Comple-</u> <u>mento de</u> <u>la hume-</u> <u>dad rela-</u> <u>tiva co-</u> <u>rregida.</u> %	(6) <u>Tensión má-</u> <u>xima de va-</u> <u>por corri-</u> <u>da.</u> (F') (mm)	(7) <u>Tensión</u> <u>de va-</u> <u>por lo-</u> <u>cal me-</u> <u>dia.</u> (e _h) (mm)	(8) <u>Déficit</u> <u>de satu-</u> <u>ración -</u> <u>corregi-</u> <u>do.-</u> (D.S) (mm)	(9) <u>Coefi-</u> <u>ciente</u> <u>de eva-</u> <u>poración</u> <u>anual co-</u> <u>rregido.</u> (C')	(10) <u>Déficit</u> <u>de satu-</u> <u>ración -</u> <u>adoptado</u> (mm)
	0	1	77.5	22.5					
1	5	1	77.5	22.5	26.70	26.70	6.00		6.08
2	20	0.9978	77.3	22.7			6.00	135	
3	74	0.9917	77.5	22.5			5.99	139	
	109	0.9889	76.8	23.2	26.09	20.10	5.99	147	
4	123	0.9862	76.7	23.3			6.01	173	6.06
5	140	0.9844	76.6	23.4			6.02	118	
6	170	0.9811	76.7	23.3			6.05	130	
	200	0.9778	76.2	23.8	25.47	19.40	6.07		6.04
7	240	0.9734	76.0	24.4			6.05	162	
	300	0.9668	75.7	24.3	24.82	18.80	6.02		6.02
8	321	0.9645	75.5	24.5			6.02	128	
9	375	0.9585	75.2	24.8			6.01	120	
	400	0.9558	75.2	24.8	24.21	18.20	6.01		5.99
10	415	0.9542	75.0	25.0			6.01	112	
11	430	0.9526	74.9	25.1			6.01	215*	
12	450	0.9504	74.8	25.2			6.01	60*	
13	456	0.9498	74.7	25.3			6.00	116	
14	475	0.9478	74.7	25.3			6.00	116	
15	489	0.9463	74.6	25.4			6.00	110	
	500	0.9451	74.6	25.4	23.60	17.60	6.00		5.97
	600	0.9344	74.3	25.6	22.89	17.00	5.89		5.94
	700	0.9238	73.4	26.6	22.34	16.40	5.94		5.91

Continuación Cuadro VIII.

<u>Nº de Es-</u> <u>tación</u>	<u>Altitud</u> (h)	<u>Presión ba-</u> <u>rométrica en</u> <u>atmósferas.</u> p	<u>Humedad</u> <u>relati-</u> <u>va co-</u> <u>rregida</u> %	<u>Comple-</u> <u>mento de</u> <u>la hume-</u> <u>dad rela-</u> <u>tiva co-</u> <u>rregida.</u> %	<u>Tensión má-</u> <u>xima de va-</u> <u>por corri-</u> <u>da.</u> (F') (m m)	<u>Tensión</u> <u>de va-</u> <u>por lo-</u> <u>cal me-</u> <u>dia.</u> (e _h) (m m)	<u>Déficit</u> <u>de satu-</u> <u>ración-</u> <u>corri-</u> <u>do.</u> (D.S) (m m)	<u>Coefficien-</u> <u>te de eva-</u> <u>poración -</u> <u>anual co-</u> <u>rregido.</u> (C')	<u>Déficit</u> <u>de satu-</u> <u>ración -</u> <u>adoptado</u> (m m)
	800	0.9133	72.9	27.1	21.81	15.90	5.91		5.88
16	830	0.9102	72.5	27.5			5.91	100	
17	870	0.9060	72.4	27.6			5.92	133	
18	885	0.9045	72.3	27.7			5.92	83	
19	885	0.9045	72.3	27.7			5.92	92	
20	900	0.9029	72.2	27.8	21.32	15.40	5.92	116	5.85
	1000	0.8926	71.6	28.4	20.82	14.90	5.92		5.82
21	1043	0.8882	71.4	28.6			5.90	133	
	1100	0.8824	71.1	28.9	20.24	14.40	5.84		5.78
	1200	0.8724	70.2	29.8	19.31	13.90	5.91		5.75
22	1268	0.8655	70.1	29.9			5.81	84	
	1300	0.8623	70.0	30.0	19.15	13.40	5.75		5.71
23	1352	0.8572	69.8	30.2			5.73	102	
	1400	0.8524	69.5	30.5	18.71	13.00	5.71		5.67
	1500	0.8426	69.3	30.7	18.23	12.60	5.68		5.63
24	1600	0.8329	69.1	30.9	17.65	12.20	5.45	109	5.59
	1700	0.8233	68.7	31.3	17.17	11.80	5.37		5.55
25	1744	0.8191	68.5	31.5			5.34	94	
	1800	0.8137	68.2	31.8	16.71	11.40	5.31		5.50
	1900	0.8070	67.9	32.1	16.24	11.00	5.24		5.46
	2000	0.7949	67.7	32.3	15.80	10.70	5.10		5.41

guiente:

$$\sum h = 14680; \quad \sum h^2 = 15163066; \quad \sum h^3 = 18890670568;$$

$$\sum h^4 = 27171035792785; \quad \sum h^2 C = 1577133908$$

$$\sum h C = 1591142; \quad \sum C = 2786$$

$$\sum n = \text{N}^\circ \text{ de estaciones} = 23$$

Considerando como unidad de altitud la que corresponde a cada 100 mts. es decir $H = 100h$, y sustituyendo en las ecuaciones:

$$a \sum h^4 + b \sum h^3 + c \sum h^2 = \sum h^2 C$$

$$a \sum h^3 + b \sum h^2 + c \sum h = \sum h C \quad 1)$$

$$a \sum h^2 + b \sum h + nc = \sum C$$

Se llega al sistema de ecuaciones lineales simultáneas 2), en las cuales se debe determinar los valores a , b y c .

$$271710 a + 18891 b + 1516 c = 157713$$

$$18891 a + 1516 b + 147 c = 15911 \quad 2)$$

$$1516 a + 147 b + 23 c = 2786$$

Resolviendo el sistema anterior, se encuentra:

$$a = 0.11; \quad b = -4.45; \quad c = 142.27$$

De tal manera que la parábola probable que relaciona de la mejor manera, los datos respectivos será:

$$C = a H^2 + b H + c = 0.11 H^2 - 4.45 H + 142.27 \quad 3)$$

o aproximadamente

$$C = 0.1 H^2 - 4.5 H + 142.2$$

Análogamente, por aplicación del procedimiento de los mínimos cuadrados se determinó la ecuación de la parábola probable que interpreta la variación de los déficits de saturación resultando ser ésta:

$$D.S. = - 7.07 \times 10^{-4} H^2 - 1.94 \times 10^{-2} H + 6.08$$

Estos valores conjuntamente con los correspondientes a los coeficientes de evaporación calculados, han sido adoptados para el empleo de procedimientos posteriores. Habiéndose incluido aquellos, en la Col. 10 del Cuadro VIII y Cols. (3) y (4) del Cuadro IX.

A continuación se determina, en el Cuadro IX, los porcentajes de desviación de la evaporación reducida, calculada (sin viento), respecto a la correlativa local existente.

A este fin, al producto del coeficiente de evaporación y déficit de saturación (col. (3) x col (4)) se le multiplica sucesivamente por los coeficientes de corrección que corresponden a la humedad relativa local y temperatura del lugar (cols. (5) y (6)).

Habiéndose considerado satisfactoria la aplicación de la alternativa 2), se elaboró el Cuadro X que en definitiva dá los resultados de evaporación que se podrían esperar de estaciones meteorológicas en función de su altitud sobre el nivel del mar.

C U A D R O IX

Desviación de la Evaporación reducida local respecto a la calculada en base de la ley parabólica de variación del Coeficiente C y del déficit de saturación adoptado

(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)
<u>Nº de Es-</u> <u>tación</u>	<u>Altitud</u> <u>(mts)</u>	<u>Coeficiente</u> <u>de evapora-</u> <u>ción calcu-</u> <u>lada.</u>	<u>Déficit</u> <u>de eva-</u> <u>poración</u> <u>adoptado.</u> <u>(m m)</u>	<u>Coeficiente</u> <u>de correc-</u> <u>ción por hu-</u> <u>medad relati-</u> <u>va local</u>	<u>Coeficien-</u> <u>te de co-</u> <u>rrección -</u> <u>por temper-</u> <u>ratura local</u>	<u>Evapora-</u> <u>ción re-</u> <u>ducida -</u> <u>calculada</u> <u>(m m)</u>	<u>Evapora-</u> <u>ción lo-</u> <u>cal redu-</u> <u>cida.</u> <u>E_o</u> <u>(m m)</u>	<u>Porcentaje</u> <u>de desvia-</u> <u>ción respec-</u> <u>to a la eva-</u> <u>poración lo-</u> <u>cal reducida</u> <u>(%)</u>
1	5	142.0	6.08	0.67	1.00	578	552	+ 4.7
2	20	141.3	6.08	1.01	1.10	954	925	+ 3.1
3	74	139.4	6.07	0.58	0.91	447	463	- 3.5
4	123	136.8	6.06	0.84	1.00	779	978	- 20.3
5	140	136.1	6.05	0.68	1.04	582	626	- 7.0
6	170	134.3	6.05	0.94	1.06	813	783	+ 3.8
7	240	132.0	6.03	0.62	0.94	464	576	- 19.4
8	321	128.8	6.02	0.53	0.81	333	328	+ 1.5
9	375	126.7	6.00	0.61	1.06	492	463	+ 6.3
10	415	125.2	5.99	1.00	1.02	765	617	+ 24.0
13	456	123.8	5.98	0.63	1.12	522	493	+ 5.9
14	475	123.1	5.97	0.83	1.10	671	647	+ 3.7
15	489	122.6	5.97	0.71	0.99	514	462	+ 11.3
16	830	111.7	5.87	0.33	1.01	550	496	+ 10.9
17	870	110.6	5.86	0.51	0.96	317	386	- 17.9
18	885	110.2	5.85	0.87	0.94	527	401	+ 31.4
19	885	110.2	5.85	0.83	1.10	539	500	+ 17.8
20	900	109.8	5.85	0.50	0.98	315	347	- 9.2
21	1043	106.1	5.80	0.77	0.99	409	602	- 22.1
22	1268	101.2	5.72	0.83	1.22	586	497	+ 17.0
23	1352	99.7	5.69	0.69	1.02	399	414	- 3.6
24	1600	95.8	5.59	0.62	1.11	369	412	- 10.4
25	1744	94.1	5.53	0.87	1.15	521	505	+ 3.2

C U A D R O X

Evaporación reducida media (sin viento), a diferentes altitudes sobre el nivel del mar; deducida de las Estaciones Meteorológicas estudiadas

(1) <u>Altitud</u> (h) m	(2) <u>Coefficiente</u> <u>definitivo</u> <u>de evapora-</u> <u>ción.</u> (C)	(3) <u>Déficit de</u> <u>saturación</u> <u>adoptado</u> (D.S) m m	(4) <u>Evaporación re-</u> <u>ducida media.</u> E _o mm
0	142.2	6.08	865
100	137.8	6.06	835
200	133.6	6.04	807
300	129.6	6.02	780
400	125.8	5.99	754
500	122.2	5.97	730
600	118.8	5.94	706
700	115.6	5.91	683
800	112.6	5.88	662
900	109.8	5.85	642
1000	107.2	5.82	624
1100	104.8	5.78	606
1200	102.6	5.75	590
1300	100.6	5.71	574
1400	98.8	5.67	560
1500	97.2	5.63	547
1600	95.8	5.59	536
1700	94.6	5.55	525
1800	93.6	5.50	515
1900	92.8	5.46	507
2000	92.2	5.41	499

NOTAS: En cada caso, los valores reales se obtendrán modificando estas cifras por la desviación de la humedad relativa y de la temperatura de la localidad, respecto a las condiciones medias que ya están fijadas anteriormente.

Las ecuaciones del coeficiente de evaporación y del déficit de saturación son:

$$C = 0.10 H^2 - 4.5H + 142.2$$

$$D.S. = 7.07 \times 10^{-4} H^2 - 1.04 \times 10^{-2} H + 6.08$$

donde H = 100h

Se inserta a continuación un nomograma que permite obtener los valores intermedios no consignados en el Cuadro X.

Ejemplos de aplicación del Cuadro X, nomograma complementario y cuadros anteriores.

Se desea calcular las evaporaciones medias anuales de las estaciones meteorológicas siguientes:

Pariaguán, Pampanito, Churuguara, Observatorio Cagigal y Bailadores, conociéndose las altitudes, humedades relativas medias, temperaturas medias anuales y las velocidades del viento, respectivas.

Se describe el procedimiento de cálculo a seguir.

a) Los datos se tabulan en la siguiente forma:

T A B L A I

<u>(1)</u> <u>Estación</u>	<u>(2)</u> <u>Altitud</u> m	<u>(3)</u> <u>Humedad Relativa</u> me- <u>dia local.</u> (col. 4 Cua- dro V %)	<u>(4)</u> <u>temperatu- ra media,</u> <u>local</u> °C	<u>(5)</u> <u>Velocidad</u> <u>del vien- to.</u> m/s
4) Pariaguán Edo. Anzoátegui.	123	78	26.3	3.3
9) Pampanito Gran- ja Agrícola Edo Trujillo.	375	85	25.7	1.2
20) Churuguara, Edo. Falcón.	900	86	21.21	4.6
21) Observatorio Ca- gigal.	1043	78	20.4	3.5
25) Bailadores, Edo. Mérida.	1744	72	18.5	3.1

b) Se ordenan las cifras medias de cálculo, a diferentes altitudes, obtenidas de los cuadros que figuran en el presente trabajo.

T A B L A I I

CIFRAS MEDIAS DE CALCULO

	<u>Altitud sobre el nivel del mar</u>					<u>Observaciones</u>
	h (mts)					
	<u>123</u>	<u>375</u>	<u>900</u>	<u>1048</u>	<u>1744</u>	
1) <u>Humedad Relativa.</u>	76.7	75.2	72.2	71.4	68.5	Col. 4 del Cuadro VI.
2) <u>Complemento de la humedad relativa</u>	23.3	24.8	27.8	28.6	31.5	
3) <u>Temperatura media.</u>	26.2	24.8	21.5	20.6	16.3	Col. 4 del Cuadro II.
4) <u>Tensión máxima de vapor - correspondiente a la temperatura local. (Col. 4, T. 1)</u>	25.7	24.8	18.9	18.0	16.0	Col. 2 del Cuadro I.
5) <u>Tensión máxima de vapor correspondiente a la temperatura media</u>	25.5	23.4	19.3	18.2	13.9	Col. 2 del Cuadro I.
6) <u>Evaporación reducida.</u>	827	759	642	615	521	Nomograma de evaporación reducida.

c) Se clasifican las zonas en las cuales están emplazadas las estaciones meteorológicas, en normales e influenciadas.

Normales son aquellas zonas que no están sujetas a influencias marcadas - locales, y consiguientemente, se puede aplicar en la determinación de la evapo

ración local, el valor promedio de las humedades relativas que pertenecen a la altitud del lugar, por una parte, y por otra, a la observada en la localidad.

Zonas influenciadas, son aquellas en las cuales las características fisiográficas de la hoya tienen una repercusión decisiva en el fenómeno de la evaporación. Son lugares que, no obstante de pertenecer por su altitud sobre el nivel del mar a un determinado tipo de clima, están muy próximos a depresiones, o a serranías o a lugares encajonados.

La clasificación de las estaciones meteorológicas estudiadas ya se ha efectuado en la pag. 39 de este trabajo.

Cumpliendo con esta etapa de cálculo se tendrá:

T A B L A I I I

<u>Estación</u>	<u>Clasificación</u>	<u>Humedad Relativa, local, para el cálculo.</u>	<u>Complemento de la humedad Relativa local.</u>
4. Pariaguán.	Normal	77.4	22.6
9. Pampanito.	Influenciada	85.0	15.0
20. Churuguara.	Influenciada	86.0	14.0
21. Observatorio Cagigal.	Normal	74.7	25.3
25. Bailadores.	Influenciada	72.0	28.0

Se aclara el procedimiento como sigue:

- 1-c. Pampanito que pertenece a una zona influenciada conserva su humedad relativa local de 85.0% (col. 4 del Cuadro V).
- 2-c. El observatorio Cagigal que pertenece a una zona normal, adopta como humedad relativa de cálculo el valor medio entre su humedad relativa local y el

valor que corresponde a la altitud, es decir:

Humedad relativa de cálculo para esta localidad $\frac{78\% + 71.4\%}{2} = 74.7$ (Véase col. 4 del Cuadro V y col. 4 del Cuadro VI).

d) Finalmente se multiplica las evaporaciones reducidas (fila 5 de la Tabla II), por las respectivas relaciones de complementos de humedades relativas, tensiones máximas de vapor y los factores que incluyen la velocidad local del viento predominante.

De esta manera se tienen, por ejemplo, las evaporaciones medias anuales, de:

$$1-d. \text{ Pampanito: } \frac{15.0}{24.8} \times \frac{24.8}{23.4} \times 759 \left(1 + \frac{1.2}{4.4}\right) = 619 \text{ m m.}$$

La evaporación media registrada en el período de 1941-46, fué de 589 mm, por consiguiente la diferencia entre la evaporación calculada y esta última, es de + 5.1%.

$$2-d. \text{ Observatorio Cagigal: } \frac{25.3}{28.6} \frac{18.0}{18.2} \times 615 \left(1 + \frac{3.5}{4.4}\right) = 966 \text{ m m.}$$

La evaporación media registrada (1937-46) fué 1078 m m, siendo en este caso la diferencia = - 10.4%.

Del mismo modo se tiene:

<u>Estación</u>	<u>Evaporación calculada</u> m m	<u>Evaporación registrada.</u> m m	<u>Período de registro.</u>	<u>Diferencia de evaporación</u> %
4. Pariaguán.	1415	1710	1943-46	- 17.3
20. Churuguara.	648	694	1943-46	- 6.6
25. Bailadores.	909	861	1941-46	+ 5.6

Como se observa, los resultados son bastantes satisfactorios.

Como complemento realizado sobre el estudio de la evaporación procedente de los evaporímetros, se inserta el cuadro siguiente:

C U A D R O X I

Humedad Relativa Media y complemento de la Humedad Relativa, corregidas por presión barométrica, a diferentes altitudes sobre el nivel del mar

(1) <u>Altitud</u> h (mts)	(2) <u>Presión atmosférica relativa al nivel del mar.</u> (atmósferas)	(3) <u>Humedad Relativa equivalente.</u> (col. 4, Cuadro VI)	(4) <u>Humedad Relativa corregida.</u> (%)	(5) <u>Complemento de la Humedad Relativa, corregida.</u> (%)
0	1	77.5	77.5	22.5
100	0.9888	77.7	76.8	23.2
200	0.9778	78.0	76.3	23.7
300	0.9668	78.2	75.6	24.4
400	0.9558	78.5	75.0	25.0
500	0.9451	78.8	74.5	25.5
600	0.9344	79.0	73.8	26.2
700	0.9238	79.3	73.3	26.7
800	0.9133	79.6	72.7	27.4
900	0.9029	80.0	72.2	27.8
1000	0.8926	80.3	71.7	28.3
1100	0.8824	80.5	71.0	29.0
1200	0.8724	80.8	70.5	29.5
1300	0.8623	81.2	70.0	30.0
1400	0.8524	81.5	69.5	30.5
1500	0.8426	81.8	68.9	31.1
1600	0.8329	82.4	68.6	31.4
1700	0.8233	83.0	68.2	31.7
1800	0.8137	83.5	67.9	32.1
1900	0.8043	84.2	67.7	32.3
2000	0.7949	84.8	67.4	32.6
2100	0.7857	85.4	67.1	32.9
2200	0.7765	85.8	66.6	33.4
2300	0.7674	86.3	66.2	33.8
2400	0.7585	86.6	65.7	34.3
2500	0.7496	87.0	65.2	34.8

La ley física anterior, deducida de las observaciones de evaporímetro, constituye un límite superior que nunca podrá ser alcanzado por los valores medios determinados bajo condiciones naturales en el terreno humedecido.

Es por ello que a continuación se hace uso de los siguientes criterios y procedimientos:

a) La evaporación potencial desde el terreno es una cantidad menor que la evaporación registrada en las estaciones metereológicas. Se acostumbra multiplicar este último valor por un coeficiente de 0.6 a 0.8.

b) A objeto de fijar los valores promedios de las condiciones naturales, se tomaron en consideración las modificaciones impuestas por la vegetación y topografía en la evaporación, según las cifras que aparecen en los siguientes cuadros:

C U A D R O X I I

Modificación de la evaporación, según la abertura de vegetación(transeau)

(1) <u>Clase de vegetación</u>	(2) <u>Intensidad relativa de evaporación</u> %
1. Terreno desnudo.	100
2. Terreno con vegetación herbácea.	90
3. Terreno con arbustos.	85
4. Terreno con bosquecillos.	60
5. Terreno con bosque espeso.	35
6. Terreno con bosque espeso y enredaderas.	25
7. Idem en el fondo de la quebrada.	13
8. Idem con terreno muy humedecido.	10

C U A D R O XIII

Criterios para la selección del coeficiente de evaporación según la topografía, cobertura vegetal, suelo, subsuelo, humedad del aire y velocidad del viento (Meyer)

1. Este coeficiente varía normalmente entre 0.95 y 1.25.
2. Hoyas muy arenosas pueden tener un coeficiente tan bajo como 0.60 y hoyas impermeables planas pueden requerir un coeficiente mayor de 1.25.
3. Un coeficiente sumamente alto de evaporación (1.25) resulta de una topografía llana desprovista de vegetación, moderadamente permeable, poco espesor de suelo superficial, seguido de un subsuelo impermeable o rocoso, baja humedad del aire y alta velocidad del viento.
4. Un coeficiente sumamente bajo de evaporación (0.95) resulta de una topografía accidentada, poca extensión de suelo desnudo con subsuelo rocoso, alta humedad del aire y poca velocidad del viento. También el terreno puede ser extremadamente arenoso.

Nótese que para aplicación real del coeficiente adecuado de evaporación local, debe efectuarse un estudio detallado de la hoya donde también se considera la influencia de la infiltración y escorrentía de las aguas pluviales.

C U A D R O XIV

Transpiración Estacional de la Vegetación (Meyer)

(1) <u>Clase de Vegetación</u>	(2) <u>Cantidad Transpirada</u> (mms)
1. Cereales, pastos y terreno cultivado.	225-250
2. Arboles.	200-300
3. Arbustos.	150-200

c) En atención a que en las hoyas venezolanas la mayores precipitaciones pluviales se producen en zonas llanas con exuberante vegetación, y por consi--

guiente se tiene un suelo-bosque que proporciona apreciable infiltración; y por el contrario, las menores precipitaciones ocurren en zonas áridas y de suelo relativamente impermeable, es conveniente relacionar el coeficiente de evaporación, debido a las condiciones de topografía y vegetación medias de una hoya virtual, con la precipitación media anual correspondiente a su altitud.

A este fin, y sopesando previamente los valores expuestos en los cuadros anteriores, se ha fijado el siguiente cuadro de coeficientes medios de evaporación que, en su condición de tales, necesariamente deben ser valores centrados.

C U A D R O X V

Coefficiente de evaporación por vegetación y topografía

<u>(1)</u> <u>Precipitación media anual</u> (Mms)	<u>(2)</u> <u>Coefficiente de evaporación</u>
1. 400 - 450	1.15
2. 450 - 550	1.10
3. 550 - 700	1.05
4. 700 - 900	1.00
5. 900 - 1150	0.95
6. 1150 - 1450	0.90
7. 1450 - 1900	0.85

d) Meinzer y Stearns en sus investigaciones llevadas a cabo en la hoya de Pomperang (Estados Unidos) han determinado que la oportunidad de evaporación, en dicha hoya, fué de 59% respecto a la evaporación registrada por los

evaporímetros (Tollman-Ground Water, pag. 89).

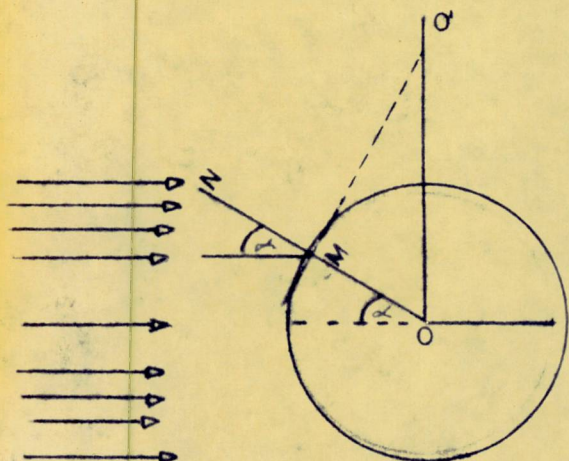
Este valor debe servirnos de orientación, en el desarrollo posterior de este trabajo.

e) Hamond (Journal H.D. ASCE, Mayo 1961), formula la siguiente relación para el cálculo de la evapotranspiración potencial media diaria, P.E., en pulgadas.

$$P.E. = CD^2 P_t \quad 1)$$

En esta ecuación, $C = 0.55$, D son las horas de insolación en unidades de doce horas, P_t es la densidad del vapor saturado de agua, (humedad absoluta), a la temperatura media diaria en gramos por metro cúbico, multiplicado por 10^{-2} .

No obstante de que el valor de C , cuando se consideran las cifras adecuadas ha sido elegido convenientemente para obtener valores apropiados de la evapotranspiración potencial anual, deberá tenerse en mente, que las temperaturas medias diarias pueden diferir sensiblemente de las temperaturas medias mensuales; siendo estas últimas aproximadamente iguales a los valores medios anuales.



En el proceso de adaptar esta fórmula a las condiciones climáticas venezolanas, primero se hace una corrección por la variación de radiación solar con la latitud, y en segundo lugar se expresa el resultado en términos de horas de insolación medias anuales.

