

SERIE MATERIALES
DE ENSEÑANZA No. 13

CENTRO INTERAMERICANO DE DOCUMENTACION
INFORMACION Y COMUNICACION AGRICOLA

24 JUN 1982

CIDIA — TURRIALBA COSTA RICA

AGROAMBIENTE
CURSO CORTO. FEBRERO 22-MARZO 5 DE 1982
COMPENDIO DE LAS PRESENTACIONES

Publicación financiada con fondos
de la Fundación W. K. Kellogg como parte del Proyecto
de Capacitación Agropecuaria para el
Istmo Centroamericano

CENTRO AGRONOMOICO TROPICAL DE INVESTIGACION Y ENSEÑANZA, CATIE
Unidad de Capacitación
Turrialba, Costa Rica, 1982

El presente compendio fue elaborado como material de apoyo para el curso de "Agroambiente" llevado a cabo en la sede del CATIE, en Turrialba, Costa Rica, del 22 de febrero al 5 de marzo de 1982. Su preparación se basó en las presentaciones de los profesores Ing. Luis Vives y Abigail Chacón, así como por los conferencistas que complementaron el marco conceptual planteado para el desarrollo del evento.

El curso fue ejecutado por el Departamento de Desarrollo de Recursos para la Investigación y Docencia dentro del Proyecto de Capacitación Agropecuaria en el Istmo Centroamericano, financiado por la Fundación W. K. Kellogg.

Se reconoce aquí el apoyo brindado por la Universidad de Costa Rica y por las instituciones nacionales de investigación y desarrollo agropecuario de cada país, de gran ayuda para el éxito de este evento.

Con el fin de uniformizar el texto de los trabajos presentados fue necesario efectuar algunos cambios de forma, los cuales se espera no hayan afectado el contenido en su fondo.

Es el deseo de los coordinadores del curso, que este compendio sea de utilidad para las personas interesadas en la producción agropecuaria y forestal en el trópico, donde el uso adecuado de los recursos tiene un rol fundamental en la producción agropecuaria.

Carlos U. León-Velarde
Coordinador de Capacitación
CATIE; Unidad de Capacitación

CONTENIDO

Aspectos sobre agrometeorología	1
Luis Vives	
Equipo y prácticas en agrometeorología	135
Abigail Chacón	
La atmósfera y los vientos en Centroamérica	168
Norman Vega	
La estación lluviosa en Costa Rica y los veranillos	181
Patricia Ramírez	
Efecto de los factores meteorológicos en el suelo	199
Carlos Burgos	
Efecto de los factores meteorológicos sobre la fisiología de las plantas	213
Oscar Arias	
La agricultura de regiones con sequía interestival en El Salvador	230
José Arze B.	
Efecto de los factores meteorológicos sobre las plagas	249
Luis A. Salas	
Efecto de los factores meteorológicos sobre los virus de las plantas	270
Rodrigo Gámez	
Anexo: Glosario meteorológico	276

ASPECTOS SOBRE AGROMETEOROLOGIA

Luis Vives*

INTRODUCCION

Los seres vivos, en su proceso evolutivo, se han adaptado al medio atmosférico hasta el punto de que éste ha llegado a ser un limitante en su reproducción. El hombre, desde que inventó la agricultura hará unos 10,000 años, llegó a conocer la influencia del comportamiento de la atmósfera ("tiempo"¹) en la producción. Esta relación tan directa entre cultivo y "tiempo" estuvo siempre presente en la mente del agricultor, aún antes del acelerado desarrollo científico y tecnológico de los últimos años, que ha contribuido al mejoramiento de la agricultura con el uso de productos químicos, maquinaria, mejoramiento genético, nuevas prácticas de siembra, industrialización, etc.

Esta etapa de avance ha hecho que el efecto de la atmósfera se diluya junto a los enormes incrementos en la producción; pero no por ello las plantas dejan de reaccionar ante el "tiempo". El conocer estas reacciones conducirá a una agricultura científicamente orientada hacia una mayor y más segura producción.

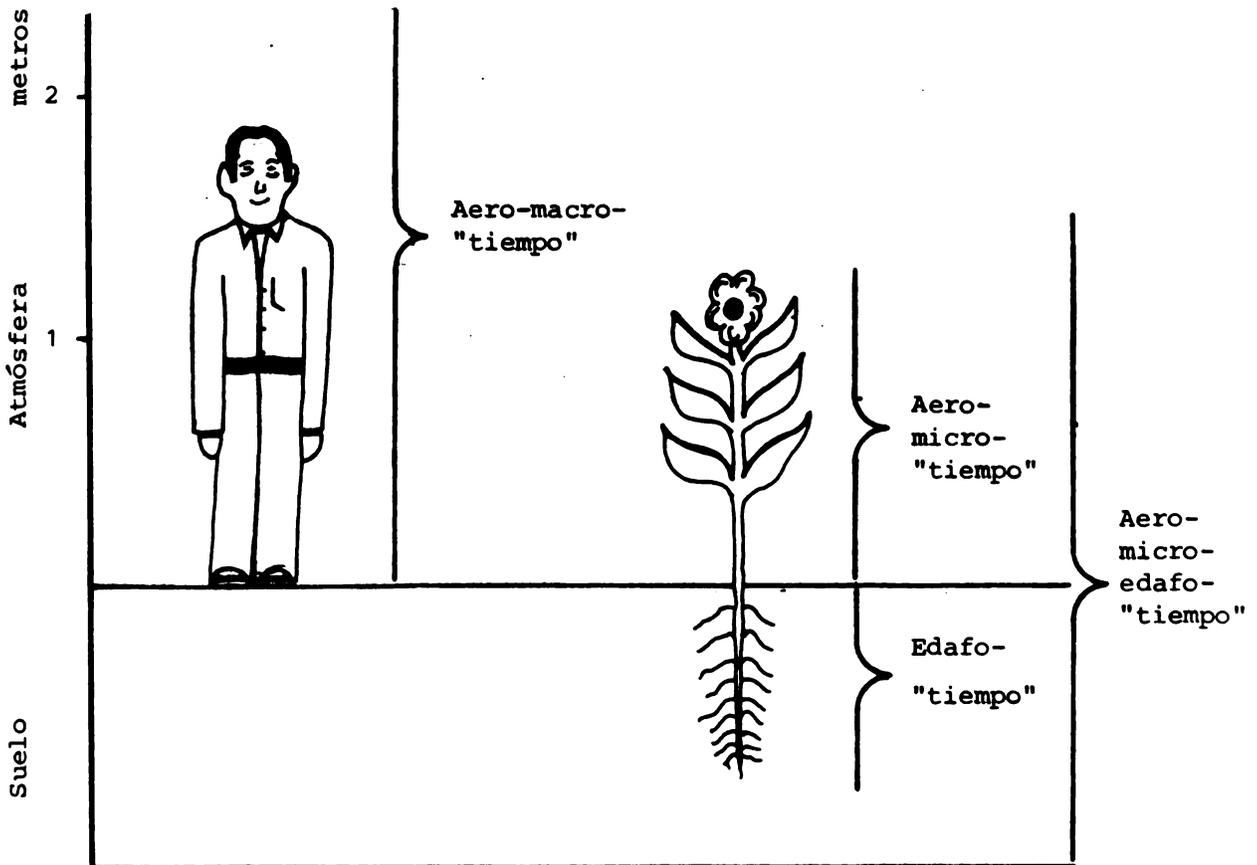
La agrometeorología es una ciencia joven que nació hará unos 60 años a partir de la climatología; posteriormente a partir de 1950, se desarrolló hasta convertirse en una ciencia independiente. Sin embargo, a la agrometeorología se le ha aplicado la etiqueta tradicional de poco práctica; esto le ha sucedido a la mayoría de las ciencias en su juventud. Irónicamente nada es más práctico en la agricultura que la obtención de una producción segura y esto sería el resultado final al llegarse a conocer esas relaciones vitales de causa a efecto; es decir, las reacciones de la planta ante el comportamiento del "tiempo". A veces también se considera que nada se lograría si se conocieran estas relaciones planta-"tiempo", al no poderse cambiar el "tiempo". Se notan aquí dos errores. En primer lugar se está hablando del "tiempo" al que el hombre está sometido, al aero-macro-"tiempo", es decir, al "tiempo" que la atmósfera presenta sobre la superficie del suelo y al cual es sensible el hombre. Este no es el "tiempo" de las plantas.