Efectivamente, estando deducida la fórmula de Hamond en relación a la radiación solar que aproximadamente para Estados Unidos podemos referir al paralelo 37° y respecto a Venezuela al paralelo 7° , la razón de las intensi-

dades de radiación solar entre Venezuela y Estados Unidos será:

$$C_r = \frac{\cos. 7^\circ}{\cos. 37^\circ} = \frac{0.99255}{0.79864} = 1.2428$$

Sentado lo anterior y usando nuestra nomenclatura acostumbrada que designa por m' las densidades de vapor saturado, y denominando la evapotranspiración potencial por E_{vtp} ; la duración de las horas de sol diarias y anuales, por D_d , y D_a , respectivamente, se tendrá por transformación sucesiva de la ecuación 1), - las siguientes:

$$E_{vtp} \text{ (diaria)} = 25.4 \times 0.55 \times D_d^2 \times m_d' \times 10^{-2} \text{ (milímetros)} \quad 2)$$

$$E_{vtp} \text{ (anual)} = \frac{365 \times 25.4 \times 0.55}{(365)^2} \times D_a^2 \times m_d' \times 10^{-2}$$

$$= 4.76 \times D_a^2 \times m_d' \times 10^{-4} \quad 3)$$

Nótese que $D_a = \frac{D_d}{365}$ y $m_d' = km_d$; donde $k = 1$, según lo expresado anteriormente.

Se inserta el Cuadro XVI con las cifras extractadas de "Datos Detallados de Climatología de Venezuela".

f) La ecuación empírica que relaciona la variación de las horas de sol anuales, S , con la altitud del lugar, H , será del tipo:

$$S = aH^2 + bH + c$$

Donde H está expresado en centenas de metros y a , b y c son coeficientes por ser determinados en función de los datos y de acuerdo al sistema de las 3 - ecuaciones lineales que se indica a continuación:

$$\begin{aligned} a \sum H^4 + b \sum H^3 + c \sum H^2 &= \sum H^2 S \\ a \sum H^3 + b \sum H^2 + c \sum H &= \sum HS \\ a \sum H^2 + b \sum H + nc &= \sum S \end{aligned} \quad 1)$$

C U A D R O XVI

Cifras extractadas de "Datos Detallados de Climatología de Venezuela"

(1) <u>Estación Metereológica</u>	(2) <u>Altitud</u>	(3) <u>Horas de Sol por año</u>	(4) <u>Lluvia anual media</u>	(5) <u>Días de lluvia por año</u>	(6) <u>Temperaturas Medias</u>			(7) <u>Diferencia de temperaturas medias</u>	
					mín.	M. anual	Máx.	tm-tmm.	tmáx-tm.
	h	S	P _m	L	tmín.	tm.	tmáx.	(Δ1)	(Δ2)
1. Maracaibo-Edo. Zulia	6	2790	573	60	27.4	28.8	29.4	1.4	0.6
2. Güiría-Edo. Sucre	7	2748	987	160	25.5	26.7	27.4	1.2	0.7
3. Carúpano-Edo. Sucre	15	2636	902	119	25.0	26.4	27.3	1.4	0.9
4. Coro-Edo. Falcón	20	2971	442	47	27.0	18.6	29.9	1.3	1.5
5. San Fdo. de Apure	73	2648	1415	75	26.3	27.4	28.7	1.1	1.3
6. Calabozo-Edo. Guárico	106	2190	1313	85	26.6	27.5	29.2	0.9	1.7
7. Barinas-Edo. Barinas	180	2445	1863	115	26.0	26.6	27.1	0.6	0.5
8. Maracay-La Providencia-Edo. Aragua.	450	2516	838	112	23.6	24.5	26.4	0.9	0.9
9. Valencia-Edo. Carabobo.	476	2602	1120	141	24.0	24.6	25.6	0.6	1.0
10. Valencia. Naguanagua	480	2474	1133	106	22.6	23.9	25.0	1.3	1.1
11. Barquisimeto (Lara)	566	2589	519	67	23.6	24.2	24.9	0.6	0.7
12. El Valle-Dto. Federal	885	2326	797	144	19.0	20.7	21.7	1.7	1.0
13. Sta. Elena (Bolívar)	907	2152	1628	235	21.1	21.8	22.4	0.7	0.6
14. Observatorio Cagigal	1043	2484	820	122	18.8	20.4	21.5	1.6	1.1
15. Mérida-Edo. Mérida	1623	2309	1816	204	18.2	19.2	19.7	1.0	1.5
16. Colonia Tovar	1790	1827	1300	190	14.1	15.4	16.3	1.3	0.9

Los valores numéricos derivados de los datos obtenidos son:

$$\begin{aligned}\sum H^4 &= 99286 ; \sum H^3 = 13083 ; \sum H^2 = 956 \\ \sum H^2 S &= 2085380 ; \sum H = 86 ; \sum HS = 196484 \\ n &= 16 ; \sum S = 39707\end{aligned}$$

De tal manera que el sistema 1) es equivalente a:

$$\begin{aligned}99286 a + 13083 b + 956 c &= 2085380 \\ 13083 a + 956 b + 86 c &= 196484 \quad 2) \\ 956 a + 86 b + 16 c &= 39707\end{aligned}$$

Resuelto el sistema 2) se tiene por valor de los coeficientes las siguientes cifras:

$$a = 0.166 ; b = - 37.036 ; c = 2670.683$$

Pudiéndose escribir la ecuación deseada en la siguiente forma

$$S = 0.17 H^2 - 37.04 H + 2670.68 \quad 3)$$

Los resultados obtenidos al asignar valores a H cada 100 mts., han sido escritos en la columna 2, del Cuadro XVII.

g) Se elabora el Cuadro XVII a objeto de determinar la evapotranspiración potencial media, por año, a partir de la fórmula 3) del párrafo e).

Al efecto de disponer los cálculos por columnas y al final se establece la relación unitaria (col. 9) de la evapotranspiración en términos de la evaporación reducida media, derivada ésta de las observaciones en evaporímetros (Cuadro X).

El término medio de este factor de reducción obtenido es de 0.575, que como se observa es poco diferente del valor experimental 0.59, obtenido por Meinzer (párrafo d). Es en base a esta coincidencia, que el empleo de estos primeros resultados en el intento de determinar la evapotranspiración actual, parece justificado.

C U A D R O XVII

Cálculo de la Evapotranspiración potencial media, por año (Derivación de la fórmula de Hamond)

(1) <u>Altitud</u>	(2) <u>Horas de Sol por año</u>	(3) <u>Horas de Sol en - unidades de 12 hrs.</u>	(4) <u>Valor cua- drático de la col. an- terior</u>	(5) <u>Temperatu- ra media - absoluta</u>	(6) <u>Tensión de vapor máxima media.</u> (C.6, CVIII)	(7) <u>Humedad ab- soluta máxi- ma por m3.</u>	(8) <u>Evapotranspiración potencial media - anual</u>	(9) <u>Factor de Reducción a partir de la Eva- poración Reducida - Media (Cuadro X)</u>
h	S	D _a	D _a ²	T	F'	m' _s = $\frac{290F'}{T}$	E _{vtp} = 4.76 D _a m' _s 10 ⁻⁴	
0	2671	222.6	49551	300.0	26.70	25.81	609	0.704
100	2634	219.5	48180	299.4	26.09	25.27	580	0.695
200	2597	216.4	46829	298.8	25.47	24.72	551	0.683
300	2561	213.4	45540	298.2	24.82	24.14	523	0.671
400	2525	210.4	44268	297.6	24.21	23.59	497	0.659
500	2490	207.5	43056	297.0	23.60	23.04	472	0.647
600	2455	204.6	41861	296.3	22.89	22.40	446	0.632
700	2420	201.7	40683	295.7	22.34	21.91	424	0.621
800	2385	198.8	39521	295.1	21.81	21.53	405	0.612
900	2351	195.3	38142	294.5	21.32	20.99	373	0.581
1000	2317	193.1	37288	293.9	20.82	20.54	365	0.585
1100	2284	190.3	36214	293.3	20.24	20.01	345	0.569
1200	2251	187.6	35194	292.8	19.81	19.62	329	0.558
1300	2218	184.8	34151	292.1	19.15	19.01	309	0.538
1400	2185	182.1	33160	291.5	18.71	18.61	295	0.527
1500	2153	179.4	32184	290.9	18.23	18.17	278	0.508
1600	2122	176.8	31258	290.2	17.65	17.64	262	0.489
1700	2090	174.2	30346	289.6	17.17	17.19	248	0.472
1800	2059	171.6	29447	289.0	16.71	16.77	235	0.456
1900	2028	169.0	28561	288.4	16.24	16.33	222	0.438
2000	1998	166.5	27722	287.8	15.80	15.92	210	0.421

T.M = 0.575

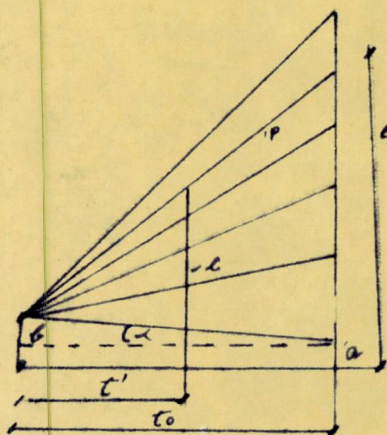
h) El siguiente paso consiste en calcular la evaporación del terreno humedecido, en las mismas localidades en las cuales están ubicadas las 16 estaciones meteorológicas consideradas.

En la consecución de este fin, previamente se interpreta en forma analítica el ábaco de Meyer, para enseguida darle una aplicabilidad expedita.

Este procedimiento consta de las siguientes etapas:

1º) Por observación del ábaco se llega a la conclusión que sus dos regiones a partir de la línea vertical central dan resultados bastante parecidos, cuando se usan las cifras de las temperaturas medias mensuales, que se sabe que además de ser valores relativamente más altos que la generalidad de las zonas de Estados Unidos, son muy poco diferentes entre sí.

En consecuencia bastará estudiar una sola región; para ello se escoge la que corresponde a la izquierda de la línea vertical. Esta parte tiene la particularidad de que si se prolongan las curvas según líneas rectas, se encuentran que éstas convergen prácticamente en un punto; y por otra parte estas líneas rectas interpretan, dentro del intervalo de aplicabilidad de las condiciones climáticas venezolanas, con bastante aproximación las leyes físicas involucradas en el ábaco de Meyer.



Por medición de longitudes en el ábaco se obtienen las siguientes magnitudes:

$$a = 5.00 \text{ mms}; b = 16.00 \text{ mms.}$$

$t_0 = 41^\circ$; $t' = t + 9^\circ$ donde t representa la temperatura media mensual en grados centígrados.

Además se tiene:

P = la precipitación media mensual correspondiente.

e_0 = la evaporación media mensual cuando $t' = t + 9 = 41^\circ$; o sea cuando $t = 32^\circ$.

e = evaporación media mensual cuando se tiene la temperatura:

$$t' = t + 9^\circ$$

Conviene notar que las evaporaciones se refieren a la precipitación P y a la temperatura t' ; por último sea $k = \frac{b-a}{t_0} = tg.$

Procediendo al desarrollo algebraico que expresa las distintas cantidades, se tendrá de la semejanza de triángulos:

$$\frac{e - k(t_0 - t') - a}{e_0 - a} = \frac{t'}{t_0} \quad 1)$$

$$e = \frac{(e_0 - a)t'}{t_0} + \frac{b - a}{t_0}(t_0 - t') + a \quad 2)$$

2º) Para determinar la evaporación básica, e_0 , como una función de la precipitación mensual, P , se efectuaron lecturas con el escalímetro sobre la recta vertical del ábaco, las cuales se registran en el siguiente Cuadro XVIII.

C U A D R O XVIII

Evaporación básica, e_0 , para diferentes precipitaciones medias

mensuales, a la temperatura $t_m = 32^\circ$

(1) <u>Precipitación</u> <u>media mensual</u> P (nms)	(2) <u>Evaporación</u> e_0 (nms)	(1) <u>Precipitación</u> <u>media mensual</u> P (nms)	(2) <u>Evaporación</u> e_0 (nms)
0	3	225	135
25	25	250	147
50	47	275	159
75	59	300	170
100	71	325	183
125	85	350	188
150	95	375	195
175	110	400	202
200	123		

39) A objeto de efectuar posteriores cálculos interesa conocer la suma de las precipitaciones medias mensuales que aparecen en el cuadro precedente, así como también, la suma de los cuadrados, de los cubos, de los valores elevados a la cuarta potencia y otros que se necesitan de inmediato.

Notando que las precipitaciones siguen una progresión aritmética, se puede sacar como factor común el número 25, de tal modo que las sumas se reducen a las correspondientes de las series de números potenciados; haciéndose de esta manera más expedita la obtención de los resultados; así se tendrá:

$$\sum_0^n P = 25 \sum_1^n (n-1) = 25 \left(\frac{n^2}{2} - \frac{n}{2} \right) \text{ o numéricamente } \sum_0^{17} P = 25 \left(\frac{17^2}{2} - \frac{17}{2} \right) = 3400$$

$$\sum_0^n P^2 = 25^2 \sum_1^n (n-1)^2 = 25^2 \left(\frac{n^3}{3} - \frac{n^2}{2} + \frac{n}{6} \right); \sum_0^{17} P^2 = 25^2 \left(\frac{17^3}{3} - \frac{17^2}{2} + \frac{17}{6} \right) = 935000$$

$$\sum_0^n P^3 = 25^3 \sum_1^n (n-1)^3 = 25^3 \left(\frac{n^4}{4} - \frac{n^3}{2} + \frac{n^2}{4} \right); \sum_0^{17} P^3 = 25^3 \left(\frac{17^4}{4} - \frac{17^3}{2} + \frac{17^2}{4} \right) = 289000000$$

$$\sum_0^n P^4 = 25^4 \sum_1^n (n-1)^4 = 25^4 \left(\frac{n^5}{5} - \frac{n^4}{2} + \frac{n^3}{3} - \frac{n}{30} \right); \sum_0^{17} P^4 = 25^4 \left(\frac{17^5}{5} - \frac{17^4}{2} + \frac{17^3}{3} - \frac{17}{30} \right) \\ = 25^4 \times 243848 = 95253125000$$

Además se tiene:

$$\sum P^2 e_0 = 158376875; \sum P e_0 = 524275; \sum e_0 = 1997.$$

Para no trabajar con cifras tan elevadas se puede escribir:

$$\sum P^4 = 10^8 \times 952.5; \sum P^3 = 10^6 \times 289.0; \sum P^2 = 10^4 \times 93.5; \sum P = 10^2 \times 34.0$$

$$\sum P^2 e_0 = 10^6 \times 158.4; \sum P e_0 = 10^4 \times 52.4; \sum e_0 = 10^2 \times 20.0$$

49) La ecuación empírica de la evaporación básica e_0 , es:

$$e_0 = aP^2 + bP + c$$

Siendo los coeficientes a , b y c , raíces del sistema de ecuaciones simultáneas:

$$\begin{aligned} a \times 10^8 \times 952.5 + b \times 10^6 \times 289.0 + c \times 10^4 \times 93.5 &= 10^6 \times 158.4 \\ a \times 10^6 \times 289.0 + b \times 10^4 \times 93.5 + c \times 10^2 \times 34.0 &= 10^4 \times 52.4 & 1) \\ a \times 10^4 \times 93.5 + b \times 10^3 \times 34.0 + c \times 17 &= 10^2 \times 20.0 \end{aligned}$$

que transformado conduce al sistema equivalente:

$$\begin{aligned} 952.5 (a10^2) + 289.0 b + 93.5 (c \times 10^{-2}) &= 158.4 \\ 289.0 (a10^2) + 93.5 b + 34.0 (c \times 10^{-2}) &= 52.4 & 2) \\ 93.5 (a10^2) + 34.0 b + 17.0 (c \times 10^{-2}) &= 20.0 \end{aligned}$$

Resuelto este último, se tiene:

$$a \times 10^2 = -0.0532 \text{ o sea } a = -0.0532 \times 10^{-2}$$

$$b = 0.7051$$

$$c \times 10^{-2} = 0.05637 \text{ o sea } c = 5.637$$

Luego la ecuación buscada será:

$$e_0 = -0.0532 \times 10^{-2} P^2 + 0.7051 P + 5.637$$

i) A fin de satisfacer condiciones físicas impuestas, se sustituyen valores ligeramente reajustados en la fórmula 2 del párrafo h, obteniéndose sucesivamente:

$$\begin{aligned} e &= \frac{(e_0 - 5.64) t'}{41} + \frac{16.00 - 5.64}{41} (41 - t') + 3.00 \\ &= \frac{-5.32 \times 10^{-4} P^2 + 70.51 \times 10^{-2} P}{41} (t+9^e) + \frac{10.36}{41} (32 - t) + 3.00 \\ e &= (-1.3 \times 10^{-5} P^2 + 1.72 \times 10^{-2} P) (t+9^e) + 0.25 (32 - t) + 3.00 & 1) \end{aligned}$$

Designando el valor auxiliar:

$$A(P, t) = (-1.3 \times 10^{-5} P^2 + 1.72 \times 10^{-2} P) (t+9^e)$$

Se tendrá finalmente:

$$e = A(P, t) + 0.25 (32 - t) + 3.00 & 2)$$

Esta fórmula cumple con las condiciones físicas establecidas y en especial con el valor mínimo de evaporación, puesto que efectivamente se tiene para: -

$P = 0$ y $t = 32^{\circ}$ ($t' = 41^{\circ}$): $e = e_0 = 3.00$ mms.

En la aplicación de esta fórmula 2) para calcular la evaporación anual media desde el terreno humedecido, $\sum e$, en el Observatorio Cagigal, se usaron las precipitaciones y temperaturas medias anuales que figuran en la publicación de la División de Malariología, antes mencionada.

El cálculo que aparece desarrollado en el Cuadro XIX, arroja una evaporación media anual: $\sum e = 468.9$ mms.

j) En el proceso de llegar a la expresión analítica de variación de la evaporación de la humedad del terreno con la altitud, se ha evitado la elaboración de 15 cuadros análogos al XIX, estableciendo la fórmula que da la adición de las evaporaciones mensuales.

En efecto, para un término de orden i la evaporación mensual se expresa partiendo de la fórmula 1) del párrafo anterior:

$$e_i = (-1.3 \times 10^{-5} P_i^2 + 1.72 \times 10^{-2} P_i) (t_m + \Delta_i + 9^{\circ}) + 0.25 (32^{\circ} - t_m - \Delta_i) + 3.00$$

donde: t_m = temperatura media y Δ_i es la desviación algebraica del valor considerado, respecto a la temperatura media, ya que $t_i = t_m + \Delta_i$.

El valor Δ_i por ser $\leq 1.7^{\circ}$ (col. 8 del Cuadro XVI), se considera con una influencia despreciable en los cálculos, respecto a la contribución de la temperatura t_m y los valores numéricos adyacentes, luego aproximadamente la ecuación anterior se puede escribir:

$$e_i = (-1.3 \times 10^{-5} P_i^2 + 1.72 \times 10^{-2} P_i) (t_m + 9^{\circ}) + 0.25 (32 - t_m) + 3.00 \quad 1)$$

La evaporación media anual será entonces:

$$E_{terr} = \sum e_i = (-1.3 \times 10^{-5} \sum P_i^2 + 1.72 \times 10^{-2} \sum P_i) (t_m + 9^{\circ}) + 12 \times 0.25 (32 - t_m) + 12 \times 3.00 \quad 2)$$

Se puede simplificar más esta expresión, teniendo en cuenta previamente los siguientes aspectos:

C U A D R O X I X

Cálculo de la evaporación del terreno humedecido para la zona adyacente del Observatorio Cagigal (fórmula 2, párrafo i)

Mes	(1) <u>Precipitación mensual</u> P	(2) $-1.3 \times 10^{-5} P^2$	(3) $+1.72 \times 10^{-2} P$ (10^{-2})	(4) t	(5) t+9	(6) A(P,t)	(7) 0.25(32-t)	(8) <u>e_{terr.} (mensual)</u>
Enero	22	0.00629	37.8	18.8	27.8	10.3	3.30	16.6
Febrero	9	0.00105	15.5	19.0	28.0	4.3	3.25	10.6
Marzo	13	0.00220	22.4	19.9	28.9	6.4	3.02	18.3
Abril	33	0.01416	56.8	21.1	30.1	16.7	2.73	22.4
Mayo	81	0.08529	139.3	21.5	30.5	39.9	2.63	45.5
Junio	99	0.12741	170.3	21.0	30.0	47.3	2.75	53.1
Julio	102	0.13525	175.4	20.8	29.8	48.2	2.80	54.0
Agosto	110	0.15730	189.2	21.0	30.0	52.0	2.75	57.8
Septiembre	104	0.14061	178.9	21.2	30.2	49.8	2.70	55.5
Octubre	109	0.15445	187.5	21.2	30.2	52.0	2.70	57.7
Noviembre	93	0.11244	160.0	20.3	29.3	43.6	2.93	49.5
Diciembre	45	0.02632	77.4	19.5	28.5	21.3	3.13	27.4

ΣP = 820
(anual)

T.M. = 20.4

$E_{terr} = \Sigma e =$
(anual) 468.9

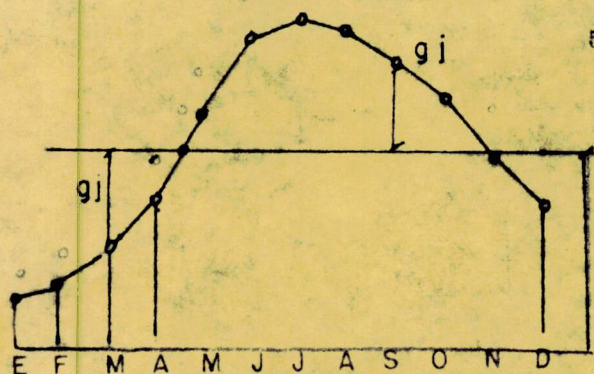
- NOTAS:
1. P designa la precipitación mensual media, registrada por el pluviómetro.
 2. t designa la temperatura mensual media.
 3. Las otras notaciones son las que aparecen en las fórmulas 1) y 2), del párrafo i.
 4. Esta evaporación está basada en experiencias de Estados Unidos. Posteriormente se efectúa su debida corrección.

1. $\sum P_i^2 = (\sum P_i)^2 = 2 P_i P_j$

2. El número de términos $\sum P_i P_j$ es: $\frac{n(n-1)}{2} = \frac{12 \times 11}{2} = 66$

3. $P_i = \frac{\sum P}{12} + \Delta_i$; $P_j = \frac{\sum P}{12} + \Delta_j$

4. En lo anterior $\frac{\sum P}{12}$ es el término medio de las precipitaciones mensuales $= \frac{\sum P_i}{12}$; Δ_i y Δ_j son las desviaciones correspondientes.



5. $\sum P_i P_j = \sum (\frac{\sum P}{12} + \Delta_i) (\frac{\sum P}{12} + \Delta_j)$

$= \sum (\frac{\sum P}{12})^2 + 2 \frac{\sum P}{12} \sum (\Delta_i + \Delta_j) + \sum \Delta_i \Delta_j$

$\frac{\sum P}{12} \sum P_i P_j = 66 \frac{(\sum P)^2}{12} + 2 \times 11 \frac{\sum P}{12} (\Delta_1 + \Delta_2 + \dots + \Delta_{12}) + \sum \Delta_i \Delta_j$ 3)

Gráfico de precipitación media mensual

Las desviaciones Δ_i y Δ_j , que forman el producto $\Delta_i \Delta_j$ pueden ser del mismo o diferente signo, pero siempre son dos magnitudes distintas.

6. La suma: $\sum_1 + \Delta_2 + \dots + 12 = 0$

7. Los fenómenos naturales se producen a un nivel potencial de energía mínimo, compatible con las condiciones físicas que concurren a su formación; de aquí que el término $\sum \Delta_i \Delta_j$, compuesto de valores positivos y negativos, y además, relacionado con el valor promedio del gráfico de precipitaciones medias mensuales, debe necesariamente disminuir con el aumento del número de registros pluviométricos. Recordemos, como una referencia, que la suma de los -

residuos cuadráticos, $\sum \Delta_i^2$, siempre es un valor mínimo.

8. Deseando confirmar numéricamente la anterior aseveración, se procede a calcular la cantidad porcentual que $\sum \Delta_i \Delta_j$ significa en relación a $66 \frac{(\sum P)^2}{12}$, para el caso concreto del Observatorio Cagigal.

En la Publicación N° 8 de Malariología, se tiene registrado un período de precipitaciones mensuales pluviométricas desde 1891-1946, es decir 56 años de observaciones, con las cifras medias mensuales y los cálculos pertinentes se forma el Cuadro XX.

C U A D R O X X

Cálculo del porcentaje de la expresión $\sum \Delta_i \Delta_j$ en términos del valor $66 \left(\frac{\sum P}{12} \right)^2$, para el Observatorio Cagigal

Mes	(1) <u>Precipitación mensual media</u> (mm)	(2) <u>Desviación respecto al promedio de los valores anteriores</u>	(3) <u>Valores cuadráticos de las precipitaciones mensuales medias</u>
	P_i	Δ_i	P_i^2
E	22	- 46.33	484
F	9	- 59.33	81
M	13	- 55.33	169
A	33	- 35.31	1089
M	81	+ 12.67	6561
J	99	+ 30.67	9801
J	102	+ 33.66	10404
A	110	+ 41.66	12100
S	104	+ 35.67	10816
O	109	+ 40.67	11881
N	93	+ 24.67	8649
D	45	- 23.34	2025
$\sum P = 820$		$\sum \Delta_i = 0$	$\sum P^2 = 74060$

$$\sum P^2 = (\sum P)^2 - 2 \times \sum P_i P_j$$

$$\sum P^2 = (\sum P)^2 - 2 \left[66 \left(\frac{\sum P}{12} \right)^2 + \sum \Delta_i \Delta_j \right]$$

de donde:

$$2 \sum \Delta_i \Delta_j = (\sum P)^2 - 0.916 (\sum P)^2 - \sum P^2$$

$$\sum \Delta_i \Delta_j = \frac{0.084 (\sum P)^2 - \sum P^2}{2}$$

Reemplazando las expresiones algebraicas por valores numéricos se tiene:

$$66 \left(\frac{\sum P}{12} \right)^2 = \frac{66 \times 672400}{144} = 308184$$

$$\sum \Delta_i \Delta_j = \frac{0.084 \times 672400 - 74060}{2} = - 8791$$

$$T.M. = \frac{\sum P}{12} = 68.33; (\sum P)^2 = (820)^2$$

$$(820)^2 = 672400$$

$$\frac{\sum \Delta_i \Delta_j}{66 \left(\frac{\sum P}{12} \right)^2} = \frac{- 8791}{308187} = - 0.0285$$

Luego, $\sum \Delta_i \Delta_j$ representa un porcentaje de 2.85% del término $66 \left(\frac{\sum P}{12} \right)^2$, y en consecuencia se puede despreciar frente a éste, en primera aproximación.

Entonces es permisible reemplazar en la ecuación 2) de este párrafo, $\sum P^2$ por -

su valor aproximado:

$$(\sum P)^2 - \frac{2 \times 66}{144} (\sum P)^2 = 0.084 (\sum P)^2$$

Convirtiéndose dicha ecuación en la siguiente:

$$E_{\text{terr}} = (-0.1092 \times 10^{-5} (\sum P)^2 + 1.72 \times 10^{-2} \sum P) (t_m + 9^\circ) + 3(32 - t) + 36.00 \quad 3)$$

En este estado de cosas, debemos recalcar que si bien las relaciones intrínsecas, expresadas por la fórmula 3), tienen validez general, las cantidades de evaporación que se obtienen, están basadas en experiencias verificadas en Estados Unidos.

En atención a estas consideraciones, se procederá a corregir, posteriormente, esta fórmula para obtener la evaporación desde el terreno humedecido, en Venezuela, para poder relacionar valores efectivos con los resultados de la fórmula ya adaptada de Hamond.

Como se indica brevemente en los Cuadros XIX y XXI, los cálculos de las evaporaciones corresponden a regiones de Estados Unidos que ficticiamente tienen las mismas precipitaciones y temperaturas, medias, que las estaciones meteorológicas venezolanas.

La evaporación anual calculada para la región norteamericana correlativa al Observatorio Cagigal, usando las precipitaciones y temperaturas medias mensuales, fué según el Cuadro XIX: $E_{\text{terr}} = \sum e = 468.9 \text{ mm.}$
(anual)

En cambio reemplazando en la fórmula 3) ligeramente transformada, los valores numéricos correspondientes: $\sum P = 820 \text{ mm.}$ y $t_m = 20.4^\circ$, se tendrá:

$$E_{\text{terr}} = \sum P (-0.1092 \times 10^{-5} \sum P + 1.72 \times 10^{-2}) (t_m + 9^\circ) + 3(32 - t_m) + 36.00 \quad 4)$$

$$E_{\text{terr}} = 820 \times 1630 \times 29.4 \times 10^{-5} + 3 \times 11.6 + 36.0$$

$$= 393.1 + 34.8 + 36.0 = 463.9 \text{ mm.}$$

C U A D R O XXI

Evapotranspiración para Zonas de Estados Unidos que tienen las mismas características climáticas

que las correspondientes a las 16 estaciones meteorológicas venezolanas, estudiadas (Adapta-

ción del Procedimiento de Meyer, fórmula 3) del párrafo j)

(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	
Estación - Nº Altitud	P	$-0.1092 \times 10^{-5} P + 1.72 \times 10^{-2}$ (10^{-5})	A	B	$3(32-t_m)$	Evapora- - ción anual calculada E_{terr}	Coefficiente de correc-- ción por ve- getación y topografía.	Evaporación media anual corregida	Evapotranspira- ción calculada usando procedi- miento de Meyer	
1	6	573	1657	9.49	358.7	9.6	404.3	1.05	424.5	574.5
2	7	987	1612	15.91	568.0	15.9	619.9	0.95	588.9	738.9
3	15	902	1622	14.63	517.9	16.8	570.7	0.95	542.2	692.2
4	20	442	1672	7.39	276.4	10.8	323.2	1.15	371.7	521.7
5	73	1415	1565	22.14	805.9	13.8	855.7	0.90	770.1	920.1
6	106	1313	1577	20.71	755.9	13.5	805.4	0.90	724.9	874.9
7	180	1863	1517	28.26	1006.1	16.2	1058.3	0.85	899.6	1049.6
8	450	838	1628	13.64	456.9	22.5	515.4	1.00	515.4	665.4
9	478	1120	1598	17.90	601.4	22.2	659.6	0.95	626.6	776.6
10	480	1133	1596	18.08	594.8	24.3	655.1	0.95	622.3	772.3
11	566	519	1663	8.63	286.2	23.4	345.6	1.10	380.2	530.2
12	885	797	1633	13.02	386.7	33.9	456.6	1.00	456.6	606.6
13	907	628	1542	25.10	773.1	30.6	839.7	0.85	713.7	863.7
14	1043	820	1630	13.37	393.1	34.8	463.9	1.00	463.9	613.9
15	1623	1816	1522	27.64	779.4	38.4	853.8	0.85	725.7	875.7
16	1790	1300	1578	20.51	500.4	49.8	586.2	0.90	527.6	677.6
	8629	17466					10013.4		9353.9	11753.9
T.M.	539.3	1091.6					625.8		584.6	734.6

NOTAS: 1. $A = \sum P (-0.1092 \times 10^{-5} \sum P + 1.72 \times 10^{-2})$

2. $B = A (t_m + 9^2)$

3. $E_{u_{cir}} = B + 3(32-t_m) + 36.00$

4. La columna (10) se obtiene de la (9), añadiendo a esta última 150.0 mms. de transpiración media.

El resultado de las aproximaciones indicadas en este párrafo, se traduce en una desviación porcentual de 1.08% de este valor de evaporación comparado con el anterior, lo cual refuerza numéricamente, todas las consideraciones algebraicas que se efectuaron al deducir esta fórmula 4).

En el Cuadro XXI, por aplicación de la fórmula 4), se hace el cálculo de evaporación media anual para zonas equivalentes, en Estados Unidos, a las 16 estaciones meteorológicas venezolanas, designándose las expresiones auxiliares:

$$A = \sum P (- 0.1092 \times 10^{-5} \sum P + 1.72 \times 10^{-2})$$

$$B = \sum P (- 0.1092 \times 10^{-5} \sum P + 1.72 \times 10^{-2}) (t_m + 92)$$

k) La cantidad de transpiración efectuada por la vegetación, depende de la clase de plantas, densidad y otros factores climáticos.

El valor medio de transpiración estacional que establece el Cuadro XIV (Meyer), es de 150 mms. Añadido este valor a la col. 9 del Cuadro XXI, se obtiene la columna 10, que es la Evapotranspiración anual en condiciones medias, según el procedimiento de Meyer.

Corrección de la Evapotranspiración (Meyer), a las condiciones climáticas de Venezuela. Evapotranspiración media efectiva propuesta tentativamente para -

Venezuela

En Hidrología se sustenta el principio de equiparar hojas fisiográficamente equivalentes; de los razonamientos anteriores se desprende de que si se supone que Venezuela cambia únicamente su posición geográfica por la de Estados Unidos, las evapotranspiraciones reales que ocurren en el país se transforman en las que figuran en la col. 10 del Cuadro XXI.

En esta transformación homológica, donde no varían las altitudes respecto al nivel del mar, el centro de gravedad del sistema, (Término Medio de las evapo

transpiraciones), debe desplazarse sobre una línea vertical, ya que tampoco varía su altitud sobre el nivel del mar.

Si se invierte el proceso, es decir se "ubica" nuevamente Venezuela en su posición primitiva, el centro de gravedad del sistema vuelve nuevamente a desplazarse sobre la línea vertical mencionada, pero esta vez en sentido inverso.

Con carácter previo a la determinación de la posición de esta recta, se calcula, acto seguido, la ecuación empírica que relaciona en forma analítica las evapotranspiraciones medias locales de la col. 10, Cuadro XXI.

La ecuación será del tipo:

$$E_{vt} = aH^2 + bH + c \quad (H \text{ expresado en centenas de metros})$$

Los valores de los coeficientes a, b y c, están dados por el sistema acostumbrado de ecuaciones lineales, en el cual:

$$\sum H^4 = 99286 ; \sum H^3 = 13084 ; \sum H^2 = 956 ; \sum H = 86$$

$$\frac{1}{10} \sum H^2 E_{vt} = 62677 ; \frac{1}{10} \sum H \times E_{vt} = 5826 ; \frac{\sum E_{vt}}{10} = 1175 ; n = 16$$

Se observa que en la fila inmediatamente adyacente, se tienen valores que representan la décima parte de las cifras que constituyen los términos conocidos del sistema de ecuaciones, por consiguiente al resolver este sistema se van a tener como soluciones, los coeficientes a', b' y c' que son la décima parte de los coeficientes que interesan: a, b y c.

Resolviendo el sistema mencionado que es:

$$99286 a' + 13084 b' + 956 c' = 62677$$

$$13084 a' + 956 b' + 86 c' = 5826$$

1)

$$956 a' + 86 b' + 16 c' = 1175$$

Se encuentran las soluciones:

$$\begin{array}{l} a' = -0.40827 \times 10^{-2} \text{ o sea } a = -0.0408 \\ b' = -0.92595 \quad \quad \quad \text{ " " } b = -9.2595 \\ c' = 78.65839 \quad \quad \quad \text{ " " } c = 786.5839 \end{array}$$

Al final de este trabajo se anexa el desarrollo de este cálculo que es el típico seguido para la determinación de las curvas parabólicas.

Finalmente, la ecuación buscada será:

$$E_{vt} = - 0.04H^2 - 9.26H + 786.58 \quad 2)$$

Los resultados numéricos de esta ecuación, para aumentos de altitud cada 100 mts, se han llevado en la col. 2) del Cuadro XXII.

Deseando establecer cuales son los vínculos existentes entre la Evaporación Media Reducida, E_0 , derivada de las observaciones de los evaporímetros en hoyas de Venezuela y las Evapotranspiraciones, (Hamond, Meyer), calculadas en el presente trabajo, se han llevado los valores numéricos correspondientes sobre un mismo gráfico (véase fig. 21), haciendo notar que la Evapotranspiración de Hamond ya la hemos acondicionado para este País.

Volviendo a nuestro proceso de determinación de la recta vertical del C.G. del sistema, observamos que en el gráfico indicado, la Evaporación E_0 y la Evapotranspiración se intersectan en el punto M. Evidentemente que este punto por pertenecer al mismo tiempo a las curvas medias de los dos sistemas, Venezuela y Estados Unidos, debe ser el nexo de unión entre ambos, ya que en cierta forma goza de las propiedades comunes.

Efectivamente, la intersección de las dos curvas indicadas se produce a una altitud de 440 mts. s/m, altitud que corresponde al centro de gravedad de un grupo de estaciones meteorológicas venezolanas que reúnen las condiciones medias del clima de Venezuela, entre ellas podemos citar a la Granja Agrícola Nanguanagua, en Valencia, con 480 mts. s/m, caracterizada por los Nos. 15 y 10 en los Cuadros V y XVI,

En la tabla que sigue se compara sus datos climáticos, con los valores me-

C U A D R O XXII

Evapotranspiración media efectiva, deducida para Venezuela (col. 5)

(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
<u>Altitud</u>	<u>Evaporación reducida media, E_0 deducida de lecturas en evaporrímetros</u> (col.4, Cuadro X)	<u>Evapotranspiración media, calculada según el procedimiento de Meyer.</u> $E_{vt} = -0.04H^2 - 9.62H + 786.58$	<u>Evapotranspiración reducida a las condiciones de los valores de Hamond</u>	<u>Evapotranspiración media, basada en la fórmula de Hamond.</u> (col.8, C. XVII)	<u>Coefficiente de proporcionalidad entre la evaporación de evaporrímetros y la evapotranspiración efectiva.</u>
0	865	786.6	501.9	609	0.642
100	835	777.3	495.9	580	0.644
200	807	767.9	489.9	551	0.645
300	780	758.4	483.9	523	0.646
400	754	748.9	477.8	497	0.646
500	730	739.3	471.7	472	0.646
600	706	729.6	465.6	446	0.646
700	683	719.8	459.2	424	0.647
800	662	709.9	452.9	405	0.648
900	642	700.0	446.6	383	0.646
1000	624	690.0	440.2	365	0.645
1100	606	679.9	433.8	345	0.643
1200	590	669.8	427.3	329	0.641
1300	574	659.5	420.8	309	0.636
1400	560	649.2	414.2	295	0.633
1500	547	638.8	407.6	278	0.627
1600	537	628.2	400.8	262	0.617
1700	525	617.6	394.0	248	0.611
1800	515	606.7	387.1	235	0.604
1900	507	595.9	380.2	222	0.594
2000	499	585.2	373.4	210	0.585

T.M. = 0.633

NOTA: El Coeficiente de reducción de la col. 3) respecto a la col. 4)

es: 0.638.

dios que le corresponderían por la altitud y se observa que son poco diferentes.

T A B L A IV

Granja Agrícola de Naguanagua, Valencia

	<u>Temperatura</u> <u>Media</u>	<u>H.R.</u>	<u>Horas de Sol</u> <u>anuales</u>	<u>Días de lluvia por</u> <u>año</u>
1. Valores locales	23.9°	82%	2474	106
2. Valores que corresponden a la altitud.	24.1°	74%	2497 (col.2, C. XVII)	119 (Cuadro XXIII)

Asimismo, la precipitación media anual de la localidad que es de 1133 mm. (col. 2, Cuadro XXI) difiere poco del T.M. (1091.6) del conjunto de precipitaciones correspondientes a las 16 últimas estaciones investigadas. Por último, teniendo presente que esta estación (Nº 15 en fig 15) pertenece a la Zona Subtropical no influenciada, el cálculo de su evaporación local media reducida, siguiendo el procedimiento de cálculo para la aplicación del Cuadro X, arrojará un valor menor de 514 mm. (col. 7, Cuadro IX) y en consecuencia la diferencia con el valor reducido local será menor de 11.3%.

Demostrada la validez práctica de los principios expuestos con anterioridad, el procedimiento de Meyer puede ser corregido para su aplicación en Venezuela.

Habiéndose ya establecido que la recta vertical debe encontrarse en una posición intermedia entre 430 y 500 mts. s/m, se puede estimar que esta recta corta a la curva de Hamond, para Venezuela, en el punto donde la evapotranspiración es de 475 mms. y a la curva derivada de Meyer, en condiciones de Estados Unidos, en el punto donde la evapotranspiración es de 745 mms.

Para reducir al mismo plano de comparación, las condiciones de Meyer a las de Hamond, es decir a las de Venezuela, el coeficiente de correlación debe ser:

$$\frac{475}{745} = 0.638$$

Multiplicando por este coeficiente los números de la col. 2, Cuadro XXII, se obtiene la col. 3 del mismo Cuadro.

Fijados todos los conceptos anteriores, debe aclararse que ninguno de los procedimientos anteriores interpreta por sí solo las condiciones reales de evapotranspiración en Venezuela según se explica a continuación:

a) La evapotranspiración derivada de la fórmula de Hamond si bien realmente significa la evapotranspiración efectiva, en Venezuela; estando basada en las horas de sol anuales, no toma en cuenta completamente la oportunidad de evaporación, por no considerarse la influencia de los días lluviosos en la humedad del terreno.

b) La evapotranspiración derivada de las experiencias de Meyer, involucra en cierta forma la oportunidad de evaporación, por el hecho de que considera las precipitaciones y temperaturas, pero las horas de sol no entran en las experiencias respectivas.

De los anteriores razonamientos se concluye que en Venezuela los valores probables de las evapotranspiraciones efectivas, en condiciones medias, deberán estar sobre una curva que sea la semisuma de las curvas corregidas, basadas en los conceptos de Meyer y Hamond.

Si en base a esta curva se desea calcular posteriormente las evapotranspiraciones o evaporaciones efectivas de la localidad, se procederá por el método de aproximación, del cual se hablará oportunamente.

Es así como se ha calculado la col. 5) del Cuadro XXII, que estimamos, tentativamente, pudiera ser la Evapotranspiración Media Efectiva para Venezuela.

Justifican aún más esta apreciación:

a) La fracción casi constante, (col. 6), que las evapotranspiraciones de la (col. 5), representan respecto a las evaporaciones reducidas medias, procedentes de evaporímetros (col. 1).

b) El valor medio de ese valor fraccionario que siendo 0.633 es poco diferente del de Meinzer (0.57).

c) Las desviaciones moderadas que se obtienen por la aplicación de los valores de esta Evapotranspiración efectiva media propuesta para Venezuela, respecto a los valores medios probables de la evaporación corregida, desde el terreno con una desviación T.M. = + 0.7% , según se verá en la Tabla XXIII.

Variación de la Lluvia Media Anual, con la altitud sobre el nivel del mar

Si se llevan en un gráfico los días de lluvia, L_m , de la col. 6, Cuadro XVI, se observa que estos valores se agrupan esbozando una recta probable, cuya ecuación será del tipo:

$$I_m = ah + b$$

Los coeficientes a y b, se obtienen calculando previamente valores auxiliares:

$$\sum h L_m = 1385013 ; \quad h. \quad L_m = 8629 \times 1982$$

$$\sum h^2 = 9563367 ; \quad (\sum h)^2 = (8629)^2 ; \quad h^2. \quad L_m = 9563$$

Estos últimos, sustituyendo las expresiones equivalentes, dan los resultados buscados:

$$a = \frac{n \sum h L_m - \sum h. \sum L_m}{n \sum h^2 - (\sum h)^2} = \frac{16 \times 1385013 - 8629 \times 1982}{16 \times 9563367 - (8629)^2}$$

$$a = \frac{5057530}{78554231} = 0.064382$$

$$b = \frac{\sum h^2. \sum L_m - \sum h. \sum h L_m}{n \sum h^2 - (\sum h)^2} = \frac{9563367 \times 1982 - 8629 \times 1385013}{16 \times 9563367 - (8629)^2}$$

$$b = \frac{7003316217}{78554231} = 89.152$$

Si $H = 100h$, se tendrá aproximadamente:

$$L_m = 6H + 90 \quad 2)$$

Naturaleza, etapas, fundamentos y validez del procedimiento de aproximación para calcular la evaporación del terreno o la evapotranspiración, en una localidad del País

I - Naturaleza.- Este procedimiento consiste en calcular, en primer término, la evaporación anual conociendo o calculando previamente la precipitación, P , y la temperatura, t_m , medias anuales, de la localidad, para después aplicar cierto coeficiente al valor respectivo, derivado del Cuadro XXII.

II - Etapas del Procedimiento.- Se enumeran a continuación los diversos pasos que se suceden:

1. El valor de la precipitación puede ser obtenido de las siguientes fuentes:

- a) De los registros de alguna o de algunas estaciones meteorológicas vecinas.
- b) Del cálculo de precipitación, basado en las cifras consignadas en el Cuadro IV, tal como se hizo para la hoya del Guaire.
- c) Del ábaco del U.S. Weather Bureau, adaptado en el presente trabajo, a las hoyas de Venezuela.

2. El valor de la temperatura puede ser un dato o bien puede determinarse aproximadamente por el procedimiento de Boussingault que consiste en obtener lecturas con el termómetro a un metro de profundidad la superficie del terreno, en la forma descrita en la pag.

$$b = \frac{7003316217}{78554231} = 89.152$$

Si $H = 100h$, se tendrá aproximadamente:

$$L_m = 6H + 90 \quad 2)$$

Naturaleza, etapas, fundamentos y validez del procedimiento de aproximación para calcular la evaporación del terreno o la evapotranspiración, en una localidad del País

I - Naturaleza.- Este procedimiento consiste en calcular, en primer término, la evaporación anual conociendo o calculando previamente la precipitación, P , y la temperatura, t_m , medias anuales, de la localidad, para después aplicar cierto coeficiente al valor respectivo, derivado del Cuadro XXII.

II - Etapas del Procedimiento.- Se enumeran a continuación los diversos pasos que se suceden:

1. El valor de la precipitación puede ser obtenido de las siguientes fuentes:
 - a) De los registros de alguna o de algunas estaciones metereológicas vecinas.
 - b) Del cálculo de precipitación, basado en las cifras consignadas en el Cuadro IV, tal como se hizo para la hoya del Guaire.
 - c) Del ábaco del U.S. Weather Bureau, adaptado en el presente trabajo, a las hoyas de Venezuela.
2. El valor de la temperatura puede ser un dato o bien puede determinarse aproximadamente por el procedimiento de Boussingault que consiste en obtener lecturas con el termómetro a un metro de profundidad la superficie del terreno, en la forma descrita en la pag.

3. El valor de la evaporación anual está dada por la conocida fórmula 4).

$$E_{vt} = \sum P (-0.1092 \times 10^{-5} P + 1.72 \times 10^{-2})(t_m + 9) + 3(32 - t_m) + 36.0$$

(anual)

4. El coeficiente, k, que debe aplicarse a un valor deducido de la col. 5 - del Cuadro XXII es un valor que se obtiene, formando la siguiente expresión:

$$k = \frac{\frac{L_1 + E_{vt}}{L_h}}{1.2 \text{ de lluvia}} \frac{E_{vtm}}{E_{vtm}}$$

L_1 = Número de días medios anuales ^{de lluvia} del lugar; si no se conoce este dato, se estima esta cantidad por comparación con hoyas vecinas o por conceptos basados en Ecología Vegetal.

L_h = Número de días medios anuales ^{de lluvia} que corresponde a la altitud, h.

E_{vt} = Evaporación ya calculada según la fórmula 4).

E_{vtm} = Término medio de las evaporaciones derivadas de la col. 5), Cuadro XXII, cuyo valor es 314.1, pero que para la Tabla XXIII se aplica el T.M. de las evaporaciones anuales corregidas, que corresponden a las 6 estaciones meteorológicas y que vale: 373.0. E_{vtm} = T.M. (E_{vt}).

III - Fundamentos de este procedimiento de cálculo.- La oportunidad de evaporación, que se traduce prácticamente por la humedad permanente evaporable que debe poseer un terreno para que la evaporación se efectúe sin intermitencias, está involucrada en la provisión continua y uniforme de precipitación durante gran parte del año. Las lluvias que caracterizan la evaporación óptima son aquellas que son ligeras y tienen bastante duración. Se ha demostrado por razonamientos anteriores y por el ejemplo numérico aplicado a Naguanagua que las condiciones medias de evaporación corresponden a la "zona virtual media" del intervalo de altitudes estudiado (0-2000 mts.).

Abstención hecha de la temperatura, se desprenden del anterior razonamiento cuatro conceptos fundamentales, a saber:

1. La evaporación efectiva depende en primer término de la cantidad de lluvia anual, P; expresándose esta dependencia, en cierta forma, por la fórmula 4).

2. La evaporación efectiva también depende del término medio de días de lluvia que se producen por año.

3. Las discrepancias respecto a las condiciones medias originan desviaciones en la evaporación.

4. Estas desviaciones deben ser valoradas en relación directa de la importancia relativa que tengan los factores contribuyentes en la producción de la evaporación.

Estas importancias relativas se expresan en forma analítica por las siguientes expresiones:

a) Importancia relativa del número medio de días de lluvia, respecto a la precipitación y evaporación, caracterizado por: $\frac{T.M. (L_1)}{T.M. (P)}$ y $\frac{T.M. (L_1)}{T.M. (E_{vt})}$

ya que evidentemente el primer valor al expresar la comparación del T.M. de días de lluvia respecto al T.M. de las precipitaciones, constituye un índice de la distribución uniforme de la lluvia. El segundo valor no necesita comentarios.

b) Importancia relativa de la evaporación del terreno, calculada por la fórmula 4): $\frac{E_{vt}}{E_{vtm}}$, puesto que la evaporación del terreno debe compararse con la evaporación media del mismo, que sabemos reúne las condiciones óptimas en la producción de evaporación.

c) Del análisis de los valores pertenecientes a las 16 estaciones meteorológicas, se sabe que el promedio de $\frac{T.M. (L_1)}{T.M. (P)}$ y $\frac{T.M. (L_1)}{T.M. (E_{vt})}$ es aproximada

mente 0.20.

d) Luego el coeficiente medio pesado que debe aplicarse a la evaporación deducida de la col. 5) del Cuadro XXII y que es la evapotranspiración menos la transpiración reducida: 0.638×150 , será:

$$k = \frac{0.2 \times \frac{L_1}{L_{q1}} + \frac{E_{yt}}{L_{ytm}}}{1.2}$$

IV - Validez de este procedimiento .- Justificando aún más la razón de ser de las relaciones analíticas anteriores, que sirven de base al procedimiento - explicado, se presenta el cálculo de la Tabla XXIII, observándose, en la col. - 12, que las desviaciones obtenidas respecto a los valores probables. Son moderadas, y además, que los términos medios totales difieren únicamente en 0.7%.

La ilustración de la tabla mencionada es la siguiente:

1. La fórmula 4), como se sabe, ha sido aplicada antes para las 16 estaciones meteorológicas. Se encuentran los valores respectivos, afectados del - coeficiente 0.638, en la col. 5). El T.M. es: 373.0.

2. El término medio de las precipitaciones (col. 2, Cuadro XXI) es: 1092.

3. El término medio del Nº de días medios de las localidades es: 123.9

4. La importancia relativa de este último valor respecto a los anteriores es: $\frac{123.9}{1092} = 0.113$ y $\frac{123.9}{373.0} = 0.332$; T.M. = 0.223, adoptándose un valor cerca

no a este último es decir: 0.20 (compárese con lo indicado en Aparte III).

5. La relación relativa de los días de lluvia: $\frac{L_1}{L_m}$, se obtiene por la - división de las cifras correspondientes a las cols. 2) y 3) respectivamente.

Aparecen estos valores afectados del 20%, en la col. 4).