El "tiempo" de éstas no sólo está formado por el aero-macro-"tiempo", sino también por su aero-micro-"tiempo" y por el "tiempo" que ocurre en el suelo, o edafo-"tiempo". En consecuencia, se están confundiendo el

* Universidad de Costa Rica.

¹ "tiempo", siempre que se use entre comillas se refiere al tiempo climático.

aero-macro-"tiempo" con el aero-micro-edafo-"tiempo"; se están confundiendo las estructuras de dos habitats diferentes, que sólo ocupan la misma superficie y capa aérea, aunque a veces también a diferentes alturas.



Habitat humano y vegetal. Comparten la misma superficie pero con condiciones de "tiempo" marcadamente diferentes.

El segundo error al decirse que no se puede cambiar al "tiempo" está en que si bien no se ha podido lograr hacerlo en el aero-macro-"tiempo", sí se ha empezado a hacerlo en el aero-micro-edafo-"tiempo", a pesar de ser el más complejo de los dos; por ejemplo, se han logrado modificaciones del balance energético en el suelo. Existen muchos casos en que se pueden lograr estas modificaciones. Además, la agrometeorología no implica cambiar sino, quizá lo más importante, poder conocer mejor las reacciones de las plantas ante el "tiempo", lo mismo que en sus plagas y enfermedades, con el fin de aumentar la certeza de obtener la cosecha, incluyendo mejores rendimientos

como es el caso del efecto de la temperatura (calor) en la concentración de sacarosa en la caña de azúcar.

Lamentablemente todavía la agrometeorología no está bien organizada y por ello sus estudios, aunque con distinta orientación, se hallan en otras ciencias como la fisiología, micrometeorología, etc. Esta falta de centralización implica la ausencia del objetivo de la agrometeorología y a la vez, la dificultad de usar la información disponible por parte de los trabajadores del sector agropecuario.

Mientras no se le de el apoyo a la agrometeorología, la producción seguirá siendo una explotación empírica, tecnificada pero empírica. Es significativo el hecho actual que la gran mayoría de las facultades o escuelas de agronomía no investigan ni ofrecen cursos de agrometeorología. Se hallan numerosos estudios y cursos de climatología agrícola pero eso es diferente. Y cabalmente la tendencia de definir las relaciones de las plantas con el clima, muy usada en la investigación agrícola, es inadecuada hasta para la planificación agrícola.

A menudo, inclusive, se quiere entender el comportamiento de un cultivo usando valores climáticos medios de varios años. No es posible usar valores medios climáticos, tomados de la climatología pura, para entender las reacciones de un cultivo, ni en su tendencia media en varios años y menos para un solo ciclo de vida de él. Los valores climáticos pueden tener valor para compararlos en los seres que viven más, por ejemplo, con la vida del hombre que posee 67 años como promedio de vida pero no para compararlos con plantas que sólo viven 5 meses.

Se estaría comparando y esto es lo que se ha venido haciendo, valores que han ocurrido en diferentes épocas.

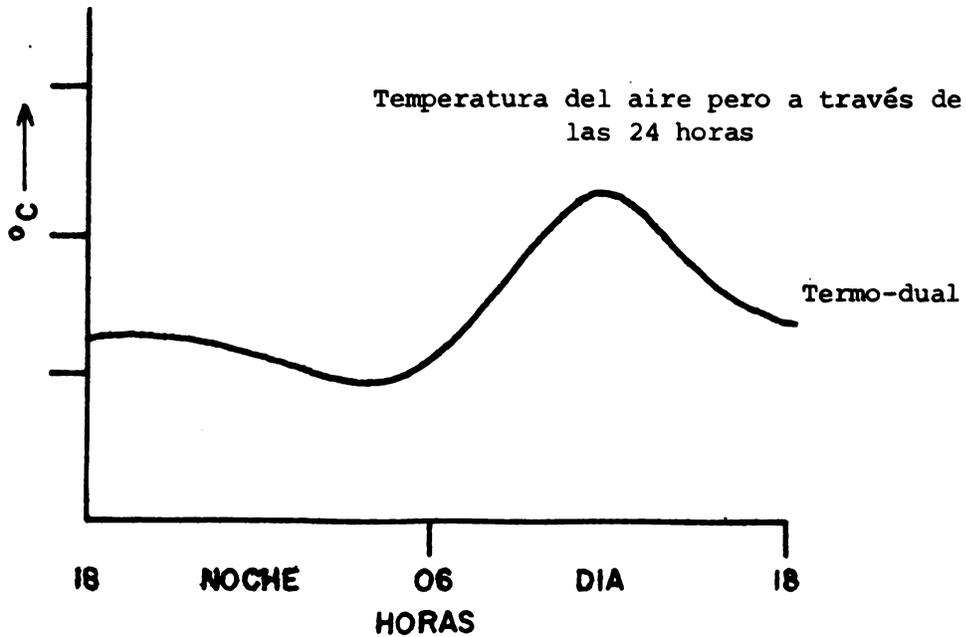
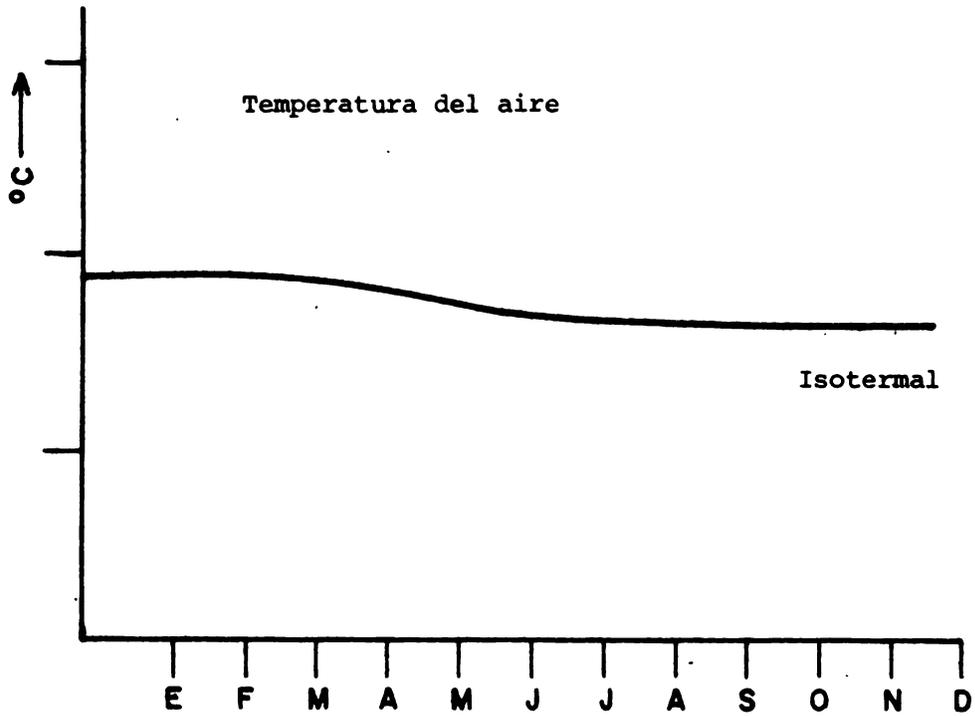
Además los valores climáticos clásicos no se ajustan ni al inicio ni al final de los cultivos, sino que son dados por mes calendario, lo que hace todavía más difícil poder lograr cualquier relación entre ellos.