6. Los valores: $\frac{E_{yt}}{L_{ytm}}$ y k, están llevados sobre las cols. 5) y 7).

Demostración numérica de la validez del procedimiento de aproximación para

<u>Estación</u>	(1) <u>Altitud</u>	(2) <u>Nº de días de lluvia de la localidad</u>	(3) <u>Nº medio de días de lluvia según la altitud</u>	(4) <u>Coefficiente de corrección afectado del 20%</u>	(5) <u>Evaporación local del terreno corregida para Venezuela (0.638 col. 9, C. XXI)</u>	(6) <u>Valor relativo col (5) sobre T.M. = 0.638 x 584.6 = 373.0</u>
		L_1	$L_m = 6H + 90$	$0.2 \frac{L_1}{L_m}$	E_1	$\frac{E_{vt}}{E_{vtm}}$
1	6	60	90	0.134	270.8	0.726
2	7	160	90	0.356	375.7	1.007
3	15	119	91	0.262	345.9	0.927
4	20	47	91	0.103	237.1	0.636
5	73	75	94	0.160	491.3	1.317
6	106	85	96	0.177	462.5	1.240
7	180	115	101	0.228	573.9	1.539
8	450	112	117	0.191	328.8	0.882
9	478	141	119	0.237	399.8	1.072
10	480	106	119	0.178	397.0	1.064
11	566	67	124	0.108	242.6	0.650
12	885	144	143	0.201	291.3	0.781
13	907	235	144	0.326	455.3	1.221
14	1043	122	153	0.159	296.0	0.794
15	1623	204	187	0.218	463.0	1.241
16	1790	190	197	0.193	336.6	0.902
	8629	1982	1956		5967.6	
T.M.		123.9	122.3		373.0	

btener las evaporaciones efectivas locales del terreno, en Venezuela

(7) <u>Coefficiente me- dio pesado de - col. (4) y (6) -</u>	(8) <u>Evapotransp. efec- tiva media del te- rreno a partir de col. (5), C. XXII</u>	(9) <u>Evaporación efec- tiva media del te- rreno, condiciones medias</u>	(10) <u>Evap. efec- tiva, condi- ciones rea- les</u>	(11) <u>T.M. de las evap. calculadas por - los dos procedi- mientos</u>	(12) <u>Desviación por- centual, col. (10) respecto valor prob. de evap. col. (11)</u>
$k = \frac{(4) + (6)}{1.2}$		(8) - 0.638 x 150	(7) x (9)	$\frac{1}{2} (col5)+col 10)$	
0.717	551.4	458.7	328.9	299.9	+ 9.7%
1.137	554.3	458.6	521.4	448.6	+16.2%
0.992	552.9	457.2	453.5	399.7	+13.5%
0.616	552.0	456.3	281.1	259.1	+ 8.5%
1.232	541.5	445.8	549.2	520.3	+ 5.6%
1.182	537.0	441.3	521.6	492.1	+ 6.0%
1.474	524.0	428.3	631.3	602.6	+ 4.8%
0.895	479.7	384.0	343.7	336.3	+ 2.2%
1.092	475.3	379.6	414.5	407.2	+ 1.8%
1.036	475.0	379.3	393.0	395.0	- 0.5%
0.632	461.3	365.6	231.1	236.9	- 2.4%
0.819	416.9	321.2	263.1	277.2	- 5.1%
1.290	413.9	318.2	410.5	432.9	- 5.2%
0.795	396.9	301.2	239.5	267.8	-10.6%
1.218	329.0	233.3	284.2	373.6	-23.9%
0.913	312.1	216.4	197.8	267.1	-26.0%
		<u>6045.0</u>	<u>6064.2</u>	<u>6016.3</u>	- 5.4%
		377.8	379.0	376.0	- 0.34%

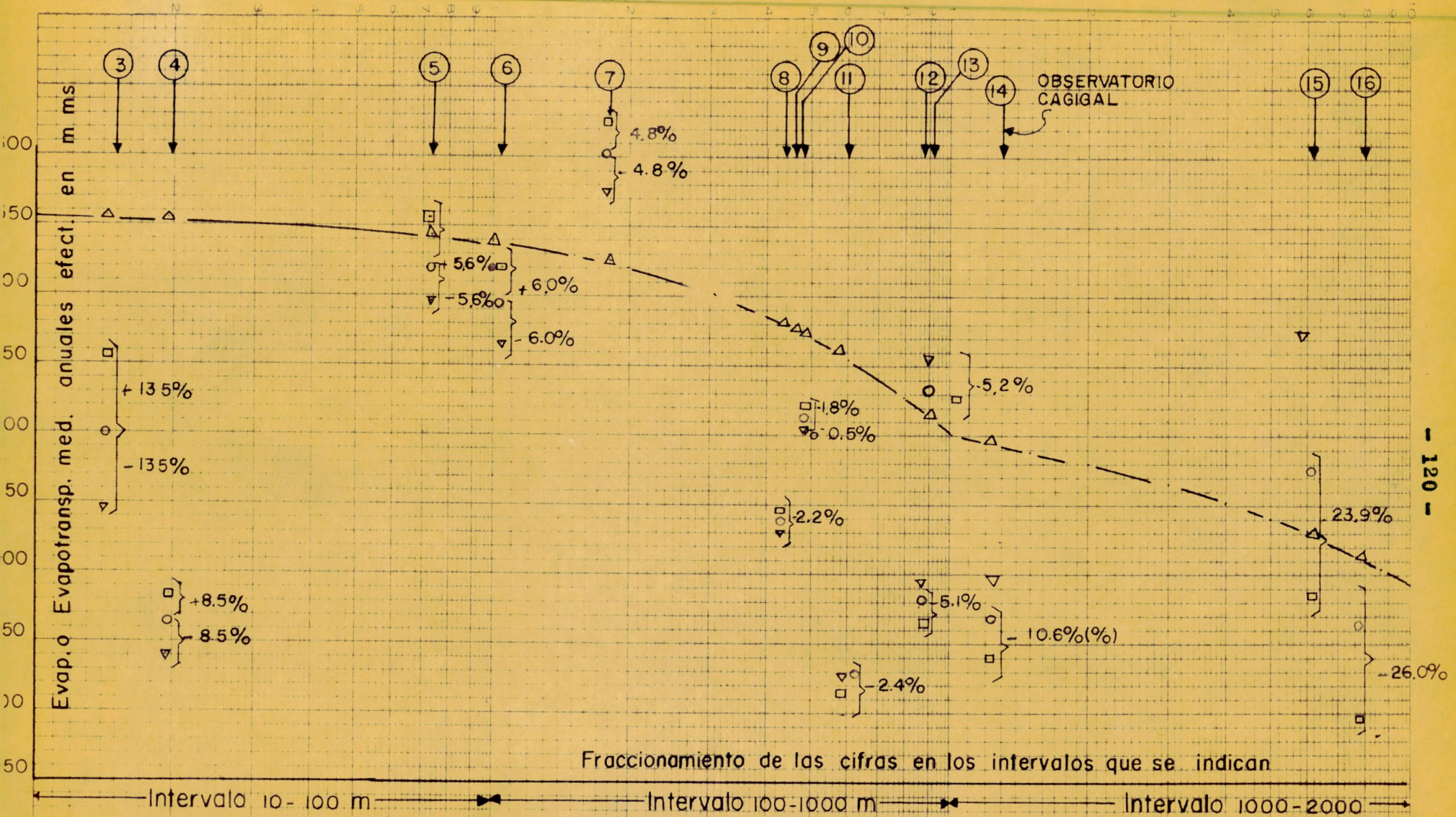


Fig. 23 Validez del procedimiento de aproximación en la obtención de evaporaciones efectivas locales (C. XXIII)
 Leyenda:

- ③ N° de la estación en estudio; Evap. local del terr. corregida p. Venezuela, sg. proced. aplic. indep. (col. 5)
- △ Evapotransp. efectiva media (col. 5, C. XXII); Evap. efectiva, condiciones reales (col. 10, C. XXIII)
- Valor probable de las evaporaciones calculadas (col. 11), 13.5%; porcentaje de desviación respecto valor prob (col. 12)

Tes:

G: 1

TESIS
CBI
Part. 2

ESTUDIO PRELIMINAR DE LAS PRECIPITACIONES
PLUVIALES Y EVAPOTRANSPIRACIONES, MEDIAS
ANUALES, QUE SE PRODUCEN EN VENEZUELA
A DIFERENTES ALTITUDES.

(Parte II)

TRABAJO DE CONVALIDACION, PARA OPTAR EL
TITULO DE INGENIERO CIVIL EN LA
UNIVERSIDAD CENTRAL DE VENEZUELA

Raúl Jaime Bustillos I.

ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
DEPARTAMENTO DE METEOROLOGIA E HIDROLOGIA

D - Esbozo de un procedimiento de cálculo para estimar la precipitación pluvial, mediante el crecimiento del Eucalyptus Paniculata.

Estando en conocimiento de que se ha procedido a calcular la precipitación anual en base al crecimiento de ciertos árboles (Douglas A.E. A Method of estimating rainfall by the growth of trees- In Huntington- Carnegie Inst.- Wash. Pub. 192.1914), y que dicho cálculo se ha ajustado en forma satisfactoria a las medidas registradas por pluviómetros; nosotros esbozamos un procedimiento de cálculo basado en el crecimiento del Eucalyptus Paniculata, que se funda en las siguientes consideraciones:

1º La cantidad maderable que se puede obtener de un bosque en el curso del tiempo, se acostumbra a calcular por aplicación de las fórmulas de interés compuesto, cuya representación gráfica, como sabemos, es de tipo exponencial; es decir ya implícitamente se esté reconociendo el crecimiento de los árboles que tiene una variación del tipo indicado.

2º Existe cierta relación entre la altura alcanzada por un árbol y su altura de pecho. El diámetro de los árboles es una función directa de la distribución anual de la precipitación, que involucra el efecto de las estaciones secas y lluviosas, como asimismo de la cantidad total de lluvia precipitada en el año que se está considerando.

Se acompañan las Figs. 25 y 26 que ilustran la relación media entre la altura del árbol y el diámetro alcanzado, a la altura de pecho, por las especies Eucalyptus Paniculata y Eucalyptus Tereticornis; información gentilmente suministrada por el Dr. Rodolfo Soler, quien presta sus servicios profesionales en el Ministerio de Agricultura y Cría.

3º A su vez, el crecimiento del diámetro de los árboles está estrechamente correlacionado con el tiempo, t , durante el cual se desarrolla, que se sabe es aproximadamente de tipo exponencial, puesto que la velocidad de creci

miento debe disminuir a medida que el árbol se acerque a su altura máxima aparente.

4º Se concluye de que se podría formular una ley de tipo exponencial para el valor promedio pesado de todas las especies sembradas en la localidad del Limón de Maracay (Cuadro D-1), entre las cuales se encuentran sembradas las dos nombradas anteriormente, con mediciones registradas durante doce años; o bien únicamente se intentaría estudiar la especie *Eucalyptus Paniculata*, que cuenta con 120 mediciones y el mayor número de árboles plantados entre todas las especies consideradas.

Procedimiento tentativo de cálculo.

a) Designese por:

Cr = Crecimiento alcanzado por el *E. Paniculata* después de un tiempo, t , de años.

a y b , constantes a ser determinadas de acuerdo a los datos experimentales disponibles.

El crecimiento medio máximo de acuerdo a la Fig. 26 se estima en 33 mts. El crecimiento promedio al cabo de 12 años es de 18,3 mts., según el Cuadro.

Siendo la ley de crecimiento propuesta:

$$Cr = a (1 - e^{-bt})$$

Para $t =$: $Cr = 33$; luego $a = 33$

$$" \quad t = 12: Cr = 18,3 = 33(1 - e^{-b12}); \quad e^{-b12} = 1 - \frac{18,3}{33} = 0,445 \quad ; \quad -$$
$$b12 = 0,81$$

$$b = \frac{0,81}{12} = 0,0675 \quad 0,07$$

Entonces la ecuación queda definida por la expresión:

$$Cr = 33 (1 - e^{-0,07t})$$

De acuerdo a lo anterior el crecimiento del *E. Paniculata*, después de un

período de 45 años será:

$$Cr = 33(1 - e^{-0,07 \times 45}) = 33 \times 0,9572 = 31,59 \text{ mts.}$$

El crecimiento anual promedio:

$$\frac{Cr}{t} = \frac{31,59}{45} = 0,702 \text{ mts., el cual será determinable si se mide el desarro-}$$

llo del árbol en el año 17º a partir de su plantación, puesto que evidentemente se verificará si se iguala la velocidad de crecimiento instantáneo con el valor 0,702, la siguiente expresión:

$$\frac{dCr}{dt} = 33 \times 0,07 e^{-0,07t} = 0,702 ;$$

Desarrollando y resolviendo la anterior ecuación:

$$e^{-0,07t} = 0,304 ; 0,07t = 1,19; t = 17 \text{ años}$$

b) Como ampliación a lo señalado en el punto 2º del aparte anterior, se observa que la precipitación media mensual, correspondiente a una frecuencia de 45 años, registrada en la caseta metereológica de la Estación Gran Ferrocarril de Venezuela de Maracay; se asemeja a la curva tipo IV de Pearson, usada en Teoría de Probabilidades.

Con las debidas notaciones y variables expuestas para nuestro caso se tendrá:

$$P_m = \frac{k e^{-\tan^{-1} \frac{(t)}{2}}}{1 + \frac{t^2}{2}}$$

Donde: P_m = Precipitación media mensual; t = mes del año, en el orden que le corresponda.

k = Constante cuyo valor se define, igualando la integral delimitada en el intervalo que se considera, con la superficie encerrada por la curva de precipitación, que tiene un valor numérico igual a 906.

y = Constantes cuya determinación debe efectuarse en forma conjun-

ta con la de k, para lo cual se toman dos valores de la curva aproximada de Pearson; es decir se debe tener el segundo miembro de la ecuación, - igual a dichos valores recogidos del gráfico.

Habiéndose planteado con el procedimiento anterior 3 ecuaciones donde se encuentran las tres constantes a ser determinadas, su obtención resulta de la aplicación de reglas algebraicas.

Se ha indicado el procedimiento a seguir, que indudablemente será valioso cuando se intente comparar esta curva de distribución pluvial con las de - otras regiones del País; pero que de momento no nos interesa, puesto que para llenar los objetivos del presente estudio, como se sigue más adelante, es suficiente conocer la precipitación anual media para 45 años que sabemos es de 906 mms.

c) Sentado todo lo anterior, podemos plantear que la velocidad de crecimiento mensual de un árbol cualquiera, en condiciones medias, es proporcional - a la lluvia caída durante el mes considerado, es decir:

$$\frac{dCr}{dt} = f P_m \text{ y para el Eucalyptus Paniculata:}$$

$$\text{(medio) anual } Cr = f P_m \cdot dt = f 906 = 0,702; \quad f = 7,75 \times 10^{-3}; \quad 1/f = 1.291$$

Luego para la región del Limón, situada en Maracay; tentativamente se puede medir la precipitación pluvial media ocurrida en un lapso de 45 años, por el crecimiento medio anual de esta especie que concretamente se identifica en el - crecimiento del árbol durante el año que corresponde al 17º de su plantación; - de acuerdo a la fórmula que se propone y es la siguiente:

$$P_m = 1.291 \cdot Cr \quad ; \text{ donde Cr representa el crecimiento medio anual.}$$

Siguiendo este curso de razonamientos, que está más allá del límite del - presente trabajo, se entrevé la posibilidad de relacionar precipitaciones medias

para frecuencias de tiempo menores y los correlativos crecimientos anuales - medios del E. Paniculata, con la frecuencia de 45 años u otra cualquiera. En otras palabras, en base del conocimiento del crecimiento anual medio de esta especie en otras regiones del País, y en períodos de tiempo relativamente - cortos, poder estimar la precipitación pluvial que probablemente ocurrirá en la zona, para un período mayor de años. Estas investigaciones se podrían generalizar a otras especies de árboles, o bien emplearlas en estudiar el comportamiento de los diversos ecotipos según las variadas precipitaciones locales.

Con la exposición desarrollada anteriormente, se desea delinear un procedimiento de estimación de precipitaciones en hoyas similares a la investigada, y en las cuales no existan estaciones meteorológicas.

Naturalmente que en último término se debe considerar los factores edáficos locales.

DESCRIPCION COMPLEMENTARIA DE LA PLANTACION DE EUCALYPTUS, EN LOS VALLES DE ARAGUA LOCALIDAD EL LIMÓN, MARACAY, ESTADO ARAGUA

1. Situación geográfica del sitio de plantación.-

La localidad del Limón está situada en los denominados Valles de Aragua, cercana a la población de Maracay, al Norte de esta ciudad, y en el piedemonte del ramal montañoso de la Cordillera de La Costa que enmarca, por el Norte, a este valle bajo y caliente, y en un pequeño valle afluente del anterior, en jurisdicción del Municipio Crespo, Distrito Girardot, del Estado Aragua.

2. Clima.-

Tropical, seco, con una marcada estación de sequía y otra lluviosa. Poca variación de las temperaturas promedios mensuales y oscilación acentuada de las temperaturas diarias.

3. Datos climatológicos.-

Se darán a continuación los datos climatológicos y de localización de la

región de Maracay, situada muy próxima al sitio de plantación.

Situación	Altitud	Temperaturas (años:1938-1946)			Precipitación anual pro- medio años:1.901-1.946.
		max.abs.	min.abs.	Prom.	
10° 6' N. 67° 38' 0.	455 m.	37,5 C°	8,6 C°	24,7 C°	909 mm. con 4-6 meses de estación seca, de diciem bre a mayo días con llu- via 110.

En Maracay se han registrado temperaturas máximas absolutas de 37,5 C. y míni-
mas absolutas de 8,6 C°. En este tipo de clima tropical esta cifra de temperatu-
ra mínima y máxima se refiere a una oscilación diaria de la temperatura, en este
caso, la mínima de 8,6 C° fué registrada en el mes de Enero de 1.944 y para ese
mismo mes, se registraron una máxima, de 33,5 C°.

4. Suelos y Topografía:

El terreno es ligeramente inclinado, no inundable y está situado en el fondo
de un pequeño valle que desemboca en los Valles de Aragua. Estos terrenos, para
el momento de la plantación, estaban poblados con chaparrales (*curatella america*
na: Bowdichia virgilioides: Bgrsonima crassifolia) y un piso de gramíneas natura-
les constituídas por las siguientes especies: *trachipogon sp.* y *andropogon -*
fastigiatus. Anualmente estos terrenos eran azotados por incendios forestales.
Las gramíneas naturales actualmente han dado paso a una invasión del pasto *capim*
melao (melinis minutiflora) que constituye ahora, en la mayoría de las pequeñas
parcelas, el piso inferior de gramíneas anteriormente ocupado por las especies -
arriba señaladas.

Aproximadamente a unos 200 metros del sitio de la plantación, corre encajona-
do el pequeño río denominado Río Limón y que constituye el drenaje natural del -
pequeño valle donde está ubicada la plantación de Eucalyptus.

5. Fechas de siembra y otros datos.

Las especies de Eucaliptus plantadas y las fechas de siembra están en el siguiente cuadro.

C U A D R O D-1

Especies	Fecha de plantación	Número de plantas sembradas.	Procedencia semillas.
E. Scabra	Mayo 1.948	62	Brasil Río Claro
E. maculata	" "	63	
E. umbra	" "	15	
E. grandys	" "	186	
E. paniculata	" "	293	
E. robusta	" "	186	
E. resinífera	" "	28	
E. botryoides	" "	28	
E. alba	" "	39	
E. longifolia	" "	6	
E. saligna	" "	29	
E. tereticornis	" "	60	
E. punctata	" "	27	
E. rostrata	" "	22	

Todas las plantas fueron sembradas con "bola de tierra".

Estas plantas, por especies, fueron sembradas en líneas con un espaciamiento de 3 metros. En esta forma se hicieron para cada una de las especies pequeñas parcelas rectangulares, no uniforme en tamaño por consiguiente, pueden considerarse estos lotes como parcelas individuales. No hubo, en definitiva, un diseño experimental específico.

Los únicos cuidados que se le prodigaron a la plantación fueron limpiados dos veces al año del piso bajo de gramíneas. No se regó la plantación ni se hicieron podas o entresaques.

DATOS DE PLANTACION DE EUCALIPTOS (Valles de Aragua)

Especies	Nº mediciones - hechas	Diámetros en cms. a 1,30 mts.			crec. prom. anual	Alturas totales metros			crec. prom. anual (mts)	Arboles sembrados	% Supervi- vencia.
		Max.	Min.	Prom.		Max.	Min.	Prom.			
E. scabra	36	40	10	26,50	2,21	29	9	17,19	1,43	62	58,06
" Tereticomis	31	38	10	18,29	1,58	27	7	16,38	1,36	60	51,66
" paniculata	120	42	10	22,45	1,87	32	7	18,30	1,52	293	40,95
" alba	15	40	20	28,73	2,39	28	11	21,60	1,80	39	38,46
" longifolia	2	30	28	29,00	2,61	15	14	14,50	1,20	6	33,33
" rostrata	7	38	10	26,28	2,19	18	10	14,57	1,21	22	31,81
" umbra	4	22	18	19,00	1,58	17	17	17,00	1,41	15	26,66
" punctata	7	30	20	24,28	2,02	18	14	15,71	1,30	27	25,92
" saligna	5	30	20	24,40	2,03	26	14	20,40	1,70	29	17,24
" grandys	29	40	15	25,58	2,13	27	8	18,72	1,56	186	15,59
" Maculata	8	25	12	18,37	1,53	19	11	15,62	1,30	63	12,69
" robusta	23	28	10	17,91	1,48	26	10	15,73	1,31	186	12,36
" resinífera	2	20	20	20,00	1,66	19	16	17,50	1,45	28	7,14
" botryoides	2	30	28	29,00	2,61	17	16	16,50	1,37	28	7,14

NOTA: Esta Tabla está proporcionada por el Ministerio de Agricultura y Cría.-

Relación de la altura, de determinadas especies de eucaliptos, con su diámetro a la altura de pecho.
Gráficos obtenidos del Ministerio de Agricultura y Cria