La climatología pura ha logrado que se acepte la idea de que la región tropical es isotermal, por ejemplo. Y es cierto para el hombre pero no para la planta. Ella tiene que vivir expuesta al medio las 24 horas del día y por ello experimenta una condición de "tiempo" diferente al hombre. Ella vive en un ambiente heterotermal, más bien termo-dual.

Del capítulo I del libro "Climate and Agriculture"¹ se extraen los siguientes párrafos:

¹ Chang, Jen-Hu. Climate and Agriculture. An Ecological Survey. Aldine Publishing Co. U.S.A. Second Printing, 1971.

Equivocación al querer comparar el regimen térmico que el hombre experimenta con el de la planta. A través de las 24 horas se puede ver que el comportamiento no es isotermal.



"Observaciones climáticas se necesitan en los experimentos agrícolas. Al menos que las variaciones climáticas sean tomadas en cuenta, es muy difícil interpretar la variación en los cultivos, fertilización y otros experimentos consistentes en ensayos repetidos todos los años...La interpretación de muchos ensayos que incluyen parámetros biológicos podría parecer, después de este siglo, erróneos por carecer de observaciones del medio... Hasta que usemos un estilo comprensible de experimentación y observación para determinar el mejor suelo, lugar y los parámetros climáticos que motiven las reacciones biológicas, no podremos ver la importancia ni la interrelación entre estos factores".

Consecuentemente se necesita la información climática para interpretar bien los resultados de los ensayos agrícolas.

La idea es hacer de la agricultura una ciencia. Más precisión en la interpretación de los resultados en la investigación y más seguridad de obtener la cosecha.

DEFINICIONES

Clima

Es un concepto abstracto definido en base a valores medios, para un lugar o zona dada.

- a) El clima lo forman la temperatura, lluvia, brillo solar, humedad, etc.,
- b) Como los valores de temperatura, lluvia, brillo solar, etc., oscilan de año a año, se requiere calcular los valores medios usando varios años de observación.

El número aproximado de años necesarios para obtener una distribución y promedios aceptables, es el siguiente:

Elemento climático	Islas	Costas	Planicies	Montañas
REGIONES EXTRATROPICALES				
Temperatura	10	15	15	25
Humedad	3	6	5	10
Nubosidad	4	4	8	12
Lluvia	25	30	40	50
REGIONES TROPICALES				
Temperatura	5	8	10	15
Humedad	1	2	3	6
Nubosidad	2	3	4	6
Lluvia	30	40	40	50

El clima definido corresponde al estado de la atmósfera a la altura del hombre. Así el clima de un lugar será el correspondiente a la capa cercana al suelo, pero considerando que cerca del nivel del mar se estará más bajo en la atmósfera que cuando se está en lugares altos, por ejemplo, a 2,500 m sobre el nivel del mar.

Siempre que se habla del clima, no hace falta indicar la fecha.

Tiempo climático

O simplemente "tiempo", se entiende el estado atmosférico característico de un lugar durante un momento dado. Por eso, si es necesario dar la fecha al hablar del "tiempo".

El clima es estudiado por la climatología pero el tiempo lo es por la meteorología.

Los fenómenos meteorológicos, que en forma conjunta constituyen y caracterizan el "tiempo", aisladamente representan los elementos del "tiempo" o clima; estos son:

Hídricos. Vapor de agua: nubes y humedad del aire; Precipitación: lluvia, rocío, escarcha, granizo y nieve; Evaporación.

Energéticos. Radiación solar; brillo solar; temperatura y "viento".

La climatología es principalmente descriptiva y no necesita un cuidadoso estudio de las causas. Los datos promedio, como temperatura media, tienden a esconder los valores extremos que por sí solos pueden tener efectos sobre las plantas o los animales.

Para definir un macroclima o clima a gran escala, se usan estaciones meteorológicas separadas a 20, 50 o más Km. Esta es la clase de clima descrito en las climatologías o Atlas climatológicos, donde se trata de establecer los valores medios de los diversos elementos del clima.

El microclima es el resultado de la influencia de la topografía, la vegetación, etc., en pequeñas áreas. Así la presencia de microclimas aumenta con la abundancia de accidentes sobre la superficie y en consecuencia su número será mayor en áreas montañosas. Por el contrario, son pocos en una región llana.

La microclimatología no tiene como propósito básico el definir los valores medios de los elementos del clima, sino el de establecer las diferencias existentes entre microclimas vecinos; esto se puede lograr en períodos de observación cortos.

Mientras que en la climatología se instalan los instrumentos en forma permanente para ser leídos a horas fijas, en la microclimatología sucede lo contrario; es decir, el instrumental es instalado temporalmente, leído a horas definidas para cada caso, con el fin de establecer las diferencias existentes entre áreas con características propias.

En las regiones montañosas, el factor más importante en la determinación del clima local es la altitud. La disminución del polvo atmosférico permite que lleguen a la Tierra más rayos de las longitudes de onda más corta, resultando por esto que la luz solar sea mucho más intensa en las elevaciones mayores. El aire enrarecido también aumenta la velocidad de transpiración de las plantas. La topografía sinuosa de muchas áreas de los trópicos, aumenta los problemas de la erosión del suelo y en algunos casos, el abastecimiento del agua. Las temperaturas más bajas y los cambios de humedad en las altitudes elevadas, permiten el cultivo de muchas especies que no toleran el calor y la humedad de las tierras bajas.

La producción agrícola mecanizada ha hecho notoria la importancia de la topografía. El equipo mecanizado se puede utilizar con mayor ventaja en áreas relativamente niveladas, no quebradas por barreras topográficas. Es precisamente, en las expansiones relativamente niveladas de las llanuras y en las llanuras, de donde se producen la mayoría de los artículos del mundo. La producción agrícola de los territorios con topografía sinuosa, generalmente está limitada a la cría de ganado y pocas veces a tipos de agricultura subsistentes.

La topografía es un factor importante en la determinación del clima, ya que la dirección y la altura de las cordilleras montañosas afecta a los vientos, la distribución de la precipitación, etc. La pendiente y la exposición de un área dada es sumamente importante en la producción de ciertas cosechas. En el Hemisferio Norte, las pendientes hacia el sur son más cálidas y secas que las del norte, resultando de ello que las plantas entran en floración y producen más temprano. Dichas pendientes son menos convenientes en las áreas de lluvia limitada, puesto que las temperaturas más elevadas de la superficie y la resultante pérdida mayor de humedad por la transpiración, las hace de sequía. Las gradientes incrementadas en declive intensifican la erosión del suelo cuando se presentan lluvias fuertes y así hacen que el control de la erosión sea más difícil.

La capa de aire debajo de los 2 m es sustancialmente diferente al resto. A más cercano del suelo se refiera, mayor será la reducción de la velocidad del viento por la fricción con él, dando una cantidad menor de mezcla del aire, lo cual es importante en el caso de CO_2 , temperatura, etc. Esta capa también es la fuente de vapor de agua, polvo y gases que escapan del suelo. Debido a su particular naturaleza y a que constituye el medio gaseoso de las plantas jóvenes y animales, adquiere el mayor interés por parte de los agrometeorólogos; así se origina el nombre del macro-aero-clima de las plantas, al presente en esta capa de 2 m de alto. También se le puede llamar aero-clima de habitat o más ampliamente, aero-ecoclima.

La primera consecuencia de esto es que el aero-ecoclima no puede ser definido directamente de las estaciones meteorológicas observadoras regulares. Por ejemplo, las temperaturas mínimas pueden resultar inferiores a la altura de las plantas, que las registradas en los abrigos meteorológicos, pudiendo por esto ocurrir más rocío o escarcha que la calculada únicamente con las temperaturas mínimas leídas en los "abrigos".

En resumen:

Climatología estudia el clima; es descriptiva; no estudia causas.

Meteorología si estudia las causas del comportamiento y manifestación de los elementos del "tiempo".

Agroclimatología. Es descriptiva, no estudia causas. Es el estudio de la distribución de plantas y animales ante los distintos climas existentes. Es adaptación. Es ecología climática.

Agroclimatología es el estudio de causa a efecto del clima sobre animales y vegetales. Es principalmente descriptiva y no necesita un cuidadoso estudio de las causas.

Para ello se deben estudiar, para períodos iguales, los valores promedio tanto del comportamiento de los seres vivos como los del clima.

Agrometeorología. La agrometeorología sí estudia causas y comprende el estudio de la reacción y el comportamiento de los distintos organismos vivos ante la manifestación continua de los elementos del "tiempo".

Componentes del clima y su análisis para la agricultura

Los fenómenos meteorológicos, que en un momento dado definen el "tiempo climático", pero que como valor promedio determinan el clima, se pueden agrupar en la siguiente forma.

Lluvia. Cantidad diaria y mensual; promedio para períodos cortos como 5 ó 10 días. También se puede observar la cantidad por aguaceros, duración por aguacero y la intensidad (cantidad entre tiempo). Unidad de medida: milímetro. Cada milímetro corresponde a un litro por metro cuadrado.

Día o período diurno. Período comprendido entre las 06 y 18 horas.

Noche o período nocturno. Entre las 18 y 06 horas.

Epoca seca. Ausencia de lluvias por varios meses.

Epoca lluviosa. Presencia de lluvia por varios meses.

Aguacero. Presencia de lluvia. Considerándose aguaceros individuales cuando entre ellos ocurre un mínimo de 30 minutos sin lluvia.

Sequía. Ausencia de lluvia por varios días seguidos durante la época lluviosa.

Brillo solar. Cantidad o promedio diario; para 5 ó 10 días. Unidad de medida: horas y décimas.

Temperatura del suelo. Promedios, como en el caso de la temperatura del aire, pero tomando en cuenta una nueva variable, que es la profundidad en el suelo a que es observada. Unidad de medida: grado centígrado.

Viento. Dirección y velocidad. La dirección puede ser la dominante, que es la que presenta mayor frecuencia de ocurrencia en un día, 5 ó 10 días.

Evaporación. Cantidad diaria, para 5 ó 10 días. Unidad de medida: milímetros.

Humedad relativa. Promedios diarios, bihorarios, para cada 5 ó 10 días. Unidad de medida: porcentaje. Obsérvese que ésta no es una unidad absoluta sino relativa, de tal manera que el contenido de humedad absoluta (gramos de vapor de agua por metro cúbico de atmósfera) variará especialmente en función de la temperatura.

Radiación solar. Cantidad o promedio diario: valores para 5 ó 10 días. Unidad de medida: calorías por centímetro cuadrado por minuto.

Temperatura del aire. Promedios bihorarios o diarios, para 5 ó 10 días. También valores extremos promedio, siendo la oscilación la diferencia entre la temperatura máxima y la mínima. Unidad de medida: grado centígrado.

También puede referirse la dirección a las ráfagas o vientos fuertes que transitoriamente, por períodos cortos de tiempo, se apartan del valor medio. La dirección se define en base de donde sopla el viento. La velocidad tiene como unidad de medida: el metro por segundo.

Otros. Aún cuando no se realizan observaciones de contenido del CO₂ en la atmósfera, éste debería ser medido especialmente dentro y sobre los cultivos, ya que su disponibilidad afecta el comportamiento y producción lógicamente, de los vegetales. Lo mismo se podría decir sobre calidad de la luz, cantidad de ozono (O₃), albedo, etc. Estos factores deberán ser considerados como fenómenos climáticos para el campo de la agricultura y observados sobre bases regulares, para un mejor entendimiento de la reacción que, ante el medio atmosférico, presentan los vegetales y animales.

EL CLIMA A TRAVES DEL TIEMPO

Se debe recordar que el clima es un concepto abstracto, fácilmente mal interpretado. Hay que tener presente que el clima no es constante; él cambia a través del tiempo.