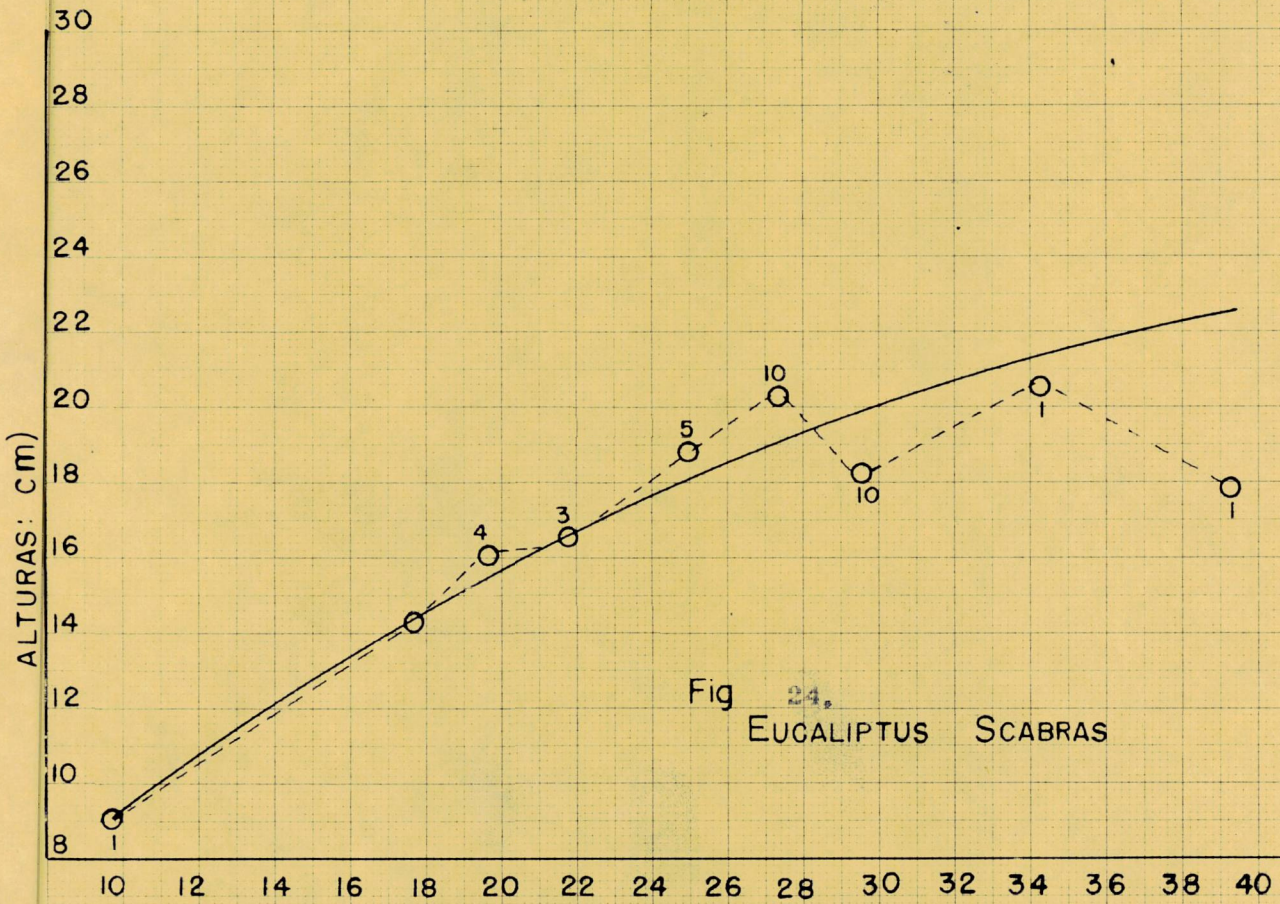


Fig 24.
EUCALIPTUS SCABRAS

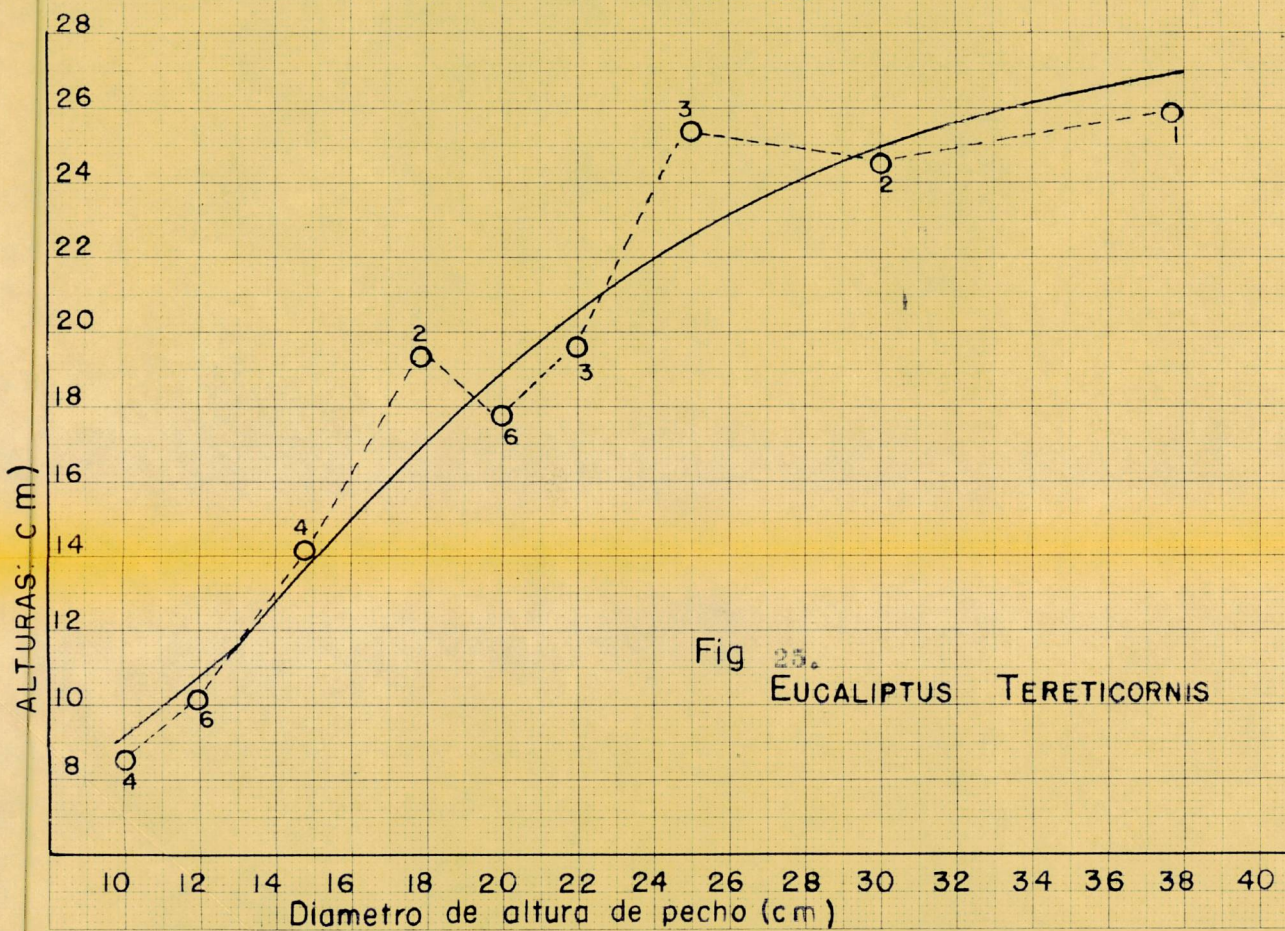


Fig 25.
EUCALIPTUS TERETICORNIS

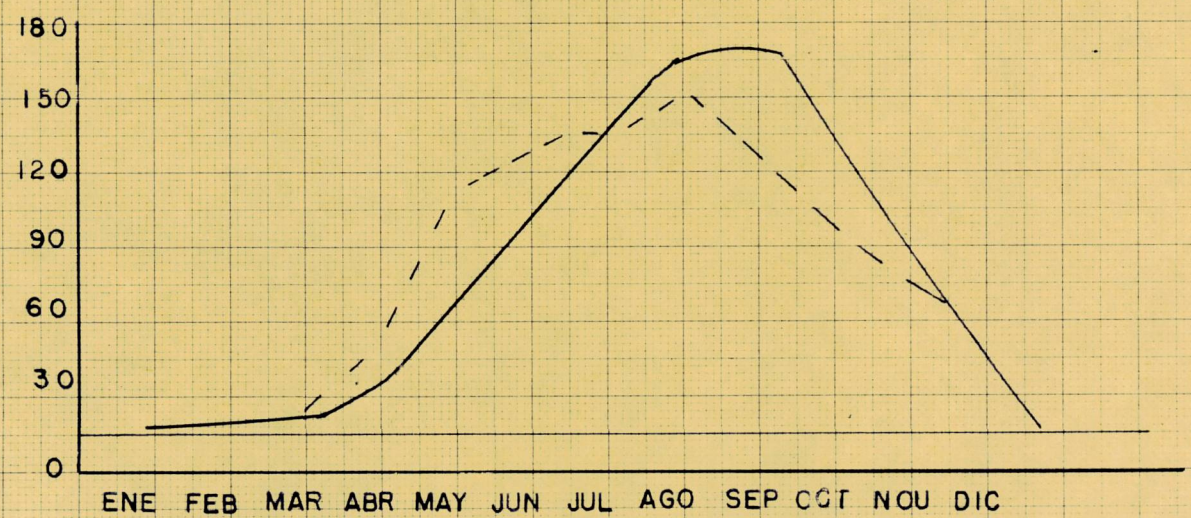
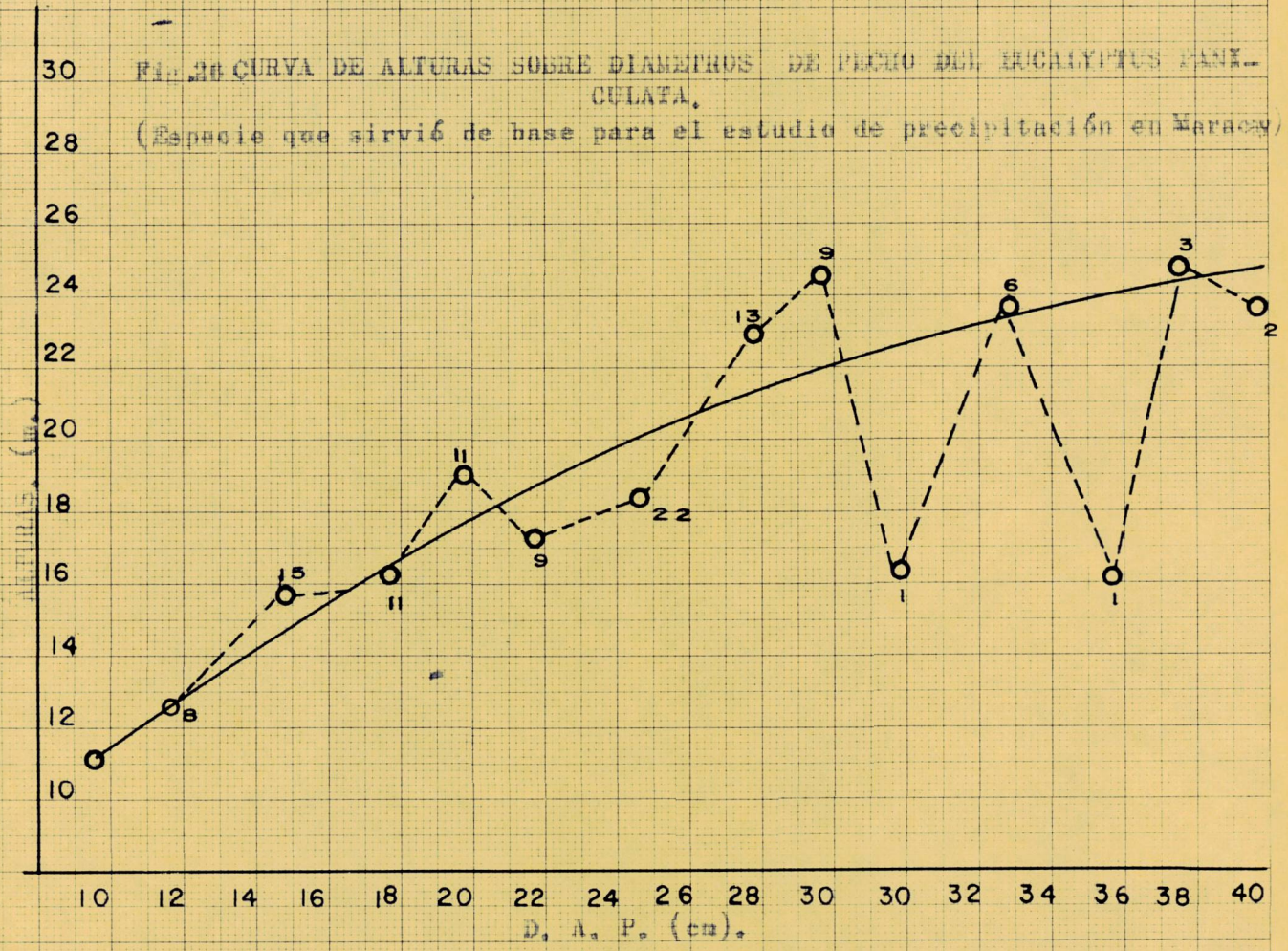


Fig. 27. Asimilación de la precipitación anual de Maracay a la curva de distribución de Pearson (período de 47 años).
 - - - - - curva de precipitación.
 ————— curva de Pearson.

C A P I T U L O I I

E - ESTUDIO SOBRE LA HOYA HIDROGRAFICA DEL INSTITUTO
VENEZOLANO DE INVESTIGACIONES CIENTIFICAS

En este estudio se presentan dos aspectos que deben determinarse:

- 1º) La cantidad probable de agua que en el año de mayor estiaje la hoya hidrográfica correspondiente al IVIC, podrá suministrar.
- 2º) Las alteraciones que en el actual escurrimiento se pueden producir, debidas al movimiento de tierras, desforestación y urbanización de los terrenos que forman la parte contribuyente de la hoya hidrográfica a la formación del caudal utilizado por el mencionado Organismo.

1º) CANTIDAD PROBABLE DE AGUA:

Considérese un período cualquiera de tiempo y désignese con las siguientes notaciones los factores que intervienen en el escurrimiento de la hoya hidrográfica.

H = Altura de precipitación durante el período indicado sobre la hoya.

H_t = caudal que designaremos topográfico y que escurre inmediatamente sobre la superficie del terreno.

H_v = cantidad de agua total que se evapora, ya sea directamente desde la superficie de agua, del terreno, del foliaje de las plantas o bien mediante la transpiración de éstas.

H_g = cantidad de agua que se infiltra en el terreno.

H' = caudal superficial que escurre durante el mismo período por el punto más bajo de la hoya.

H_s = contribución de la napa subterránea a la formación del caudal H' .

R = volumen del agua subterránea.

ΔR = variación del agua subterránea en el tiempo que se considera.

Evidentemente se debe tener que el agua proveniente de la precipitación es igual a la suma de las correspondientes a escurrimiento superficial, pérdida total por evaporación y pérdida por infiltración.

$$H = H_t + H_v + H_g \quad 1)$$

Ahora bien, en el punto más bajo el caudal está compuesto del que proviene del escurrimiento superficial y de la retribución de la napa subterránea por resurgencia.

$$H' = H_t + H_s \quad 2)$$

Se debe notar que el valor de H_s puede ser positivo o negativo, será positivo cuando la napa subterránea contribuya con agua a la corriente superficial, y negativo en caso contrario. La variación del volumen de agua subterránea será igual a la diferencia entre la cantidad proveniente de la infiltración y la cantidad suministrada en el punto más bajo.

$$\Delta R = H_g - H_s \quad 3)$$

$$\text{o sea } H_s = H_g - \Delta R \quad 4)$$

De la primera ecuación se obtiene el valor de H_t , que resulta:

$$H_t = H - H_v - H_g \quad 5)$$

Substituyendo los valores de H_t y H_s , expresados respectivamente en las ecuaciones 4) y 5) en la ecuación 2).

$$H' = H - H_v - \Delta R \quad 6)$$

La determinación del valor de ΔR es bastante complicada. Se puede prescindir de este procedimiento cuando por elección del período de tiempo se anula la variación de la napa subterránea, a su finalización, es el mismo que en la fecha inicial, se tendría $\Delta R = 0$. Este período, cuando se

toma igual a un año, constituye el año hidrológico, cuya fecha inicial no coincide por lo general con el astronómico. Se prefiere adoptar los límites del período, aquellos instantes que corresponden a la posición más baja de la napa subterránea, siempre que no se sucedan dos años consecutivos secos.

En tales supuestos se tendrá

$$H' = H - H_v \quad 7)$$

Para la aplicación de esta fórmula se debería aplicar el tiempo correspondiente al año climático que comprende desde el 1º de abril al 31 de marzo del siguiente año.

Empero, la correlación entre las precipitaciones correspondientes a años civiles puede adoptarse para años climáticos, máxime si sólo se ha registrado un año climático en la estación de Pipe.

Las siguientes observaciones, consideraciones y procedimientos a emplear, se desprenden mediante el examen de la tabla N° 1 y del plano de situación de las diferentes estaciones:

a) Existe únicamente un valor de precipitación anual registrado, - para la estación pluviométrica designada "Altos de Pipe". En cambio, las estaciones adyacentes "El Carite" y "La Mariposa" tienen datos recolectados durante los mismos siete años.

b) La estación "Altos de Pipe" está ubicada en posición intermedia y en casi línea recta con las dos anteriormente nombradas. Las relaciones de correlación que se establezcan entre estas dos últimas se usarán para relacionar "Altos de Pipe" a "El Carite", por tener ambas semejanza de orgánica y haberse constatado que tienen la misma tendencia de variación pluvial.

c) Determinado el coeficiente de correlación en base al procedimiento estadístico acostumbrado, se establecerá la ecuación de regresión entre "Altos de Pipe" y "El Carite", para calcular la precipitación anual media del primero.

d) Por la tabla de A. BINNIE, aplicada a climas continentales, a partir de la precipitación anual media de "Altos de Pipe" se calculará la precipitación del año más seco.

e) Finalmente, aplicando la tabla de BINNIE para el rendimiento hidráulico H' , después de deducidas las pérdidas por evaporación y transpiración de la vegetación, se tendrá el valor mínimum minimorum de escurrimiento de la hoya hidrográfica en época de estiaje.

Designense:

\bar{X}_c = Precipitación media anual de "El Carite".

\bar{X}_m = " " " " " "La Mariposa".

\bar{X}_a = " " " " " "Altos de Pipe".

X_c = diferencia de la serie de precipitaciones de la 1a. Estación con respecto a su valor medio.

X_m = diferencia de la serie de precipitaciones de la 2a. Estación con respecto a su valor medio.

X_a = diferencia de la serie de precipitaciones de la 3a. Estación con respecto a su valor medio.

n = número de años observados.

Se calculan los valores:

$$\sigma_c = \sqrt{\frac{\sum X_c^2}{n}} \quad \text{y} \quad \sigma_m = \sqrt{\frac{\sum X_m^2}{n}}$$

Para facilidad de cálculo se hace la siguiente tabla, donde los valores medios corresponden a los siguientes valores:

\bar{X}_c	\bar{X}_c^2	X_m	X_m^2	$X_c \cdot X_m$
8	64	55	3025	440
128	16384	208	43264	26660
51	2601	- 37	1369	1826
-130	16900	- 22	484	2860
173	29929	28	784	4845
- 76	5776	- 100	10000	7600
- 66	4356	- 134	17956	8850
	<u>76010</u>		<u>76882</u>	<u>49359</u>

$$\frac{\sum X_c^2}{n} = \frac{76010}{7} = 10857 \quad \frac{\sum X_m^2}{n} = \frac{76882}{7} = 10983$$

$$c = \frac{\sum X_c^2}{n} = 10857 = 104.2 \quad m = \frac{\sum X_m^2}{n} = 10983 = 104.6$$

$$\text{Factor de correlación } r = \frac{49359}{7 \times 104.2 \times 104.6} = \frac{49359}{76300}$$

≈ 0.647 (satisfactorio en vista de los pocos años registrados).

La ecuación de regresión partiendo de los valores X_c , sería:

$$X_m = b' X_c + a \quad (9)$$

donde $b' = r \frac{m}{c}$ y a es un valor a ser determinado.

$$b' = 0.647 \times \frac{104.6}{104.2} = 0.65$$

En la ecuación 9) para $X_c = -76$; $X_m = -100$, luego se tendrá la igualdad:

$$- 100 = -0.65 \times 76 + a$$

por consiguiente:

$$a = - 51$$

El factor de correlación r viene expresado por la fórmula

$$r = \frac{\sum X_c X_m}{n \sigma_c \sigma_m}$$

T A B L A 1 - II

DATOS DE PRECIPITACION EN VARIAS ESTACIONES

<u>Estaciones</u>	<u>Años</u>									<u>Total</u>	<u>Promedio</u>
	48	49	50	51	52	53	54	55	56		
Alto Ño León		1441	793	960	1206	1279	1302	945	1218	9144	1143
Altos de Pipe (IVIC)									1222	1222	1222
Alto de Izcaragua		818	693	797	954	1006	1027	1073	1149	7517	940
Caricuao						785	815	924	800	3324	831
Depósito Catia						484	1038	791	715	3028	757
Ciudad Universitaria			1164	1064	886	840	1136	1076	618	6754	968
Pico el Arado								1162	1124	2286	1148
El Carite			<u>991</u>	<u>1111</u>	<u>1034</u>	<u>853</u>	<u>1156</u>	<u>807</u>	<u>917</u>	<u>6869</u>	985
Los Teques		1038		1352	1187	1266	1357	1030	1192	8422	1203
Llano de Cura			706	738	716	653	733	938	1048	5532	792
Macarao (Palo Negro)		523	986	1019	805	504	685	1017	925	6464	810
Pozo de Rosas		972	830	1019	972	1112	1288	1023	1273	8489	1060
Ofc. INOS (Caracas)	866	815	1179	952	905	872	1254	1113	775	8731	973
Sabaneta		659	1352	1207	881	896	954	952	1024	6971	998
Sitio Oropeza		1145	1442	1385	923	1077	1099	1067	1175	9313	1163
Topo Los Espejos		1007	1250	1254	964	1076	1009	913	1003	8476	1054
La Mariposa			<u>1054</u>	<u>1207</u>	<u>962</u>	<u>977</u>	<u>1027</u>	<u>899</u>	<u>865</u>	<u>6991</u>	999
San Diego				838	1449	1519	1627	1402	1242	7239	1440

NOTA: Datos Parciales en Altos de Pipe
 Año 1957 : 1101 mm
 Enero a Agosto de 1958 : 495 mm
 Junio a Diciembre 1959 : 642 mm

Aplicando la 9) para obtener la precipitación media anual en "Altos de Pipe".

$$\lambda_a = -0.65 \times 66 - 57 = -94$$

$$\text{Pero } \lambda_a = 1222 - \bar{\lambda}_a$$

$$1222 - \bar{\lambda}_a = -94$$

$$\bar{\lambda}_a = \underline{1316 \text{ mm}} \text{ como precipitación media anual en "Altos de Pipe".}$$

La tabla de BINNIE da como desviación máxima negativa para el año más seco perteneciente a un clima continental el 66%.

En nuestro caso la precipitación mínima sería

$$H_{\text{Min}} = 1316 (1 - 0.66) = 580 \text{ mm}$$

Ahora bien, las pérdidas por evaporación y transpiración alcanzarían a las siguientes cantidades:

1º) Pérdida por evaporación del suelo. Según los datos climatéricos a una precipitación de 1200 mm, corresponde una evaporación de 1079 mm en el evaporímetro. Según las experiencias de King, la evaporación del terreno se puede evaluar en la mitad o sea 539 mm que representa el 45%

$$\text{Para una precipitación de 580 mm} \qquad \qquad \qquad 261 \text{ mm}$$

2º) Pérdida por intercepción del agua caída por el follaje de los arbustos que luego se evapora, como también la transpiración de las plantas.

$$200 \text{ mm}$$

$$\text{TOTAL; } H_v = \underline{461 \text{ mm}}$$

En el año más seco, se obtendrá de la fórmula 7)

$$H' = H_{\text{Min}} - H_v = 580 - 461 = 119 \text{ mm.}$$

Siendo la parte de la hoya hidrográfica que contribuye a la quebrada del Oro de 369 Has = $369 \times 10^4 \text{ m}^2$.

El rendimiento acuífero será:

$$Q = \frac{0.119 \times 369 \times 10^4}{365 \times 86400} = 0.0139 \text{ M}^3/\text{seg.}$$
$$= \underline{13.9 \text{ lts/seg}}$$

Como comprobación se puede establecer la relación lineal entre las precipitaciones y los gastos. El año 1957 se obtuvo una precipitación en los "Altos de Pipe" de 1101 mm y para esa precipitación se aforó un gasto en la toma de 30 lts/seg. Considerando una precipitación mínima de 580 mm se obtendrá

$$Q = 15.8 \text{ lts/seg. O.K.}$$

2º) ALTERACIONES EN EL ESCURRIMIENTO POR MODIFICACIONES DE LA HOYA HIDROGRAFICA:

Analizando y sopesando los factores más importantes que intervienen en el fenómeno hidrológico se llegará a conclusiones racionales sobre los efectos que en el régimen hidráulico, pudiera causar el presunto desarrollo de urbanizaciones en la zona que actualmente proporciona el abastecimiento de agua al IVIC.

En todo el desarrollo que sigue, se relacionarán las condiciones específicas de la supuesta topografía modificada a la topografía natural actual.

1) EVAPORACION DE LAS CORRIENTES SUPERFICIALES Y DE LOS TERRENOS HUMEDECIDOS:

Se presentan dos procesos que se suceden consecutivamente y cuya descripción se limitará a la consideración de los factores que ameriten:

a) La evaporación de las superficies de agua que es proporcional a la superficie líquida expuesta al aire libre y al tiempo de permanencia del agua en los cauces. Las superficies líquidas pueden relacionarse con sus anchos de recolección de aguas, cuando se considera la unidad de longitud.

La apreciación del tiempo de permanencia del agua en los cauces respectivos puede obtenerse por sus tiempos de concentración, dependientes éstos de -

las pendientes y de la clase de superficie del terreno.

b) La evaporación de los terrenos que aparte de todos los factores que intervienen en el proceso anteriormente, cuenta con otros factores circunstanciales que modifican aquellas influencias. Entre éstos están la vegetación y el muy importante de la posibilidad u oportunidad (según Horton) de la evaporación.

La vegetación que cubre los terrenos disminuye la evaporación de éstos por dos motivos. En primer lugar, proyectando sombra sobre el terreno hace disminuir la temperatura del suelo, y en segundo lugar intercepta la libre acción de los vientos, con lo cual mantiene una alta humedad relativa en la vecindad del suelo evaporante. Se usará la tabla de Transeau para apreciar la intensidad relativa de evaporación de los terrenos humedecidos.

La oportunidad de evaporación que se produce de acuerdo a las siguientes circunstancias:

1. Precipitaciones. En nuestro caso se presentan lluvias de intensidad moderada y con cierta duración, se estima que la acción de éstas sobre el terreno limo arcilloso con estratos de roca esquistosa en casi completa descomposición, y que comienzan a una profundidad media de 1.70 mts., produce un 11% y 20% de la altura anual de precipitación en las cantidades de infiltración y evaporación, respectivamente.

2. Vegetación. El agua pluvial es interceptada parcialmente por el follaje de las plantas, por las características de las lluvias indicadas en el párrafo inmediatamente anterior y por la vegetación, compuesta en su mayoría de arbus-tos y helechos, no tiene una densidad apreciable. El valor de 0.15 H debido a Horton, será aplicado en el cómputo posterior.

3. Infiltración. Se ha hablado de ella en el párrafo 1. Al comparar las superficies natural y modificada se considerará las pendientes respectivas, - clase de material y pendiente. Los resultados obtenidos mediante 3 pozos de pruebas de absorción, serán interpretados.

4. Capilaridad. El terreno natural presenta por sus condiciones de terreno limo arcilloso y sus perfiles del suelo, apreciable capilaridad.

5. Posición de la napa subterránea. En la zona adyacente a la toma de agua se ha constatado que la napa subterránea está bastante superficial. Efectivamente, además de las resurgencias naturales, cerca de la confluencia de las Quebradas "Indio Libre" y "Hoyo Oscuro" existe un aljibe, cuyo nivel de agua está a 5.50 mts. debajo de la superficie del terreno, por otra parte, en la Quebrada del Oro y a una distancia corta de la toma de agua se está haciendo otro pozo superficial.

6. Cultivo del terreno. Por inspección efectuada en fecha 19 de febrero de 1960, se ha observado que existen pequeñas extensiones cultivadas que realmente no afectan el escurrimiento.

2) EVAPORACION A TRAVES DE LAS PLANTAS:

Este fenómeno denominado transpiración, está condicionado a las siguientes influencias:

a) Influencia de la temperatura. Se estima que la temperatura media de 17° C, produce una moderada transpiración.

b) Influencia de la humedad del aire. Se puede hacer la misma aseveración que la anterior, respecto a esta influencia, ya que la temperatura relativa media es 80%.

c) Influencia de la humedad del terreno. Por diferencia entre la capacidad capilar del terreno y su punto de agotamiento, será determinada esta influencia.

d) Influencia de la clase de vegetación. Esta cifra de evaporación es bastante incierta, no obstante se aplicará discretamente un valor obtenido en tablas.

3) RESERVA DE AGUA CONSTITUIDA POR EL TERRENO HUMEDO MANTENIDO POR LA VEGETACION:

La vegetación constituye una reserva de agua de apreciable consideración, La capa de terreno adyacente a la vegetación actúa como un poderoso regulador y contribuyente de la napa subterránea. Manteniéndose aquella constantemente húmeda e interviniendo la atracción molecular, infiltración, capilaridad, variaciones de presión atmosférica y cambios climatéricos, es innegable la influencia beneficiosa que la mencionada capa vegetal (belt of soil water) ejerce sobre la napa subterránea.

En ningún momento debe perderse de vista que el estudio de las variaciones debidas a diferentes condiciones de escurrimiento y pérdidas de evaporación, sólo interesa en cuanto puede apreciar las variaciones de aporte que aquellos efectúan a la napa subterránea, la cual a su vez, presenta resurgencias de agua en las quebradas.

Teniéndose en cuenta que el escurrimiento superficial (Ht) inmediatamente proveniente de las precipitaciones prácticamente no debe ser aprovechado, la supuesta mejoría de coeficientes de escorrentía por la desforestación proveniente del desarrollo de urbanizaciones no acarrearía sino depauperación de la riqueza acuífera.

A continuación se tiene la tabla que permite apreciar el fenómeno en conjunto:

(Ver Tabla Nº 2 - II, anexa)

EXPLICACION DE LA TABLA N° 2 - II:

Las columnas (a) y (b) representan los valores obtenidos por apreciación de magnitudes, de tablas, coeficientes y medidas en el terreno.

La columna (c) se obtiene como diferencia porcentual entre las columnas (a) y (b).

La (d) es el porcentaje representativo del item respecto a la altura de precipitación media anual.

La (e) se obtiene por multiplicación de las dos columnas precedentes. Estos porcentajes aplicados a la altura media anual, determinan la variación en la evaporación, transpiración y filtración y por consiguiente se puede estimar las pérdidas de la riqueza acuífera de la hoya hidrográfica, debidas al desarrollo de urbanizaciones.

(1) Estos índices están basados sobre un ancho medio efectivo de 200 m de urbanización, 10% de calles y 5 mts. de ancho superficial medio en la lámina de agua en los cauces de las quebradas.

(2) Este porcentaje es bastante impreciso. Se ha estimado de acuerdo a un tiempo de concentración mínimo de 10 minutos en los 480 minutos que supone el período de insolación diurno efectivo.

(3) Estos índices representan los tiempos de concentración superficial de las corrientes que transversalmente escurren hacia los thalwegs respectivos. Se dedujeron del ábaco de Seely para las siguientes condiciones:

a) Terreno actual: Faja 107 m. (por ser la que corresponde a la faja de 100 mts. en situación horizontal, cuando se considera un talud medio de 40%, vegetación compuesta de arbustos.

b) Terreno modificado: Faja de 100 mts. inclinaciones transversales de 0.5%, suelo urbanizado.

T A B L A N° 2 - II

<u>DESIGNACION</u>	<u>DATOS O INDICES CONJUN- TOS QUE SE REPIEREN A - LAS TOPOGRAFIAS</u>		<u>DIFERENCIAS POR- CENTUALES RELA - TIVAS</u>	<u>PORCENTAJE DE AL- TURA MILIMETRIA - RESPECTO A LA AL- TURA DE PRECIPITACION</u>	<u>PORCENTAJE REAL VA- RIACION APLICABLE</u>
	<u>Actual</u>	<u>Modificada</u>			
<u>I. EVAPORACION</u>					
1. <u>Evaporación de las su- perficie de agua.</u>	(a)	(b)	(c)	(d)	(e) = (c) x (d)
a) Relación de longitudes efectivas.	1	4 (1)	300%	2% (2)	6%
b) Apreciación de tiempo de permanencia en los cauces.	22 m. 10 m.	22 m (3) 23 m (4)	+ 130%	2% (5)	2.6%
2. <u>Evaporación de los te- rrenos.</u>					
a) Precipitaciones	0.53	1 (6)	+ 89%		
b) Vegetación	80% 15%	100% (7) 10% (9)	+ 20% - 5%	41% (8)	44.7% <u>53.3%</u>
c) Infiltración	33 m.	69 m (10)	+ 89%	11% (11)	9.8%
d) Capilaridad	5%	0 (12)	- 5%	2% (13)	- 0.1%
e) Posición de la napa subterránea	(14)	_____	_____	_____	_____
f) Cultivo del terreno	(15)	_____	_____	_____	_____
				TOTAL:	63%

Los valores obtenidos fueron practicamente iguales, por ello la diferencia porcentual relativa es considerada despreciable.

(4) En las mismas bases que el anterior pero referidas al escurrimiento longitudinal en las quebradas.

(5) Rigen las mismas consideraciones que para (2).

(6) Deducidos de pruebas de absorción de pozos.

(7) Proveniente de la tabla de transeau.

(8) Porcentaje que sumado a (2) y (5) debe arrojar 45%, según cálculos de página 5.

(9) Coeficiente 0.15 de Horton.

(10) Deducidos de pruebas de absorción de pozos.

(11) En terrenos humedecidos la infiltración en primera aproximación puede estimarse la $\frac{1}{2}$ de la establecida en página 5.

(12) La adhesión capilar es bastante fuerte por las características de terreno legamo arcilloso conteniendo arena. Aunque la altura capilar suba a 2 metros aproximadamente, aquella es francamente prevalenciente.

(13) Coeficiente impreciso adoptado bajo las mismas consideraciones que para (2).

(14) No obstante que la napa subterránea es relativamente superficial, la evaporación no influye sobre aquella de acuerdo a lo manifestado en (13).

(15) La pequeña extensión cultivada, de pocas hectáreas, no influye en los cálculos.

TABLA N° 3-II

Situacion Actual

Situacion Modificada

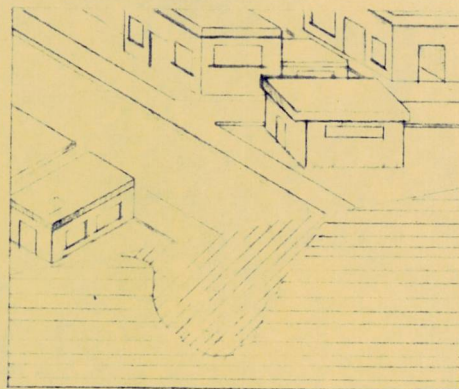
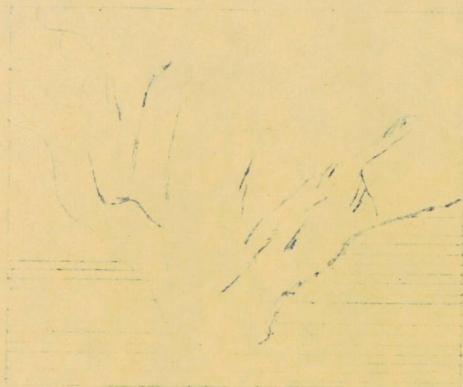


Tabla N° 3

10'

ILUSTRACION DE LAS ESTIMADAS BASES DE CALCULO

<u>Designación de la nota que aparece en la - tabla N° 2</u>	<u>Situación actual</u> (a)	<u>Situación modificada</u> (b)
	5.00	20.00
1) Relación de longitudes efectivas	5.00 Ancho medio de la lámina de - agua. 100 40 %	20.00 Ancho estimado de la recolección de aguas. 100 0.5 %
3) Apreciación del tiempo de permanencia en los cauces.	Escurrimiento transversal hacia el cauce natural.	Escurrimiento transversal hacia calles longitudinales.
4) Apreciación del tiempo de permanencia en los cauces.	Escurrimiento longitudinal según 7% de pendiente promedio	Escurrimiento longitudinal según 1% de pendiente promedio.

ILUSTRACION DE LAS ESTIMADAS BASES DE CALCULO

Designación de las notas que aparecen en la tabla Nº 2-II

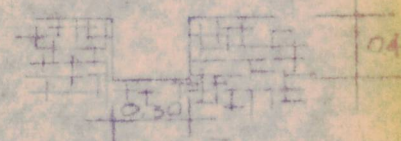
Situación actual
(a)

Situación modificada
(b)

(6) Pruebas de absorción por pozos.



33 m. C. 15 cm.



62 m. C. 15 cm.

La evaporación de los terrenos bajo las mismas condiciones de precipitación, se estima (aproximadamente) ser inversamente proporcional a las respectivas permeabilidades.

(7) Disminución de evaporación con la densidad de la vegetación (pag.6)

80% de la tabla de Transeau para terreno con vegetación herbácea, 7 - arbustos.

100% de la tabla de Transeau para terreno desnudo.

(9) Aumento de evaporación por intercepción del follaje.

15% por intercepción según Horton en esta clase de vegetación.

10% por intercepción de césped y jardines.

(10) Disminución de infiltración que ocasiona mayor escurrimiento superficial, el cual no es aprovechable como aporte de agua subterránea.

Similar (6)

Similar (6)

La resistencia de la filtración es inversamente proporcional a la permeabilidad de los terrenos, en primera aproximación.

(12) Disminución de la evaporación según el grado de capilaridad o compactación del terreno.

Terreno fino

Se atribuye 5% de porcentaje relativo de evaporación, debida a la capilaridad del terreno.

Terreno compactado

Como no existe prácticamente agua intersticial, no hay evaporación.

Se supone que el agua subterránea en condiciones medias no se encuentra muy profunda.

(14) y (15) Variaciones de la evaporación con la posición de la napa subterránea y extensión del terreno cultivado.

No influye en los cálculos. (Véase pag. 7)

No influye en los cálculos.

T A B L A N° 4 - II

APLICACION Y APRECIACION DE LA VALIDEZ DE LOS PORCENTAJES OBTENIDOS

<u>Designación</u>	<u>Porcentaje sobre la altura de precipitación en condiciones medias actuales.</u>	<u>Porcentaje Real de variación. Aplicable (Tabla 2 - II)</u>	<u>Situación modificada</u>	<u>Gasto en base a una precipitación media anual - de 1316 mm. L/S.</u>
1. Evaporación en terrenos húmedos.	20%	+ 53.2%	30.6%	47.1
2. Escurrimiento superficial y precipitación no aprovechable.	55%	+ 9.8%	60.4%	93.0
3. Infiltración aprovechable (Rendimiento de la cuenca hidrográfica).	25%		9.0%	13.8
4. Suma de porcentajes.	100%	+ 63%	100%	

NOTA 1a. La fórmula para deducir los gastos es sobre la base de 369 Has. donde p es el porcentaje de la 3a. columna y H es la altura de precipitaciones.

$$Q = \frac{p H \times 369 \times 10^4}{100 \times 365 \times 36400}$$

$$= \frac{0.117 \times 10^{-2} \times p H.}{}$$

NOTA 2a. En casos extremos de sequía se tendrá:

<u>Designación</u>	<u>Porcentaje, condi- ciones actuales.</u> (a)	<u>Porcentaje, condi- ciones modificadas</u> (b)	<u>Gastos emer- gentes de - (a) L/S.</u>	<u>Gastos emergen- tes de (b) L/S.</u>
3. Infiltración apro- vechable.	20.5%	7.4%	13.9	5.0

Los porcentajes deben ser menores que los anteriores por producirse mayores pérdidas de evaporación.

Resumen Pérdidas probables netas del caudal afluyente a los manantiales por la Urbanización del terreno.

	<u>Porcentaje de pérdida so- bre la altura de precipi- tación correspondiente.</u>	<u>Pérdida en L/S.</u>
1. Condiciones medias de precipitación	16%	24.6
2. Condiciones de máxima sequía	13.1%	8.9

NOTA 3a. Sopesando los porcentajes y resultados obtenidos se puede decir que estos guardan cierta fundamentada consistencia por lo cual dentro de las observaciones, mediciones y estudio, que fueron efectuados en primera aproximación, se puede considerar a los valores encontrados como admisibles.

CONCLUSIONES:

1º) El gasto mínimo calculado de 13.9 lts/seg. puede considerarse calculado como satisfactorio, por la ausencia de datos pluviométricos y otros complementarios.

2º) El total de variaciones llega al 63.0% que podría aparecer - exagerado si no se tomara en cuenta que este porcentaje se aplica sobre los factores que varían y su aplicación se efectúa en forma fraccionada - (Véase Tabla N^o ^{4-II} 11). La variación total resultante en altura milimétrica fué de 16%, en años medios.

Ahora bien, si se observa los resultados de la página 5), de 580 mm. de precipitación media en el año más seco se dedujo 119 mm. como rendimiento de la cuenca hidrográfica, que determina un porcentaje de 20.5 y un gasto de 13.9 lts/seg. También para una precipitación de 1101 mm. correspondiente al año 1957 se aforó un caudal de 30 lts/seg. que corresponde a 23.2% de dicha precipitación pluvial. Se comprende que en años medios (1316 mm.) el rendimiento acuífero puede llegar a 25%, y en consecuencia, los valores de la Tabla N^o II pueden estar ajustados aproximadamente a la realidad.

3º) De la Tabla N^o II se desprende que los gastos de evapotación, de escurrimiento y aprovechable en años de precipitación media son 47.1 , 93.0 y 13.8 lts/seg., respectivamente.

Las pérdidas netas por desarrollo de urbanizaciones son:

- | | |
|--|---------------|
| a) Condiciones medias de precipitación | 24.6 lts/seg. |
| b) Condiciones de máxima sequía. | 8.9 " " |

4º) La reserva de humedad estimada en un 22% a 30% de la precipitación pluvial, debida a la vegetación existente, que es una importante fuente reguladora de la riqueza acuífera de la hoya hidrográfica, no puede permitirse que sea destruída.

TABLA Nº 5

Características del viento en la localidad de Alto de Pino, por los meses de Mayo, Junio y Julio de 1956, registradas por el INOS

Mes: Mayo

Año: 1956

<u>Días</u>	<u>Dirección del Viento</u>							<u>Velocidad (mts/seg)</u>
	<u>N</u>	<u>NE</u>	<u>E</u>	<u>SE</u>	<u>S</u>	<u>SW</u>	<u>NW</u>	
15		1	2	18				1.1
16				19	5			2.9
17		1	1	22				3.1
18				24				3.9
19		1	3	26				1.5
20				24				1.6
21				24				4.0
22				21				4.0
23		1	2	21				4.4
24				24				3.8
25				24				3.2
26		1	9	13				2.7

Mes: Junio

Año: 1956

<u>Días</u>	<u>Dirección del Viento</u>								<u>Velocidad (mts/seg)</u>
	<u>N</u>	<u>NE</u>	<u>E</u>	<u>SE</u>	<u>S</u>	<u>SW</u>	<u>W</u>	<u>NW</u>	
1	1			23					2.8
2				24					3.7
3				24					3.4
4				24					3.7
5				24					3.2
6				21					3.8
7				21					3.8
8									cero
9				22					4.5
10				24					3.7
11			1	23					3.4
12			1	20					2.9
13	2	6	7	9					2.2
14			4	20					2.8
15			1	23					3.1
16				24					3.6

Continuación de la Tabla N° 5.

Mes: Junio

Año: 1956

<u>Días</u>	<u>Dirección del Viento</u>								<u>Velocidad (mts/seg)</u>
	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW	
17		1	7	16					2.6
18				24					4.1
19				24					4.4
20				24					3.7
21		1		23					3.3
22			2	22					3.2
23				24					3.8
24				24					4.8

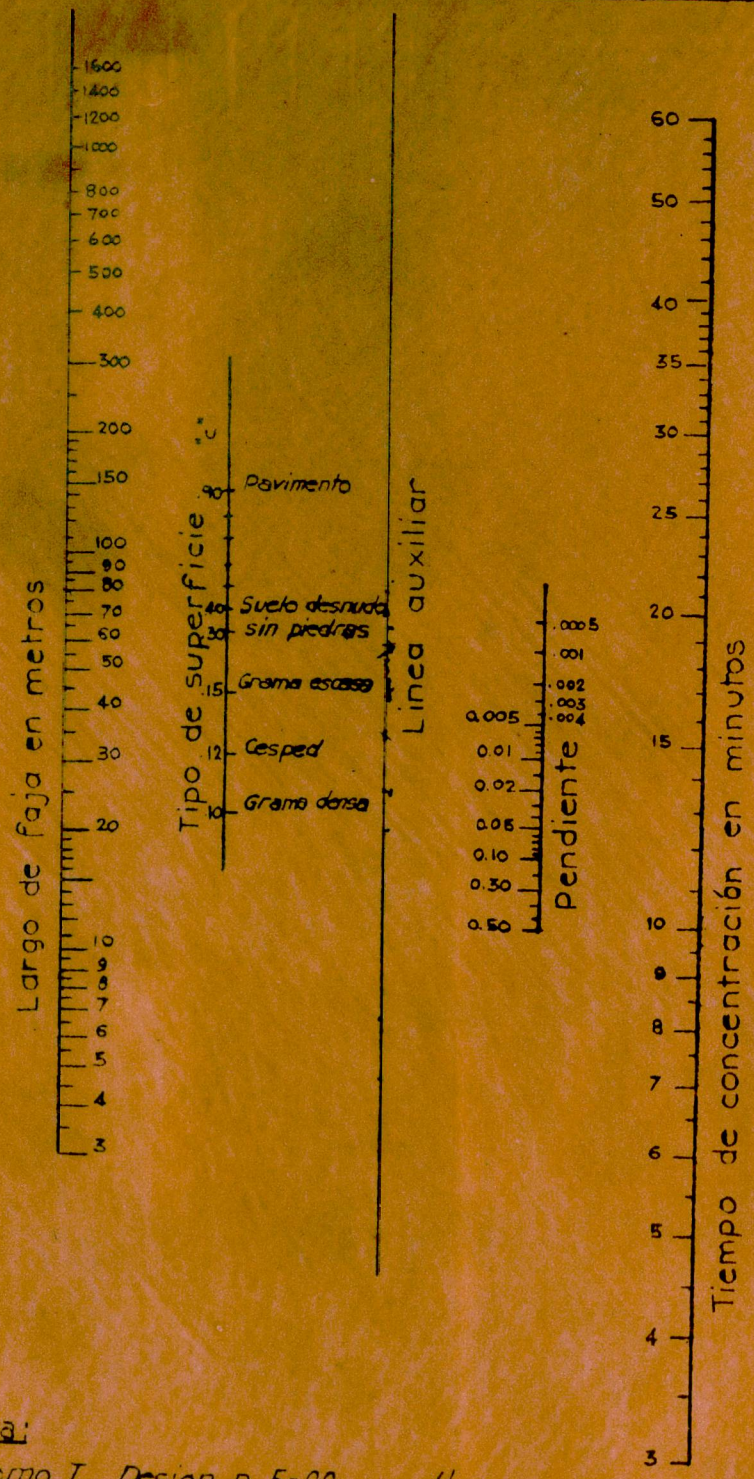
Me : Julio

Año: 1956

<u>Días</u>	<u>Dirección del viento</u>								<u>Velocidad (mts/seg)</u>
	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW	
1				24					cero
2				24					4.3

NOTA: también se han tomado en cuenta los vientos dominantes de las siguientes estaciones meteorológicas:

Observatorio Central, El Valle, Los Castillitos,
San José del Avila y La Mariposa.



Referencia:
 Seelys - Tomo I, Design, p. 5-00 (l/m)



ESTADOS UNIDOS DE VENEZUELA INSTITUTO NACIONAL DE OBRAS SANITARIAS CLOACAS DE CARACAS	
TIEMPO DE CONCENTRACION SUPERFICIAL	
ESCALA:	APROBADO POR:
PROY. POR: <i>Shun...her</i>	
DIB. POR: <i>P. Z...</i>	
REV. POR:	
N° DESCRIPCION FECHA	FECHA: OCTUBRE 1949
CAMBIO:	

seems justified from comparisons between observed and computed values of potential evapotranspiration, both on a yearly and seasonal basis.

INTRODUCTION

The determination of evapotranspiration is of professional interest to civil engineers, hydrologists, meteorologists, and agriculturists. To these and others, the problems of water and the conservation of water supplies, in view of the population explosion, and the increasing demand on water resources, is more than academic.

Since evapotranspiration represents the transport of water from the earth's surface back to the atmosphere—the reverse of precipitation—it assumes an important role in the hydrologic cycle and must be given careful consideration in assessing the water resources of a particular region. Given estimates of evapotranspiration then, through an appropriate accounting system of soil moisture, it becomes possible to indicate the water balance of an area.

Evapotranspiration is controlled by meteorological factors—radiation, wind, temperature, and humidity; soil moisture tension; soil moisture conditions; and plant physiological factors. No direct measurement is difficult and climatic data have been used in a number of relations (2, 7, 20, 24) to obtain useful estimates. These procedures rely either on the correlation between water evaporation from an open water surface and that from a vegetative area or an empirical relationship with climatic parameters and day-time hours. When soil moisture is not limiting, evapotranspiration is almost entirely dependent upon the amount of solar energy received by the surface and the resulting temperature (27). Such a condition of optimum soil moisture results in "potential" evapotranspiration.

The concept of potential evapotranspiration was introduced by C. W. Thornthwaite (26) and is understood to represent the rate at which water would be removed from an extended area covered by an actively growing green crop, completely shading the soil, and with a non-limiting supply of water. The rate of evapotranspiration is not influenced by the advection of air that has been heated over drier areas, and the ratio of energy utilized in evaporation to that heating the air remains constant. H. A. Kohler, F. A. Luce (25) has suggested that the evaporation from a large water surface may be equivalent to potential evapotranspiration. In this respect, the several methods applicable to computing evaporation from an open water surface seem applicable to the estimation of potential evapotranspiration, provided the necessary data may be obtained. On the other hand, soil and plant factors may significantly alter the water lost by transpiration so that simpler methods based on temperature and day-time hours may be effective. The purpose of this paper is to formulate such a functional relationship.

ANALYTICAL METHODS

The turbulent-transfer approach to the determination of potential evaporation has been received considerable attention. This method gives evaporation as

equal to the flow of water vapor through the surface layer of air and determined by the product of the vertical gradient of vapor pressure and the rate of mixing of the air. The rate of mixing, expressed as a coefficient of diffusion or Austausch coefficient, depends upon the rate of change with height of wind speed. Such equations as derived (22), (19), (25) could be used for the determination of evaporation over any kind of surface where the difference in surface properties is expressed through a roughness constant (22). The practical application of this approach is severely restricted due to the accuracy requirements in measurement of wind and humidity at two levels to determine the rate of change in wind and humidity with height (26).

In the extensive Lake Hefner study (29) of lake evaporation, a simple empirical formula

$$E = k(e_w - e_a) f(u) \dots \dots \dots (1)$$

relating evaporation, E , to the difference in vapor pressure saturated at the surface temperature, e_w , and the atmospheric vapor pressure, e_a (as Dalton formulated in 1802); adjusted by a wind factor, $f(u)$, and a proportionately constant, k , gave results comparable to those obtained by the complex mass-transfer formulas. Surface temperature is required for this simplified approach so that it is of little use since pan evaporation is usually measured whenever the water temperature is observed. The Lake Hefner study also confirmed that the energy-budget approach; when appropriate data are available, may be used successfully in estimating lake evaporation.

The problem in the energy balance approach to estimating evaporation is to measure or assess all other sources and sinks of energy and to leave evaporation as the only unknown. The complete energy balance of a crop volume has been expressed by C. B. Tanner (23) but it may ordinarily be considered as consisting of net radiation, R_n ; heat flux to the soil by conduction, S ; heat flux to the air by convection, A ; and the heat of vaporization of water, E ; expressed as

$$R_n = S + A + E \dots \dots \dots (2)$$

Usually the soil heat flux is neglected but may be measured directly such as the net radiation while the sensible and latent heat terms can be separated using the Bowen ratio method (23).

There has been considerable discussion of the validity of equating the constants of the heat and vapor transport equations in the Bowen ratio and apparently such an assumption is only valid for conditions over a water surface. In using the energy budget under conditions of restricted soil moisture, as forced in estimating evapotranspiration, Ray K. Linsley, F. ASCE (15) states that the Bowen ratio is no longer useful as a means of eliminating the sensible heat exchange from consideration.

In determining the evapotranspiration from an irrigated plot, Maurice H. Halstead (8) has illustrated that a combination of both the turbulent-transfer and energy approach is required. To evaluate the oasis-effect, Halstead re-arranged turbulent-transfer equations so that they employed temperature and humidity differences between the surface and one height, and introduced another aerodynamic equation to indicate the height to which the influence of the oasis extends (8). Assuming conditions of net radiation, vertical wind gradient, roughness, temperature, and humidity such that the evaporation

from a 6-ft tank, when surrounded by a completely dry area, was 0.45 cm per hr; then, by increasing the size of the "oasis" to a 1-mile field, the computed evaporation rate was reduced to less than 1/3 that of the 6-ft tank. This extreme example demonstrates that actual evaporation can exceed that resulting from net radiation by a considerable amount, depending upon the size of the field and the difference between moisture conditions of the field and its surroundings. Even for a field of cotton extending 10 miles upwind, observations confirm that energy was gained from some drier area upwind (14).

H. L. Penman (20) has successfully combined the energy budget and aerodynamic approaches to compute open water evaporation. For the energy balance estimate, Penman neglected net heat flux to the water and considered the Bowen ratio to remain constant, and by assuming identity in the heat transfer and vapor transfer coefficients in the aerodynamic relations, the need for knowing the surface temperature was eliminated. Conversion factors have been applied to these hypothetical open water evaporation values to estimate what is termed potential evapotranspiration, obtained by comparing tanks with turf and water, and for a 2-yr period of observation they were found to range from 0.6 during the winter to 0.8 in the summer, at Rothamsted, England. The dominant factor in determining the seasonal cycle of the conversion factor is the range in day-time hours which leads to bigger summer values and smaller winter values in more northerly latitudes but to only a small annual range at low latitudes (21). Such coefficients only convert pan evaporation to an equivalent area of well watered vegetation and, therefore, cannot represent potential evapotranspiration due to the "oasis" effect that increases with the aridity of a locality. Besides, the Bowen ratio takes on larger values in arid climates (23) and the empirical aerodynamic relation varies with climate. Even so, important generalizations about potential evapotranspiration still hold, as stated by Penman (21):

1. For complete crop covers of different plants having about the same colour, i.e., the same reflection coefficient, the potential transpiration rate is the same, irrespective of plant or soil type. (Physiological responses of the plant, particularly at high temperatures, may alter this response.)

2. This potential transpiration rate is determined by prevailing weather.

3. The transpiration of a short-green cover cannot exceed the evaporation from an open water surface exposed to the same weather.

EMPIRICAL RELATIONS

A number of empirical methods have been advanced to estimate actual and potential evapotranspiration, all employing some temperature function. Early work by Hecke (17) produced an equation wherein the seasonal estimated consumptive use (evapotranspiration) was considered proportional to the "effective" heat expressed in day degrees and taken as the difference between the monthly temperature and germinating temperature for each crop. Using yearly data in the same fashion, Robert L. Lowry and Arthur F. Johnson, F. ASCE (17) found a high correlation between consumptive use, under conditions where soil moisture was not limiting, and accumulated degree days with a base of 32°F.