EL CLIMA CAMBIANTE ⁽¹⁾

"El clima no es constante". Es verdad que sus variaciones de generación a generación no son grandes desde el punto de vista de los climatólogos con sus largas perspectivas históricas, pero el agricultor está viendo los cambios con diferentes ojos. Aún más, el agricultor juzga el clima de una serie de años por sus efectos en la producción y su ganancia y no por la recolección de datos meteorológicos.

Hablando en general, el tipo de agricultura está muy en armonía con el clima. Hay por lo tanto, ciertas zonas climáticas que son básicamente convenientes para los cultivos existentes ahí. Entre estas zonas hay franjas marginales que no pertenecen claramente a una u otra clasificación. Esto implica, que cualquier cambio en el clima es más importante en esas áreas marginales o intermedias. Una finca en el centro de una área climática bien definida y adecuada para los cultivos ahí existentes, éstos sentirán poco efecto, positivo o negativo, en una secuencia de años en ligeras diferencias en el tiempo climático. Una finca en el borde de tal área, bajo las mismas circunstancias, puede bien encontrar el cambio del "tiempo" más favorable o puede enfrentarse a un desastre.

A como están las cosas al presente, con limitados conocimientos en el arte de los pronósticos climáticos, es a menudo el agricultor el que reacciona ante un cambio climático antes de que el climatólogo esté convencido que tal cambio ha ocurrido. La razón de esta sensibilidad por parte del agricultor está en que muchos sistemas de siembra son programados con la expectación de un año con "tiempo" adverso, por cada tres años como máximo, y el cual puede ser tolerado económicamente. Si esta frecuencia aumenta de tal manera que esos 3 se transforman casi con certeza en dos años adversos sucesivos, entonces la presión económica obliga a un cambio en los cultivos y sistemas. La única excepción a esta secuencia de eventos es el pequeño agricultor que no tiene alternativa, llevándolo a un estado cercano al fracaso y en el caso extremo, el hambre prevalece.

Los puntos críticos del clima varían de área a área y de cultivo a cultivo. Por ejemplo, en regiones de temperaturas frías la longitud de la estación de crecimiento es lo más importante; en las regiones sub-áridas, la naturaleza de la estación lluviosa es la principal causa; para los frutales la incidencia de la escharcha o granizo es la preocupación básica.

(1) Editorial del "Agricultural Meteorology". Vol 1 # 5. Oct., 1970.

Cualquiera que sea el factor crítico, la principal característica es que la relación entre el clima y el cultivo no es lineal a los extremos; hay zonas donde pequeños cambios climáticos implican grandes efectos agrícolas.

No es sino hasta la última mitad de este siglo que la mayoría de las observaciones meteorológicas empezaron a ser precisas, pero todavía queda por recordar que su uso eficiente depende en alto grado en si son muestras representativas. En algunos casos eso está alejado de la verdad. El reconocido sistema de que un período "normal" de 30 años es excelente para comparar lugar con lugar, puede ser peligroso si se usa con el propósito de interpolación o planeamiento futuro. Hay mucho que decir de la teoría que establece que los últimos diez años son una guía aceptable, para considerar el comportamiento climático de la próxima década.

El problema es difícil pero al menos el primer paso es reconocer que el problema existe. El uso inadecuado de la información del clima pasado es inexcusable en cualquier ejercicio que implique programación.

Idealmente deberíamos mirar hacia el día en que los pronósticos del clima serán suficientemente confiables como para incorporarlos en los planes y consejos agrícolas. Mientras tanto, es obligación del agrometeorólogo estar atento de las dimensiones posibles del cambio del clima y más importante aún, el significado agrícola de cualquier cambio. El debe ser capaz de identificar las áreas sensibles y puntos críticos del tiempo climático.

Si ello no es incorporado dentro de cualquier planeamiento administrativo, el peligro de un incorrecto establecimiento es evidente. El climatólogo no puede permanecer como un ciudadano del pasado; la justificación de ver hacia atrás es la de incrementar nuestra habilidad para ver hacia el futuro".

LA ATMOSFERA

La atmósfera primitiva, hará unos $4,7 \times 10^6$ años, cuando la tierra se formó, estaba compuesta de metano (CH_4), amonio (NH_3), ácido cianhídrico (NCH) y vapor de agua, la cual con presencia de los rayos ultravioletas, cósmicos, energía térmica de los volcanes, etc. permitió la aparición de la primeras moléculas orgánicas (aminoácidos por ejemplo), según la teoría de Oparin y posteriormente comprobada por Miller en 1953 en la Universidad de Chicago. Estas moléculas lógicamente marcaron la carrera desenfrenada que condujo a las formas de los seres que llamamos vivos.

La atmósfera actual es una mezcla de gases. En base al aire seco los cuatro principales componentes que se hallan hasta los 25 Km de altura son:

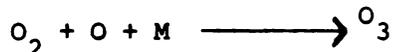
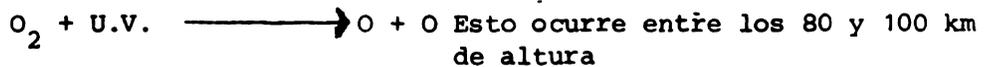
Nitrógeno	78.08%
Oxígeno	20.94%
Argón	0.93%
Dióxido de carbono	<u>0.03%</u> (Variable)
	99.98%

Otros gases presentes son el Helio, Ozono, Hidrógeno, etc. El vapor de agua constituye hasta 4%, en volumen, cerca del suelo, pero está casi ausente arriba de los 12 km.

El ozono se halla entre los 15 y 35 Km pero su máxima concentración está de los 25 a los 30 Km; a pesar de que está presente en pequeñísimas cantidades, él tiene una gran influencia en la atmósfera y en la vida de la tierra: absorbe la radiación ultravioleta. Si éstos no fueran eliminados, el daño en los tejidos vivos sería grave y muchas formas de vida dejarían de existir. Al absorber la radiación ultravioleta, el ozono produce calentamiento en la estratosfera, ayudando así a mantener el balance calórico de la atmósfera.

El ozono se forma en dos fases:

Fase 1:

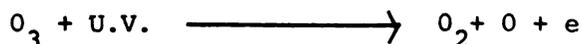


Una tercera partícula (M), que puede ser una molécula de O_2 , se requiere para remover el sobrante de la energía química de recombinación.

Si no ocurrieran estos, el ozono tendría energía de combinación en exceso, desintengrándose rápidamente.

Es interesante anotar que aunque la formación del O ocurre a alturas de 80 a 100 km, la posibilidad de choque entre el O y el O_2 , más M, es muy poca, debido a la baja densidad de la atmósfera a esos niveles. Ello explica porque el O_3 se forma mayormente a los 25 o 30 km de altitud.

Fase 2:



donde (e) representa la liberación de energía, pero en longitud de onda diferente a la radiación U.V.

El calentamiento de la estratosfera es causado básicamente por la primera reacción de la fase 2, en la cual la radiación ultravioleta destruye el O_3 con la liberación de energía (e).