H. F. Blaney, F. ASCE, and W. D. Criddle, M. ASCE (2) correlated actual measurement of consumptive use with the product of monthly mean temperature and the monthly day-time hours as a percentage of yearly day-time hours to obtain applicable coefficients for different irrigated cropping conditions in the West. The average coefficient varies from around 0.6 for field crops to 1.2 for rice over the growth period under arid and semi-arid conditions. The coefficients, however, show a marked seasonal variation and for grapefruit in the vicinity of Phoenix, Ariz., they range from 0.55 in January to 0.75 in August (2).

A widely used method for estimating potential evapotranspiration (P.E.) is that devised by Thornthwaite (24) through correlating mean monthly temperature with evapotranspiration as determined from the water balance for valleys where sufficient moisture was available to maintain active transpiration. The equation, when obtaining 30-day month values in centimeters, takes the form

$$P.E. = 1.6 L \left(\frac{10t}{J} \right)^a \quad (3)$$

in which L represents day-time hours expressed in units of 12 hr; t is the mean monthly temperature in degree centigrade; J , a heat index obtained by the summation of the twelve monthly indices (i), in which

$$i = (t/5)^{1.514} \quad (4)$$

and the value of a is obtained from a cubic function of the heat index (J), as

$$a = 0.000000675 J^3 - 0.0000771 J^2 + 0.01792 J - 0.49239 \quad (5)$$

In commenting on the formula, Thornthwaite (24) stated that its work-ability requires the use of nomograms and that the chief obstacle in developing a rational equation is the lack of understanding of the reason why potential evapotranspiration corresponding to a given temperature is not the same everywhere.

DEVELOPMENT OF METHOD

In seeking any new relationship to represent average potential evapotranspiration as a function of temperature, due consideration must be given to the geographical variation between temperature and radiation. Average daily temperatures in July over the eastern United States vary from 80-85° in the southern states to 65-70° over the northern tier states. In contrast, the average incoming solar radiation exhibits only a small variation (6) and for clear skies the incoming radiation is a constant quantity at the summer solstice for latitudes 25° to 50° over North America (10).

Since net radiation comprises the heat source of an area, aside from advection heat in certain localities, a relationship between temperature and net radiation is desired. Hamon (9), upon examination of limited net radiation observations and adjusting observed incoming radiation by computing total long-wave nocturnal radiation, found that for monthly data net radiation could be represented as a linear function of the product of day-time hours and temperature, as

$$R_n = 5(DT - 27) \quad (6)$$

in which R_n is the average daily net radiation in langley (calories per square centimeter); D is the average duration of day-time hours in units of 12 hr; and T is the average daily mean temperature in degrees fahrenheit.

The need for considering wind in average estimates of potential evapotranspiration may be reckoned from the effect of wind on open water evaporation and the response of transpiring plants. For daily wind movement of 50 to 100 miles, the percent error in evaporation with percent change in wind is in the order of 0.25% in dry regions (16). Penman states (21), in reference to his formula (developed in a humid region), that it is possible to have 100% overestimate in evaporation by the aerodynamic term leading to only 10% overestimate in open water evaporation. Perhaps more conclusive in substantiating the elimination of wind as a variable under natural conditions is the response of plants. Y. Yamaoka (31), in a laboratory study of transpiration from plants exposed to constant temperature and relative humidity, found that the transpiration rate remains constant under a particular radiation intensity for wind speeds above 1 m per sec (about 2 miles per hr).

It, then appears justifiable to consider wind as a constant factor in any climatological estimate of average potential evapotranspiration. For a condition, however, where an "oasis" situation exists any estimate of actual evapotranspiration would be highly dependent on advected heat and, therefore, the wind.

Adhering to the concept of potential evapotranspiration and accepting a constant Bowen ratio, we may assume that an average relative humidity exists at some height near the surface which would result in a proportionality between the saturated vapor density at the mean surface temperature, and the average difference between the saturated vapor density at the surface and the vapor density at the reference height. Therefore, other things being equal, and referring to the turbulent transport equations, average potential evapotranspiration may be considered as proportional to the saturated water vapor density P_s at the air temperature near the surface, represented as

$$P.E. = K P_s \dots \dots \dots (7)$$

Considering that transpiration is a daytime phenomenon due to the functioning of the leaf stomata (open only in daylight) and that turbulence occurs primarily during the daytime, an adjustment for day-time hours is required. The adjustment enters again to account for the disparity between net radiation and mean temperature, latitudinally.

From the preceding considerations, it seems feasible to formulate the final simplified expression for potential evapotranspiration as

$$P.E. = C D^2 P_s \dots \dots \dots (8)$$

in which $P.E.$ represents the average potential evapotranspiration in inches per day; D is the possible hours of sunshine in units of 12 hr; P_s is the saturated water vapor density (absolute humidity) at the daily mean temperature in grams per cubic meter, times 10^{-2} ; $C = 0.55$, chosen to give appropriate yearly values of potential evapotranspiration as indicated by observations reported in the literature (24), (17).

EVALUATION

Yearly values of potential evapotranspiration as obtained from the new relation (Eq. 8) for which $C = 0.55$, are practically identical to those obtained

EVAPOTRANSPIRATION

by the highly complicated Thornthwaite method (Fig. 1) with a consistent departure of about 5% noted only for latitudes of southern Florida. A further evaluation on yearly data has been made by comparing average computed values of potential evapotranspiration to consumptive use data for valley covering a wide variation in climate as obtained by Lowry and Johnson (17) and G. R. Williams, F. ASCE (30), as listed in Table 1 and shown in Fig. 2.

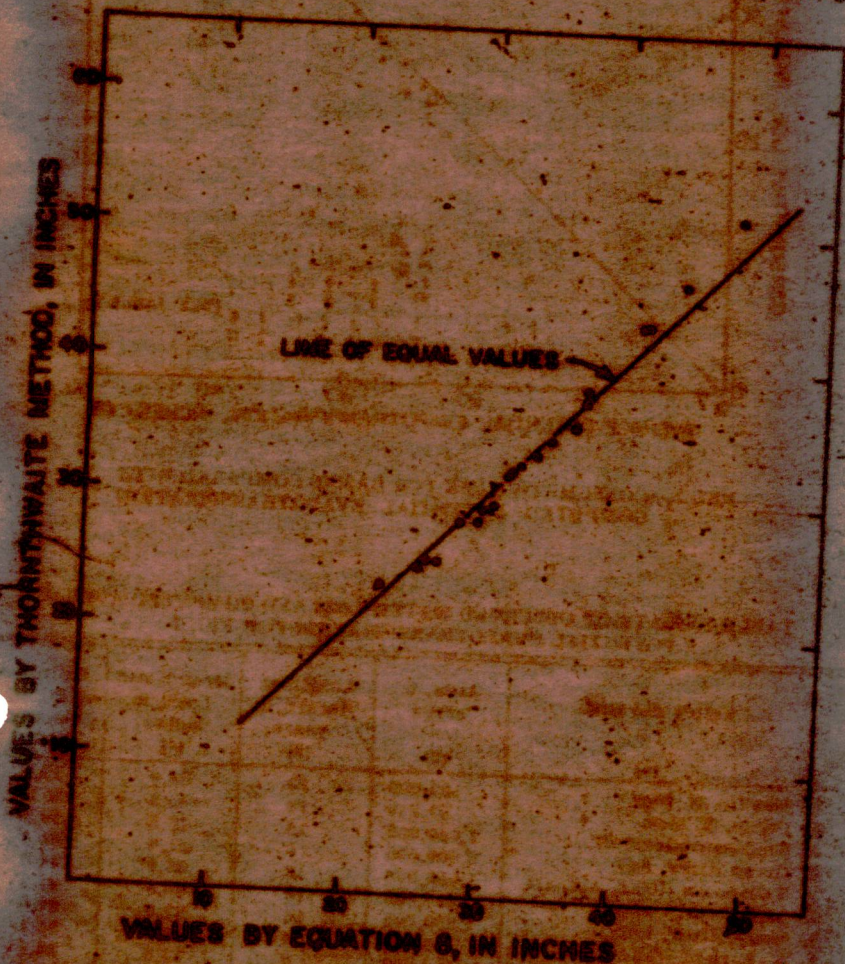


FIG. 1.—COMPARISON OF COMPUTED AVERAGE ANNUAL POTENTIAL, EVAPOTRANSPIRATION

An important test of the reliability of the new relation (Eq. 6) is whether such a simplified procedure is adequate in representing the seasonal variations. Several comparisons are made.

Average monthly values of water loss from an irrigated valley, Mesilla Vally in New Mexico, are reported in the study of Lowry and Johnson (17). The

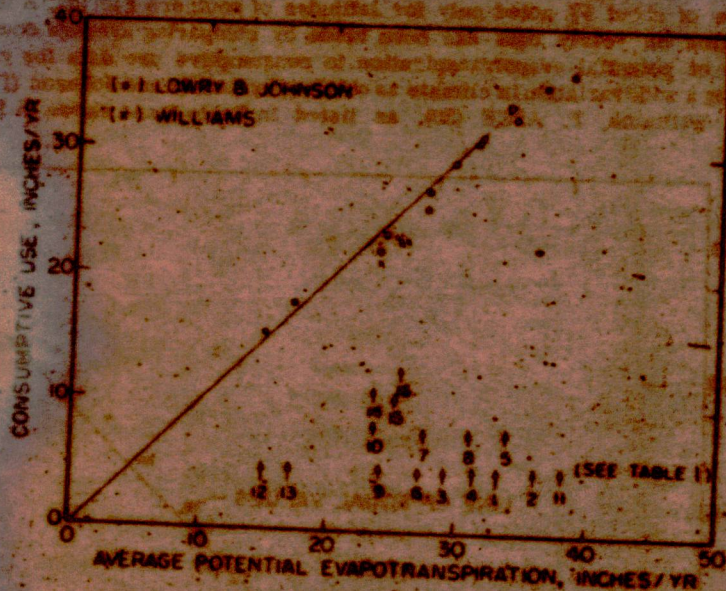


FIG. 2.—CONSUMPTIVE USE FOR BASINS COMPARED WITH COMPUTED POTENTIAL EVAPOTRANSPIRATION

TABLE 1.—DATA OF OBSERVED WATER LOSS AND COMPUTED AVERAGE POTENTIAL EVAPOTRANSPIRATION FOR FIG. 2

Valley and State (1)	Area, in acres (2)	Length of Record, in years (3)	Mean Water Loss, in inches (4)	Estimated by Eq. 8, in inches (5)
Mesilla, N. Mex.	109,000	13	34.0	33.4
Pecos, N. Mex.	37,830	18	35.3	36.3
Saugaman River, Ill.	1,640,000	16	29.2	29.3
Green River, Ky.	5,000,000	6	31.4	31.4
Tallahpoosa River, Ala.-Ga.	1,060,000	13	33.0	34.0
Bank River, Ohio	307,000	13	23.8	27.3
Bank River, Iowa	1,890,000	16	27.6	27.6
N. Fork of White River, Mo.	733,000	14	31.8	31.1
N. Platte, Wyo.-Neb.	462,000	9	23.8	24.1
Black River, Wisc.	494,000	13	22.2	23.9
Cypress Creek, Tex.	645,000	13	36.2	38.3
Wagon Wheel Gap, Colo.	222	14	15.6	15.6
Mich.-Ill. River, Colo.	43,000	3	18.0	17.2
West River, Vt.		8	21.5	23.9
Lake Cochituate, Mass.		30	23.2	25.1
Swift River, Mass.		15	23.1	25.5

comparison of these observed values of actual water loss to estimated potential evapotranspiration is satisfactory as seen in Fig. 3.

Estimates of the average water loss for periods of adequate water supply has been obtained by W. F. Fox, P. ASCE (5) for basins in Wisconsin. The

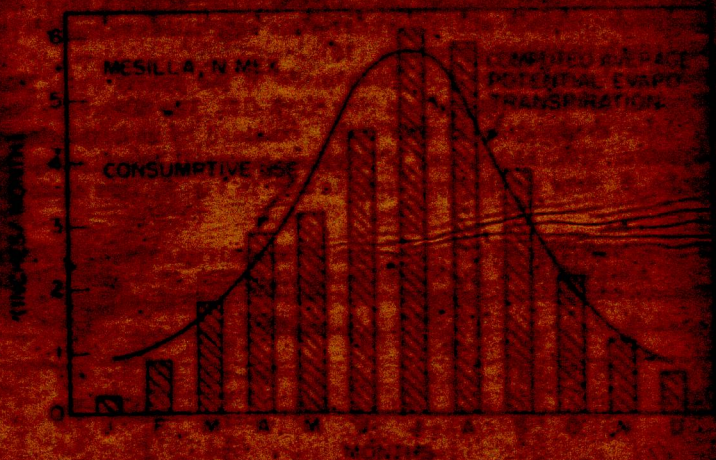


FIG. 3.—SEASONAL DISTRIBUTION OF CONSUMPTIVE USE AND POTENTIAL EVAPOTRANSPIRATION

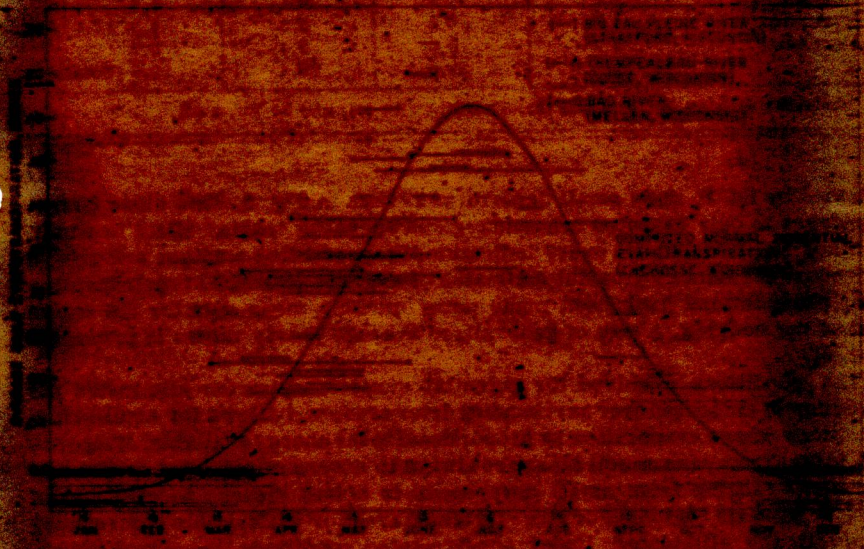


FIG. 4.—POTENTIAL EVAPOTRANSPIRATION FROM WATER BALANCE FOR BASIN

water-balance method. His determined average values of water loss and the computed values of average potential evapotranspiration compare favorably as shown in Fig. 4.

Both Penman and Blaney (4) have computed estimates of evapotranspiration by their respective methods for Asheville, N. C., and for the climate of this location should approximate potential evapotranspiration. In addition, computations by the Thornthwaite method and by Eq. 8 have been listed in Table 2. Results from the new procedure are fully satisfactory in comparison with the other widely used methods and succeeds in correcting a short-coming of the Thornthwaite method wherein winter-time estimates are considered too low and mid-summer values excessive (18).

An extensive investigation has been made of the yearly water loss and evaporation in New England and New York (12). The difference between yearly lake evaporation in this study, obtained by an adaptation of the Penman equation (16), and values of average potential evapotranspiration, obtained by Eq. 8, show small departures as seen in Fig. 5. This close corre-

TABLE 2.—COMPUTED AVERAGE MONTHLY EVAPOTRANSPIRATION FOR ASHEVILLE, N. C., BY SEVERAL METHODS

Month	Inches			
	(a)	(b)	(c)	(d)
January	1.1	0.7	0.3	0.7
February	1.1	1.1	0.4	0.9
March	2.0	2.0	1.0	1.4
April	2.4	2.7	2.1	2.3
May	3.7	4.0	3.5	3.5
June	4.8	4.8	4.6	4.7
July	5.1	4.8	5.4	5.1
August	4.7	4.0	4.9	4.4
September	3.4	2.4	3.6	3.1
October	2.2	1.7	2.1	1.8
November	1.3	0.8	0.8	1.0
December	1.1	0.6	0.4	0.7
	<u>32.9</u>	<u>29.6</u>	<u>29.4</u>	<u>29.6 (Totals)</u>

Methods: Blaney (a), Penman (b), Thornthwaite (c), and by Eq. 8 (d).

by Eq. 8, show small departures as seen in Fig. 5. This close correspondence is only expected in humid regions where the "oasis" effect is small.

Since Eq. 8 has shown every indication of representing a unique and simple procedure for obtaining useful estimates of average potential evapotranspiration, computations have been made using monthly mean data for the region east of the Rockies. A map of generalized average yearly values is presented (8).

The conditions required for potential evapotranspiration eliminates the advection of air heated over surrounding drier areas and allows for equilibrium conditions where evaporation is proportional to the energy available. Evaporation losses from pans or soil tanks are always in excess of potential evapotranspiration—ranging from small differences in humid regions to excesses of 100% in hot-arid regions. For large irrigated areas or valleys this discrepancy is practically eliminated. Under non-irrigated conditions, the actual evapotranspiration depends upon the available soil moisture and the potential evapotranspiration may be adjusted for its estimation.

The decrease in evapotranspiration in relation to soil moisture is viewed differently by various investigators. Thornthwaite (18) has adopted a system

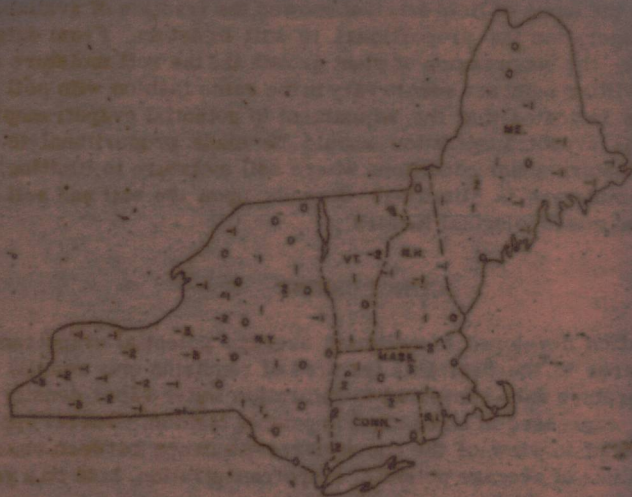


FIG. 5.—DEPARTURE OF ANNUAL POTENTIAL EVAPOTRANSPIRATION FROM LAKE EVAPORATION, IN INCHES



FIG. 6.—COMPUTED AVERAGE ANNUAL POTENTIAL EVAPOTRANSPIRATION IN INCHES

that decreases evapotranspiration on a direct function of the remaining soil moisture on the basis of field data that showed the fraction of available energy used in evaporation as proportional to soil moisture. From data of C. H. Wadleigh (28), the suppression of plant growth and the soil moisture above the permanent wilting point are seen to vary in the same fashion with soil moisture stress. This indicates that the adjustment to potential evapotranspiration to obtain actual evapotranspiration should be made proportional to the plant available moisture under conditions where soil moisture is limiting. Whether soil moisture is "limiting" depends upon the soil and soil aeration, plant, and meteorological factors.

CONCLUSIONS

The equation developed to estimate average potential evapotranspiration adheres to the desirable features of requiring only readily available mean temperature data converted to saturation water vapor density and daytime hours, expressed in an easily computable fashion. General applicability seems justified in view of the close correspondence between observed and computed values of average potential evapotranspiration, both on a yearly and seasonal basis for widely scattered localities.

APPENDIX.—READING REFERENCES

1. "Monthly Consumptive Use Requirements for Irrigated Crops," by H. F. Blaney, Proceedings, ASCE, Vol. 85, No. IR1, March, 1959.
2. "Determining Water Requirements in Irrigated Areas from Climatological and Irrigation Data," by H. F. Blaney and W. D. Criddle, U.S. Dept. of Agric., Soil Conservation Service, Washington, D.C., 1950.
3. "Evaporation and Evapotranspiration Investigations in the San Francisco Bay Area," by H. F. Blaney and D. C. Muekel, Journal, Amer. Geophysical Union, Vol. 36, No. 5, October, 1955, pp. 813-820.
4. Discussion by H. F. Blaney of "Estimating Evaporation," by H. L. Peggman, Transactions, Amer. Geophysical Union, Vol. 37, No. 1, February, 1956, pp. 46-48.
5. "Computation of Potential and Actual Evapotranspiration," by W. E. Fox, U.S. Weather Bur., Washington, D.C., 1946.
6. "Average Solar Radiation in the United States," by S. Fritz and T. H. MacDonald, Heating and Ventilating, July, 1949.
7. "The Derivation of an Equation for Potential Evapotranspiration," by M. H. Halstead, Johns Hopkins Univ. Pub. in Climatology, Vol. 4, No. 5, Seabrook, N. J., 1951, pp. 10-12.

8. "Some Meteorological Aspects of Evapotranspiration," by M. H. Hallett and W. Cery, Proceedings, Soil Sci. Soc. of America, Vol. 21, No. 1, September-October, 1957, pp. 451-455.
9. "Estimating Potential Evapotranspiration," by W. B. Hanson, Unpublished Thesis, Massachusetts Inst. of Tech., Cambridge, February, 1958.
10. "Insolation as an Empirical Function of Daily Sunshine Duration," by R. Hanson, L. L. Wailes, and T. W. Wilcox, Monthly Weather Review, Washington, D.C., June, 1954.
11. "Consumptive Use of Water in Irrigation, I Progress Report of the Daily Water Committee of the Irrigation Division, Transactions, ASCE, Vol. 113, 1950, pp. 1349-1369.
12. "Average Annual Runoff and Precipitation in New England-New York Area," by C. E. Knox and T. J. Nordenscho, U.S. Geol. Survey, Hydrographical Atlas HA7, Dept. of Interior, Washington, D.C.
13. "Meteorological Aspects of Evaporation Phenomena," by M. A. Jensen, Transactions, Internat. Assoc. of Science and Hydrology, Vol. III, 451-455.
14. "Some Aspects of the Relationship of Soil, Plant and Meteorological Factors to Evapotranspiration," by R. R. Lamm, A. R. Glaser, and J. S. Ballarín, Proceedings, Soil Sci. Soc. of America, Vol. 21, No. 1, September, October, 1957, pp. 451-458.
15. "The Common Ground of Meteorology and Hydrology," by R. K. Linsley, Bulletin, Amer. Meteorological Soc., Vol. 41, No. 8, August, 1960.
16. "Hydrology for Engineers," by R. K. Linsley, M. A. Kasher, and J. S. Ballarín, McGraw-Hill Book Co., New York, 1958.
17. "Consumptive Use of Water in Agriculture," by R. L. Lowry and J. Jensen, Transactions, ASCE, Vol. 107, 1942.
18. "The Measurement of Potential Evapotranspiration," by J. R. Mather, Publ. in Climatology, Vol. VII, No. 1, Johns Hopkins Univ., Lab. of Climatology, Baltimore, N. J., 1954.
19. "Some Further Consideration of the Measurement and Infrared Evaporation of Natural Evaporation," by F. Pasquill, Q. J. Royal Meteorological Soc., Vol. 76, 1950, pp. 257-301.
20. "Natural Evaporation from Open Water, Bare Soil and Grass," by F. Panim, Proceedings, Royal Soc. of London, Series A, Vol. 193, pp. 145-166.
21. "Evaporation: An Introductory Survey," by H. I. Pennan, Netherlands Journal Agric. Sci., Vol. 4, No. 1, 1954, pp. 9-29.
22. "Eddy Diffusion of Momentum, Water Vapor and Heat over the Ground," by N. E. Hider, Philosophical Transactions, Royal Soc. of London, Ser. A, 1934, pp. 451-501.
23. "Energy Balance Approach to Evapotranspiration from Crops," by J. L. Tanner, Proceedings, Soil Sci. Soc. of America, Vol. 34, No. 1, February, 1960.

INTRODUCCION

GEOGRAFIA.—La costa Norte Central de Venezuela está delimitada por una cadena de montañas con dirección este-oeste, formadas principalmente por rocas metamórficas. Hasta hace poco tiempo no se conocía bien la relación entre esta cadena y el sistema de arco de islas del Caribe. En un esfuerzo para solucionar este problema, se ha levantado y se están levantando mapas detallados de zonas escogidas. El área estudiada en este trabajo, llamada aquí "Área de Los Teques", abarca la porción de la Serranía de la Costa comprendida entre las latitudes N. 10° 10' y N. 10° 25' y las longitudes O. 66° 50' a O. 67° 10' (Fig. 1).

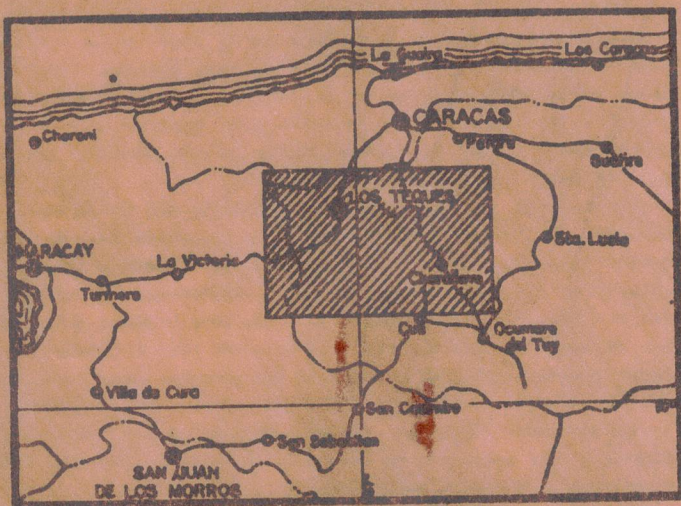


FIGURA 1

Mapa-Índice de la Región de Los Teques-Cúa.

Este rectángulo de 1.217 kilómetros cuadrados está delimitado en forma general por las ciudades de Los Teques, Tejerías, Charallave y Cúa, abarcando parte del Distrito Federal, del Estado Miranda y del Estado Aragua. Está ubicado al Sur de Caracas, en la carretera Caracas-Maracay. La región está muy poblada y la gente vive en fincas y pueblos pequeños.