El contenido de ozono es bajo en el ecuador y alto en latitudes situadas por encima de los $50^\circ N$, como resultado de su transporte hacia los polos.

El CO_2 entra en la atmósfera principalmente por la acción de los organismos vivos de la tierra y del agua. La descomposición de elementos orgánicos del suelo y la quema de combustibles fósiles son fuentes secundarias adicionales. Se mantiene el equilibrio por la fotosíntesis, (que absorbe alrededor del 3%) y por la formación de carbonato de calcio en los océanos, utilizado en parte a formar conchas y esqueletos de los animales. El CO_2 absorbe gran cantidad de la radiación terrestre, lo cual significa que un exceso de él haría que la atmósfera almacenase mayores cantidades de energía.

El vapor de agua, otro de los gases de la atmósfera, presenta cantidades variables, su cantidad depende de varios factores, como la evaporación, movimiento de las masas de aire y temperatura. Constituye como promedio de 0,02 a 4,0% por peso de la atmósfera, cerca del suelo. Por arriba de los 12Km se puede considerar que está ausente.

De acuerdo con la distribución de la temperatura, la atmósfera puede dividirse en las siguientes capas:

CAPA	ALTURA, KM	NIVEL DE TRANSICION
Troposfera	0 hasta 11	Tropopausa
Estratosfera	11 hasta 30	Estratopausa
Mesosfera	30 hasta 80	Mesopausa
Ionosfera	80 hasta 640	Ionopausa
Exosfera	más de 640	

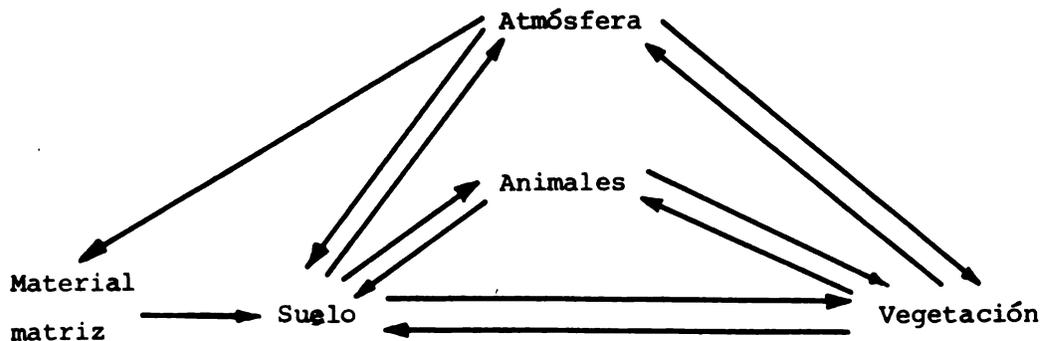
Las capas inferiores son más densas que las superiores. La densidad media en la superficie del suelo es de aproximadamente $1,2 \text{ Kg/M}^3$ y a 5 Km es de $0,7 \text{ Kg/m}^3$, que es el límite altitudinal para la presencia de la vida.

En promedio, la atmósfera ejerce una presión de 760 mm de mercurio, equivalente a un poco más de 1 kg/cm².

La troposfera es la capa de mayor densidad, donde se hallan las nubes y ocurren las tormentas y la formación de rayos. Ella representan más o menos 3/4 del peso total de la atmósfera.

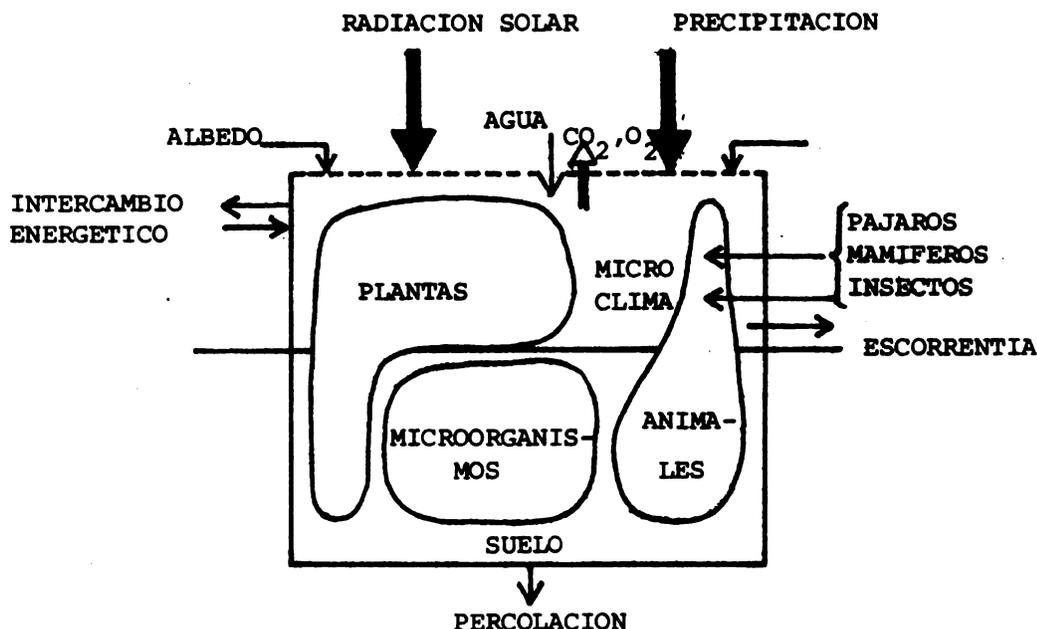
En meteorología, la presión de la atmósfera se mide en milibarios (mb).

La agricultura es la meta. La agrometeorología como cualquiera otra de las ramas científicas, no es más que parte de la estructura científica sobre la cual aparecerán los principios, los conocimientos agrícolas. El olvido de cualquier parte de esta estructura sólo motivará la ausencia del conocimiento pleno de la ciencia. Gráficamente se puede recordar el efecto multidireccional de los distintos grupos en que ha dividido y definido el hombre el ambiente. El ambiente es uno e indivisible; su división es para su estudio y entendimiento. Por ello no se puede dejar ninguno olvidado.



Aunque no debería ser necesario aclararlo, dentro de los animales hay que ubicar al hombre. Su poder de influenciar el medio es bien conocido.

La relación anterior puede verse en un perfil vertical, en la siguiente forma:



Una cosa es clima para sobrevivir y otra es clima para producir. Para sobrevivir las especies necesitan mínimas exigencias del medio, ya que el mecanismo de la evolución les permite adaptarse inclusive a condiciones originalmente precarias; sobrevivir es continuidad a través de la evolución de la especie.

Producir es también sobrevivir pero a través de una evolución orientada por el hombre, tendiente a lograr la producción en cantidades mucho más allá de lo requerido por las especies. Para ello las exigencias del medio son mayores. Cualquier factor del medio no favorable a la especie sólo conduce a una menor producción o al desastre, no de la especie sino de la meta del hombre: producción comercial.

Producir es un arte de explotación de un ser y cuando falla la armonía de factores necesarios para permitir este esfuerzo extra de producción por parte del organismo vivo, sólo aparece la desilusión.

Clima para sobrevivir es descripción, es ecología narrativa, es el agua y energía mínima, comúnmente conocida sólo en una de sus manifestaciones que se le llama temperatura, para continuar existiendo el ser.

Clima para producir es arte, es ciencia. No son mínimos sino óptimos en el óptimo momento. Ya no es sólo cantidad sino ésta en función

del tiempo, donde tiempo adquiere importancia central. Cuándo y no cuánto es la respuesta.

Como arte, sólo pocos podrán producirlo y menos apreciarlo. Pero sin él, producir seguirá siendo una técnica y no una ciencia. La técnica falla, la ciencia no. Puede fallar el concepto científico, producto del cerebro humano, pero jamás la ciencia, verdad de la razón de ser.

LA RADIACION

Todos los cuerpos emiten energía radiante en la forma de ondas electromagnéticas cuando ellos tienen una temperatura sobre los cero grados absolutos. La fuente de esta radiación es el incesante movimiento molecular. Durante la colisión, o más generalmente como resultado de las interacciones entre las moléculas, parte de esa energía es transformada en radiación. Al contrario, la radiación puede ser absorbida por las moléculas y convertida en energía cinética o potencial, elevando la temperatura del cuerpo. La emisión y absorción de la radiación termal está gobernada por la temperatura y la naturaleza de la sustancia emisora absorbente.

La cantidad de energía radiante emitida, transferida o recibida por unidad de tiempo es llamada "flux" (radiante).

Flux es energía por unidad de tiempo. En física se usa el watt y el ergio segundo⁻¹; en meteorología la cal cm⁻² min⁻¹. Una caloría es el calor requerido para aumentar la temperatura de 1 gramo de agua de 14,5 a 15,5°C.

Radiación solar

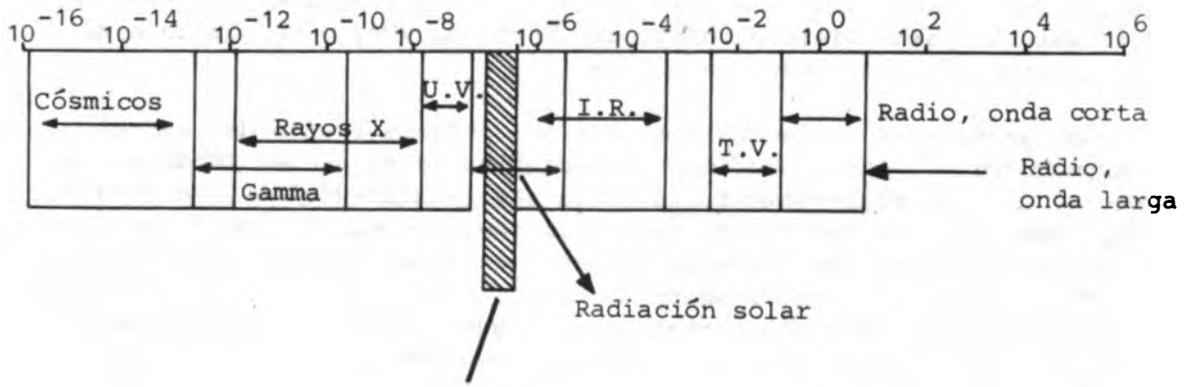
El sol, estrella de 1,280.000 Km de diámetro, tiene una temperatura en la superficie de 6.000°A a excepción de las partes "frías"; su temperatura interior se estima en el 1,000.000°A. Emite continuamente energía, de la cual sólo aproximadamente el 4 x 10⁻¹⁰ es recibida por la tierra. Esta emisión constante, llamada insolación, representa casi la totalidad de la energía de que dispone la tierra; (el resto proviene de la disintegración radioactiva de los minerales terrestres) y la totalidad de la energía que interviene en el proceso fotosintético. Se ha estimado que en la parte externa de la atmósfera, una superficie normal a los rayos solares recibe una energía de 2 cal cm⁻² minuto⁻¹ (± 14 kwm⁻²), cuando la tierra se halla a la distancia promedio del sol. Este valor es lo que se llama constante solar.

Como la tierra es trasladada en una órbita ligeramente elíptica alrededor del sol y como la radiación recibida por un cuerpo es inversamente

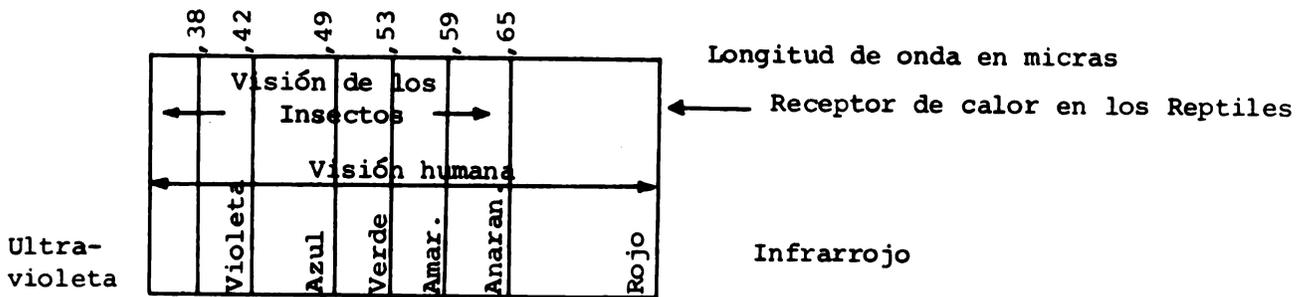
proporcional a la raíz cuadrada de la distancia de la fuente, ocurre una variación en el valor de la constante solar de un 3%, positiva o negativamente, conforme la tierra esté más cerca o lejos del sol respectivamente.

La radiación solar ocupa una pequeña parte del espectro electromagnético, como se puede ver a continuación:

LONGITUD DE ONDA EN METROS



Espectro visible para los animales



U.V. = Ultravioleta

I.R. = INFRARROJO (Receptores de calor)

La distribución en porcentaje de la radiación solar puede estimarse, para las longitudes de onda de:

Menos de 0,4 (ultravioleta) = 9%

de 0,4 a 0,7 (región visible) = 41%

Más de 0,7 (infrarrojo) = 50%

Desde luego que estos valores varían de acuerdo con la altitud solar o ángulo de incidencia de los rayos solares. Así cuando el sol está perpendicular, la parte visible constituye hasta un 49%, pero cuando está a 20° de altitud, ésta se reduce a un 29%.

Los animales sólo pueden detectar una pequeña franja del espectro electromagnético. Las radiaciones detectables se extienden desde la infrarroja, de onda relativamente larga, hasta la ultravioleta, de onda más corta. Las ondas de mayor longitud no tienen propiedades que hagan que los cambios en ellas sean detectados fácilmente por los sistemas biológicos. Por otra parte, los organismos suelen estar protegidos del contacto con ondas de longitudes más cortas, puesto que su alto contenido energético es muy destructivo para los sistemas celulares. Desde luego, no se puede decir categóricamente que ningún organismo sea capaz de distinguir o detectar rayos X, ondas de radio, etc., pero no hay pruebas de la existencia de estas sensibilidades, ni tampoco se ve la necesidad de ellas.