Las lluvias, bastante abundantes, con un promedio de alrededor de 889 mm., combinadas con la elevación, producen un clima agradable para la mayor parte de la zona. Como resultado de estas condiciones, la meteorización es intensa y la vegetación densa, limitando así el número de afloramientos. Sin embargo, se ha podido obtener suficientes datos



REPUBLICA DE VENEZUELA
 COMANDANCIA DE LAS FUERZAS AEREAS
 SERVICIO DE METEOROLOGIA

FRECUENCIA DE LA DIRECCION
 Y VELOCIDAD MEDIA EN KMH
 DEL VIENTO
 AÑO

PERIODO 1951- 1955



REPUBLICA DE VENEZUELA
COMANDANCIA DE LAS FUERZAS AEREAS
SERVICIO DE METEOROLOGIA

PROMEDIO DE LOS TOTALES
ANUALES DE PRECIPITACION
mm

PERIODO 1951 - 1955



REPUBLICA DE VENEZUELA
 COMANDANCIA DE LAS FUERZAS AEREAS
 SERVICIO DE METEOROLOGIA

FRECUENCIA EN % DE LA
 CANTIDAD DE NUBES BAJAS

(5 - 8 / 8)

AÑO

PERIODO 1951 - 1955

TABLA Nº 1
ESTACIONES PLUVIOMETRICAS EN Y CERCA DE LA HOYA
DEL RIO GUAIRE AGUAS ARRIBA DE PETARE

ESTACION *		ALTURA EN METROS	COORDENADAS		PERIODO DE REGISTRO	AÑOS DE OBSERVACION	PROMEDIO DE LLUVIA ANUAL CLIMATICA EN METROS **	PROPIEDAD DE LA ESTACION R. S. S.
NOMBRE	NUMERO		LONGITUD GRADOS Y MINUTOS	LATITUD GRADOS Y MINUTOS				
AGUA FRIA	1436	1735	67° 11'	10° 24'	1942-45 1949-58	13	1061	INOS
ANTIMANO	0551	923	66° 58'	10° 28'	1931-52	21	845	PART.
ALTO IZCARAGUA	1417	2000	67° 07'	10° 27'	1949-58	9	582	INOS
ALTO NO LEON	1425	2090	67° 09'	10° 26'	1948-58	10	1172	INOS
ALTO DE PIPE	#	1700	66° 59'	10° 24'	1956-58	3	#	INOS
BARUTA	5052	950	66° 52'	10° 25'	1952-58	6	856	INOS
CAFETAL (LA LOMA)	#	1800	67° 04'	10° 28'	1958	0	#	INOS
CAÑO AMARILLO	0523	912	66° 55'	10° 31'	1900-41 1952-58	46	812	PART.
CAOMA	1405	850	67° 07'	10° 32'	1938-58	20	1128	ELECT.
CARICUAO	5061	950	66° 59'	10° 26'	1953-58	5	781	INOS
CARRIZAL	#	1200	66° 59'	10° 21'	1958	0	#	INOS
CATIA	#	900	66° 57'	10° 31'	1958	1	#	INOS
CIUDAD UNIVERSITARIA	0539	872	66° 55'	10° 30'	1949-58	9	859	INOS
COUNTRY CLUB	0528	904	66° 51'	10° 31'	1945-55	10	953	SMN
CUARTEL VIEJO	0524	935	66° 55'	10° 31'	1942-51	9	909	MAC
CHACAITO	5021	1200	66° 51'	10° 31'	1950-58	8	1031	INOS
ENCANTADO	0556	785	66° 47'	10° 27'	1936-58	22	1040	ELECT.
ELECTRICIDAD CARACAS	0534	913	66° 54'	10° 31'	1921-58	37	800	ELECT.
EL ALMENDRO	#	1200	66° 55'	10° 21'	1958	0	#	INOS
EL CARITE	1439	1000	67° 07'	10° 24'	1949-58	9	940	INOS
EL ENCANTO	1458	1250	67° 05'	10° 19'	1906-58	52	1242	RRPPS
EL HATILLO	#	1200	66° 49'	10° 26'	1958	0	#	INOS
EL JUNQUITO	#	1900	67° 04'	10° 28'	1948	1	#	MAC
EL LECHERITO	#	1320	66° 53'	10° 24'	1958	0	#	INOS
EL PARAISO	#	910	66° 55'	10° 29'	1949-50	1	#	MAC
EL VIGIA	5025	1700	66° 47'	10° 30'	1949-58	9	1093	INOS
FILA MAESTRA	5023	2200	66° 46'	10° 32'	1949-55/58	6	1285	INOS
HACIENDA AYALA	#	873	66° 45'	10° 30'	1958	1	#	INOS
HACIENDA MONTALBAN	#	950	66° 56'	10° 28'	1930-58	27	866	PART.
HOTEL HUMBOLDT	#	2100	66° 53'	10° 33'	1958	0	#	INOS
IZCARAGUA ESTANQUE	0515	1200	66° 40'	10° 31'	1936-41 1944-58	19	995	ELECT.
IZCARAGUA PLANTA	0516	800	66° 41'	10° 30'	1936-41 1944-58	19	1019	ELECT.
JARILLO	9343	1650	67° 12'	10° 22'	1948-58	9	1049	INOS
LA GUAIRITA	#	1050	66° 50'	10° 28'	1958	0	#	INOS
LA MARIPOSA	0563	980	66° 55'	10° 24'	1949-58	9	913	INOS
LOS CASTILLITOS	0513	1605	66° 56'	10° 32'	1944-58	14	902	SMN
LOS CHORROS	5053	900	66° 49'	10° 31'	1948-55	6	954	RRPPS
LOS PALOS GRANDES	0529	980	66° 51'	10° 31'	1941-55	14	1085	RRPPS
LOS TEQUES	1448	1180	67° 02'	10° 27'	1904-42	57	1124	GFFCCV
LOS TEQUES	1448	1180	67° 02'	10° 27'	1949-58	9	1124	INOS
LLANO DE CURA	1437	1520	67° 07'	10° 26'	1949-58	9	800	INOS
MACANILLAL	5028	2000	66° 44'	10° 33'	1949-58	9	1450	INOS
MACARAO	1428	1000	67° 02'	10° 25'	1936-52	19	949	PART.
MAMO PLANTA	1407	802	67° 07'	10° 32'	1936-58	22	819	ELECT.
MAMO ESTANQUE	1406	832	67° 08'	10° 30'	1937-58	21	856	ELECT.
MARICHES	0557	1280	66° 44'	10° 26'	1949-54	5	1223	MAC
NARANJAL	0564	1250	66° 50'	10° 22'	1950-54	4	2037	MAC
OBSERVATORIO CAJIGAL	0531	1043	66° 55'	10° 30'	1891-58	67	824	SMN
OFICINA INOS	0545	920	66° 54'	10° 30'	1947-58	11	895	INOS
OROPEZA	1446	1630	67° 05'	10° 25'	1949-58	9	1145	INOS
PALO GRANDE	0542	890	66° 55'	10° 30'	1944-52	8	845	GFFCCV
PALO NEGRO	1226	1050	67° 03'	10° 25'	1949-58	9	829	INOS
PETARE	0555	844	66° 48'	10° 28'	1932-58	26	994	GFFCCV
PETARE (CAURIMARE)	#	900	66° 47'	10° 30'	1949-54	5	#	INOS
PETAQUIRE	1416	1300	67° 09'	10° 28'	1934-54 1950-57	31	872	ELECT.
PICO EL ARADO	#	2049	67° 09'	10° 24'	1954-58	4	#	INOS
POZO DE ROSAS	447	1465	67° 06'	10° 21'	1949-56	7	1093	INOS
RIO GRANDE	5015	1000	66° 56'	10° 34'	1952-58	6	1260	INOS
SABANETA	1427	1830	67° 03'	10° 27'	1949-58	9	952	INOS
SAN DIEGO	0561	1300	66° 57'	10° 20'	1951-58	7	1454	INOS
SANTA INES	0532	912	66° 56'	10° 30'	1905-25 1932-44	36	863	PART.
SEBUCAN	5031	900	66° 50'	10° 31'	1949/1954-58	8	748	PART.
SURCA PICO AVILA	5024	1200	66° 51'	10° 31'	1949-58	9	1133	INOS
TACAMAHACA	8029	1000	66° 43'	10° 31'	1950-58	8	1421	INOS
TOPO ESPEJO	1445	1720	67° 06'	10° 25'	1949-58	9	1003	INOS
TURMERITO	0552	950	66° 54'	10° 25'	1934-40 1942-45	12	977	PART.
TRINCHERAS	0512	900	66° 58'	10° 35'	1936-58	22	816	PART.
VENADOS	0514	1524	66° 53'	10° 32'	1931-49 1950-54	7	1247	SMN

* VEASE LAMINA Nº 7

** PROMEDIO PARA EL PERIODO DE 67 AÑOS 1891-1958 OBTENIDO POR EL METODO DE LOS MINIMOS CUADRADOS

*** INOS - INSTITUTO NACIONAL DE OBRAS SANITARIAS

MAC - MINISTERIO DE AGRICULTURA Y CRIA

SMN - SERVICIO METEOROLOGICO NACIONAL

ELEC - ELECTRICIDAD DE CARACAS

RRPPJ - REVERENDOS PADRES JESUITAS

GFFCCV - GRAN FERROCARRIL CENTRAL DE VENEZUELA

NO TIENE NUMERO ASIGNADO

NO CALCULADO

I N D I C E

	<u>Pag.</u>
A - Introducción.	
Importancia del estudio de los fenómenos climáticos naturales.	1
Objeto y alcances del presente estudio.	1
Origen y desarrollo de los fenómenos meteorológicos.	3
Régimen climático de Venezuela.	4
Estudio del microclima local.	5
Variación de los elementos meteorológicos con la altura.	7
B - Precipitación pluvial.	
Aplicación de la ecuación general de los gases al aire húmedo.	32
Tensiones de vapor, déficit de saturación y humedades: absoluta y relativa.	33
Lluvia media precipitable sobre una región indeterminada. Aplicación para la hoya del Río Guaire.	34
Transpiración del ábaco de lluvia precipitable del U.S. Weather Bureau.	34
C - Evaporación y Evapotranspiración.	
Aplicaciones derivadas de la Fórmula de Meyer.	35
Criterios expuestos sobre la influencia de la presión barométrica en la evaporación.	36
Investigación efectuada sobre la influencia de la presión barométrica en la evaporación que se produce en Venezuela.	36
Exposición de los cálculos que involucra la alternativa 1.	37
Clasificación suplementaria de zonas climáticas.	38
Desarrollo de los cálculos relativos a la alternativa 2.	40
Verificación numérica de la aproximación del cálculo de evaporación, a partir de la ley media probable.	41

	<u>Pag.</u>
Conclusiones del estudio de la evaporación.	41
Criterio definitivo empleado para calcular la evaporación de una localidad.	44
Ilustración del criterio anteriormente expuesto.	45
Evaporación desde el terreno humedecido.	46
Razonamiento sobre transformaciones efectuadas.	47
Ejemplo de aplicación del Cuadro IV y anteriores, a la hoya del Río Guaire.	64
Alternativa 1. Cálculo de las rectas probables que expresan el Coeficiente Anual de Evaporación, C, en función de la altitud, h, sobre el nivel del mar.	74
Alternativa 2. Corrección por presión barométrica.	77
Parábola probable que interpreta los datos respectivos.	80
Ejemplos de aplicación del Cuadro X, nomograma complementario y cuadros anteriores.	84
Corrección de la Evapotranspiración (Meyer), a las condiciones climáticas de Venezuela. Evapotranspiración media efectiva propuesta tentativamente para Venezuela.	107
Variación de la Lluvia Media Anual, con la altitud sobre el nivel del mar.	113
Naturaleza, etapas, fundamentos y validez del procedimiento de aproximación para calcular la evaporación del terreno o la evapotranspiración, en una localidad del País.	114
Validez de este procedimiento.	117

I N D I C E
(II Parte)

	<u>Pag.</u>
D - Esbozo de un procedimiento de cálculo para estimar la precipitación pluvial, mediante el crecimiento del Eucalyptus Paniculata.	121
Procedimiento tentativo de cálculo.	122
Descripción complementaria de la plantación de Eucalyptus.	125
E - Estudio sobre la hoya hidrográfica del Instituto Venezolano de Investigaciones Científicas.	131
Cantidad probable de agua.	131
Alteraciones en el escurrimiento por modificaciones de la hoya hidrográfica.	138
Evaporación de las corrientes superficiales y de los terrenos humedecidos.	138
Evaporación a través de las plantas.	140
Reserva de agua constituida por el terreno húmedo mantenido por la vegetación.	141
Explicación de la Tabla Nº 2 - II.	142
Conclusiones.	149

C U A D R O S
(I Parte)

<u>Número</u>	<u>Título</u>	<u>Pag.</u>
I-1a.	Desviaciones para un período inferior a 5 años consecutivos.	6
I-1b.	Velocidad del viento.	7
I-2.	Esquema general de los efectos producidos por factores locales, en el proceso de precipitación pluvial, en una hoya.	8-9
I-3.	Condiciones locales en la precipitación pluvial de la hoya del Río Guaire.	9-10
I-4.	Indice de elementos meteorológicos.	11
I-5.	Tensiones máximas de vapor a diferentes altitudes s/m.	30
I-6.	Altitud equivalente al punto de rocío, fundada en los datos de tensión de vapor local.	31
B-1.	Clasificación suplementaria de climas locales.	39
I.	Tensión y masa del vapor de agua saturado, contenido en un metro cúbico de aire, a diferentes temperaturas.	58
II.	Variación de la tensión actual de vapor, de la presión barométrica y temperatura media según la altura sobre el nivel del mar.	59-60
III.	Disminución Porcentual de la tensión de vapor y presión atmosférica.	61
IV.	LLuvia precipitable media, sobre un m ² . de superficie.	62-63
V.	Evaporaciones medias anuales, en diferentes estaciones, y reducción de la evaporación, a una velocidad nula del viento.	66-68
VI.	Variación con la altitud, del déficit en saturación de tensión de vapor de agua y de la humedad relativa, en condiciones medias.	69

<u>Número</u>	<u>Título</u>	<u>Pag.</u>
VII.	Determinación del coeficiente anual de evaporación para las distintas estaciones (Alternativa 1.).	71
VIII.	Corrección del Coeficiente de Evaporación, por el efecto de la presión atmosférica y déficit de saturación adoptado.	78-79
IX.	Desviación de la evaporación reducida local respecto a la calculada en base de la ley parabólica de variación del Coeficiente C y del déficit de saturación adoptado.	82
X.	Evaporación reducida media (sin viento), a diferentes altitudes sobre el nivel del mar; deducida de las Estaciones Meteorológicas estudiadas.	83
XI.	Humedad Relativa Media y complemento de la Humedad Relativa, corregidas por presión barométrica, a diferentes altitudes sobre el nivel del mar.	88
XII.	Modificación de la evaporación, según la abertura de vegetación (Transeau).	89
XIII.	Criterios para la selección del coeficiente de evaporación según la topografía, cobertura vegetal, suelo, subsuelo, humedad del aire y velocidad del viento (Meyer).	90
XIV.	Transpiración Estacional de la Vegetación (Meyer).	90
XI.	Coeficiente de evaporación por vegetación y topografía.	91
XVI.	Cifras extractadas de "Datos Detallados de Climatología de Venezuela".	94
XVII.	Cálculo de la Evapotranspiración potencial media, - por año (Derivación de la fórmula de Hamond).	96
XVIII.	Evaporación básica, e_0 , para diferentes precipitaciones medias mensuales, a la temperatura $t_m = 32^\circ$.	98
XIX.	Cálculo de la evaporación del terreno humedecido para la zona adyacente del Observatorio Cagigal (Fórmula 2, Párrafo 1).	102
XX.	Cálculo del porcentaje de la expresión $\frac{\sum \Delta_i \Delta_j}{(\sum P)^2}$ en términos del valor 66, para el Observatorio Cagigal.	104

<u>Número</u>	<u>Título</u>	<u>Pag.</u>
XXI.	Evapotranspiración para Zonas de Estados Unidos que tienen las mismas características climatéricas que las correspondientes a las 16 estaciones meteorológicas venezolanas, estudiadas (Adaptación del Procedimiento de Meyer, fórmula 3) del Párrafo i).	106
XXII.	Evapotranspiración media efectiva, deducida para Venezuela (col. 5).	110
XXIII.	Demostración numérica de la validez del procedimiento de aproximación para obtener las evaporaciones efectivas locales del terreno, en Venezuela.	118-119

G R A F I C O S

(I Parte)

<u>Designación</u> (Fig.)	<u>Título</u>	<u>Pag.</u>
2	Desviaciones de las precipitaciones medias.	15
8	Evaporación de agua según Meyer.	20
9	Tensiones máximas de vapor de agua a diferentes altitudes s/m.	21
11	Variación en Venezuela, de los elementos meteorológicos con la altitud s/m.	22
10	Variación de elementos meteorológicos en Estados Unidos.	26
12-13	Cantidad precipitable de agua según la altura media de la localidad.	27-28
14	Humedad relativa media anual variable con la altitud, sin corrección por presión atm.	29
14a-14b.	Distribución geográfica de las estaciones meteorológicas, en las cuales se analizó el proceso de evaporación.	41a.-41b.

<u>Designación</u> (Fig.)	<u>Título</u>	<u>Pag.</u>
15	Valor del Coeficiente C de evaporación con la altitud s/m.	42
16	Valor del Coeficiente C' de evaporación con la altitud s/m.	43
17	Déficits de saturación según la altitud.	51
18	Evaporaciones y evapotranspiración medias.	52
19	Horas de sol y días de lluvia anuales, según la altitud.	53
20	Dispersión de la evaporación y evapotranspiración local respecto a la evapotranspiración media.	54
21	Ilustración del proceso de elaboración de la evaporación probable media efectiva para Venezuela.	55
22	Valores medios anuales recomendables, de evaporación efectiva.	56
23	Validez del procedimiento de aproximación en la obtención de evaporaciones efectivas locales (C. XXIII).	120

C U A D R O S
(II Parte)

<u>Número</u>	<u>Título</u>	<u>Pag.</u>
D-1.	Fechas de siembra y otros datos de Eucaliptus en la Región del Limón.	127
D-2.	Datos de plantación de Eucaliptus (Valles de Aragua).	128
1-II.	Datos de precipitaciones en varias estaciones correlacionadas con la localidad de Pipe.	136
2-II.	Balance hidrológico de la Hoya del Instituto Venezolano de Investigaciones Científicas.	143
3-II.	Ilustración de las bases estimadas de cálculo.	145-146
4-II.	Aplicación y apreciación de la validez de los porcentajes obtenidos.	147-148
5-II.	Características del viento en la localidad de Alto de Pipe, por los meses de Mayo, Junio y Julio de 1956.	150-151

G R A F I C O S
(II Parte)

<u>Designación</u> (Fig.)	<u>Título</u>	<u>Pag.</u>
24-26.	Relación de la altura, de determinadas especies de eucaliptus, con su diámetro a la altura de pecho.	129-130
27.	Asimilación de la precipitación anual de Maracay a la curva de distribución de Pearson (Período de 47 años).	130
28.	Mapa-Índice de la Región de Los Teques-Cúa.	152
29.	Mapa Geológico de la Región de Los Teques-Cúa.	153
30.	Estaciones Pluviométricas en y cerca de la hoya del Río Guaire, aguas arriba de Petare.	154

<u>Designación</u> (Fig.)	<u>Título</u>	<u>Pag.</u>
31.	Promedio de los totales anuales de precipitación en la Zona (1951-55).	155
32.	Promedio de los totales anuales de evaporación a la sombra (mm) (1951-55).	156
33.	Frecuencia en % de la cantidad de nubes bajas. (1951-55).	157
34.	Frecuencia de la dirección y velocidad media - en km/h. del viento en el año. (1951-55).	158
35.	Tiempo de concentración superficial.	159
36-36a.	Isotermas máximas y mínimas en la Región de - Pipe.	160-161
37.	Curvas de humedad relativa en tanto por ciento.	162
38-38a.	Presión diaria en mm., Estación "Alto de Pipe"	163-164
39.	Carta de evaporación anual (en mm.).	165
40.	Rosa de los vientos anual.	166
41-41a.	Ubicación de los pozos de agua pertenecientes a la Finca "Minas de San Antonio", en la Región de la Hoya Hidrológica del IVIC.	167-168

DATOS CORRESPONDIENTES A PIPE

1. Climatology of the Site.

A meteorological station was erected at the reactor site in 1956 in order to obtain climatological characteristics at Altos de Pipe. In Appendix B data will be found covering the rainfall, relative humidity, wind direction and intensity, etc. at the site.

Some of the meteorological characteristics at Altos de Pipe are briefly summarized below:

1. The annual mean precipitation is 1200 mm.
2. The annual mean relative humidity is 80%.
3. The annual mean evaporation is 1079 mm.
4. The annual mean temperature is 17°C.
5. The minimum temperature is 10°C.
6. The maximum temperature is 28°C.
7. The wind direction is predominantly from the southeast (over 70% of the time). Wind speed varies from calm up to a maximum of 2.3 meters per second.
8. The monthly mean average of insolation is 132,8 hours with a monthly maximum of 240 hours and a minimum of 91 hours.

Inversion data for the Institute has been collected from December 9, 1957 only. So far, records indicate an inversion exists, at least during this part of the year, about half the nights of the month. The magnitude of the inversion is from 0.1°C to 2.0°C for a vertical distance of 25 meters. The ground temperature reading device is at an elevation of 1735 meters. The temperature device in the tower is at an elevation of 1760 me-

ters. The elevation of the top of the exhaust stack for the reactor is 1735 meters.

2. Geology, Hydrology, and Water Supply.

The reactor site has been cut into the side of the mountain Altos de Pi-pe. The surrounding area is all mountainous, these mountains being the northern most ranges of the Andes.

A report on the geology of the reactor site is included as Appendix C of this report.

Test borings taken at the reactor site show the material corresponds closely to the graphite-sericitic schists which make up the Upper Part of the Las Brisas complex. Based on load bearing tests made at the reactor site, a safe allowable load bearing of 2.67 Kg/cm². was determined using a safety factor of 3.

The reactor is located in the Río Guaire watershed as indicated in Figure 2.3. No water supplies of importance are taken from this watershed, its use being limited to a few shallow wells for water supply of farms in the area. The river flows through Caracas, but is not used as a water supply for the city. Caracas gets its water from Mariposa as shown in Figure. 2.4.

The closest point to the Mariposa watershed from the reactor site is about 3-1/2 kilometers to the east.

A description of the IVIC water supply is given in Appendix D. There are two separate power supplies and water supplies to serve the reactor facilities, each of which is more than adequate to supply the water required for the reactor facilities.

R E F E R E N C I A S

1. Advance Technology Corporation - Site Survey for the proposed nuclear reactor facility at the Venezuelan Institute for neurology and Brain Research: Hydrological, Geological and Meteorological - Data; September 1, 1956.
2. A.S.C.E. - Hydrology Handbook.
3. Berry and Bollay - Handbook of Meteorology.
4. Braun - Blanquet - Sociología Vegetal.
5. Burington and May - Handbook of Probability and Statistics.
6. Butler - Engineering Hydrology.
7. Flinn - Abastecimiento de Aguas.
8. Forcheimer - Hidráulica.
9. Foerster - Rainfall and Run - off.
10. Fournier - Climat et Erosion - Presses Universitaires de France.
11. Fry - Probability and its Engineering uses.
12. García Nájera - Principios de Hidráulica Torrencial.
13. Goldbrumer - Meteorología.
14. Goldbrumer - Las causas meteorológicas de las lluvias de extraordinaria magnitud en Venezuela.
15. E. González - Datos detallados de la Climatología de Venezuela - Boletín Nº 8 de la División de Malariología - S.A.S.
16. W.R. Hamon - Estimating Potential Evapotranspiration, Journal of - the Hydraulics Division, Proceedings of the American Society of Civil Engineers, May, 1961.
17. Hütte - Manual del Ingeniero.
18. I.N.O.S. - Instructivo de Meteorología.
19. Linsley, Kohler - Hydrology for Engineers.
20. Linsley, Kohler - Applied Hydrology.

42. P. Veilon - Comparación de Climatogramas correspondientes a estaciones centroamericanas y venezolanas de clima similar, donde crecen o podrían crecer algunas coníferas centroamericanas - Instituto Forestal Latinoamericano de Investigación y Capacitación - Mérida, Venezuela - Boletín Nº 5 - Enero de 1960.
43. R. Wiese - Hidrología para la canalización del Rfo Guaire - Revista Nº 277 del Colegio de Ingenieros de Venezuela.

RJB/nc.

21. G. Lira - Hidrología.
22. G. Lira - Física General II Parte.
23. Lorente - Meteorología.
24. Mead - Hydrology.
25. O. Meinzer - Hydrology.
26. Meyer - Elements of Hydrology.
27. Ministerio de Agricultura y Cría - Datos sobre el crecimiento de Eucaliptus en Maracay.
28. J. Mothes - Estadística aplicada a la Ingeniería.
29. Muskat - Flow of homogeneous fluids through porous media.
30. Peters - Statistical Procedures and their mathematical bases.
31. Robinsen - Los suelos, su origen, constitución y clasificación.
32. E. Röhl - Climatografía de Venezuela - Boletín de la Academia de Ciencias Físicas, Matemáticas y Naturales - Nº 46; Enero-Abril 1952.
33. E. Röhl - Climatología de Venezuela - Bol. C.F.M. y N.
34. E. Röhl - Los Diluvios en las Montañas de la Cordillera de la Costa - Bol. Nº 38 C.F.M. y N.
35. E. Röhl - Contribución al conocimiento del clima de Caracas - Revista del Colegio de Ingenieros de Venezuela - Oct.-Nov.-Dic. 1944.
36. Servicio de Meteorología de la Comandancia de las Fuerzas Armadas - Atlas Climático Provisional de Venezuela.
37. R. Smith - Geología de la Región de Los Teques - Cúa; Boletín de Geología Nº 6 - Julio a Diciembre de 1952.
38. Tolman - Ground Water.
39. Turneaure - Russell - Public Water Supplies.
40. Uspenski - Introduction to Mathematical Probability.
41. United States Department of Agriculture, Miscellaneous Publication Nº 37 - Influences of Vegetation and Water-Shed Treatment on Run - off , Silting and Stream Flow.