Son dos formas básicas de percepción de la temperatura que poseen los animales: detección de las radiaciones infrarrojas que emanan de los objetos, y la medición directa del calor por contacto físico. La detección de las radiaciones infrarrojas que emanan de objetos calientes está bien desarrollada en algunos reptiles, pero sobre todo en la serpiente de cascabel del Nuevo Mundo. Esta serpiente posee un órgano especializado, la fosa, localizado entre los ojos y las aberturas nasales, que contiene una cavidad recubierta de células nerviosas sensitivas, capaces de reaccionar a las radiaciones infrarrojas. Estas células son tan sensitivas que distinguen objetos cuya diferencia de temperatura apenas alcanza 0,1°C.

Los pitones y boas tienen en los labios fosas semejantes para detectar las ondas infrarrojas.

Energía Solar

La transmisión de energía se realiza sin la intervención de una materia intermedia como portadora de energía, en línea recta y a una velocidad de 300.000 Km por segundo.

Tanto el sol como la tierra se supone que se comportan como cuerpos negros. Los cuerpos negros absorben toda la energía que incide sobre ellos



y a su vez emiten energía proporcional a la cuarta potencia de su temperatura absoluta.

Este principio es definido en la ley Stefan-Boltzmann que dice que:

El total de energía (I) emitido por un cuerpo negro es proporcional a T^4 .

$$I = \overset{\text{sigma}}{\sigma} T^4, \text{ donde}$$

T = temperatura en °K.

$$\sigma = 5,77 \times 10^{-5} \text{ erg cm}^{-2} \text{ seg}^{-1} \text{ }^\circ\text{A}^{-4} \text{ (constante de Stefan-Boltzmann)}$$

$$\sigma = 82 \times 10^{-12} \text{ cal cm}^{-2} \text{ min}^{-1} \text{ }^\circ\text{A}$$

Inclusive si la cantidad de radiación recibida del sol es igual que la emitida por la tierra, de acuerdo con el balance calórico existente, las dos clases de radiación son fundamentalmente diferentes en calidad. La intensidad total de radiación solar (I) es repartida sobre un amplio margen de longitudes de onda. De acuerdo con la ley de Wien, el producto de la temperatura (T) por la longitud de onda correspondiente a la que emite la máxima intensidad de radiación (λ máx) es constante:

$$\lambda \text{ máx } T = 2897 \text{ } \mu\text{m K}$$

donde T es en °K λ máx en micrones (μ)

Sea que:

$$\lambda \text{ máx } = \frac{2897}{T}$$

Así, a más alta sea la temperatura del cuerpo, la máxima intensidad de radiación será desplazada hacia las longitudes de onda corta.

Se establece que la temperatura de la superficie del sol es de 6.000°K, mientras que la de la tierra, 283°K (10°C). Ello quiere decir que de acuerdo con la ley de Wien se tiene:

$$\lambda \text{ máx sol } = \frac{2897}{6000} = ,48\mu$$

$$\lambda \text{ máx tierra } = \frac{2897}{283} = 10 \mu$$

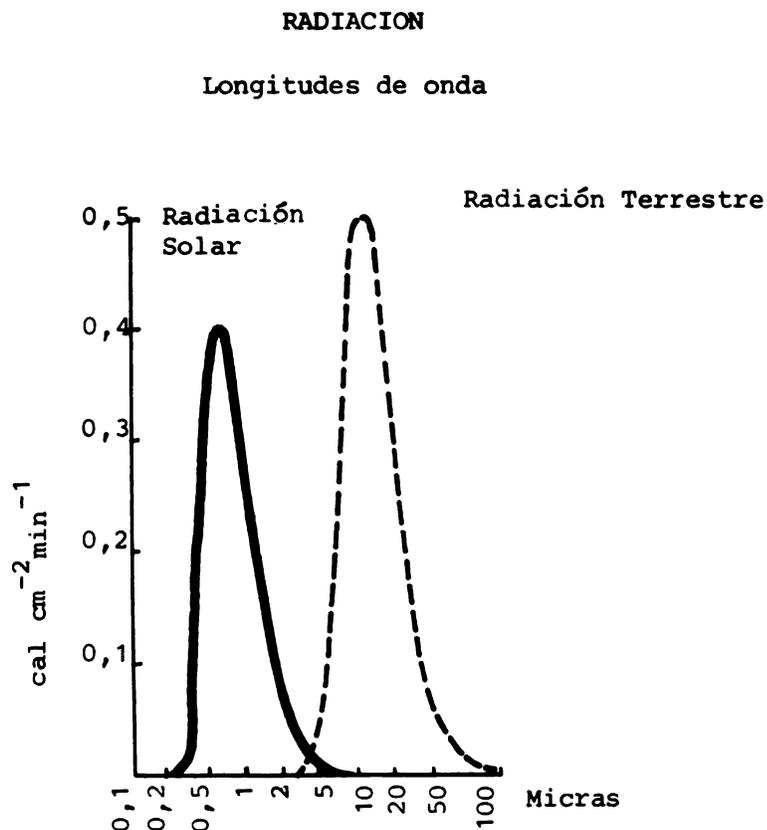
Por lo tanto, la radiación solar es muy intensa, de onda corta en su mayor parte, presentando un máximo en la parte media del espectro de (0.49 μ) mientras que la radiación terrestre, mucho más débil y de onda larga, tiene una máxima intensidad a unas 10 μ , a pesar que la radiación terrestre va desde los 4 hasta las 100 μ . La máxima intensidad (μ máx)

de radiación solar ocurre en el sector azul-verde del espectro visible, mientras que para la tierra en el sector infrarrojo.

La distribución de las intensidades sobre el espectro no es simétrica; el 25% de la radiación total está debajo de la $\lambda_{\text{máx}}$, que corresponde a longitudes de onda corta y el 75% sobre $\lambda_{\text{máx}}$.

Es necesario distinguir entonces entre radiación solar (incluyendo la radiación difusa del cielo) y terrestre; la primera tendrá exclusivamente longitudes de onda entre 0,3 y 2,2 y la segunda, entre 6,8 y 100 λ .

El sector entre 2,2 y 6,8 es usado por la radiación solar y la terrestre, pero constituye menos del 5%, conforme se observa en el siguiente esquema:



Radiación solar = 0,3 a 2,2 μ = O. Corta

Radiación terrestre = 6,8 a 100 μ = O. Larga

De 2,2 a 6,8 μ usado

Por Radiación Terrestre y Solar

(Menos del 5%)

a ✓

FACTORES QUE AFECTAN LA RADIACION SOLAR

La atmósfera

La radiación, tanto solar como terrestre, es afectada por la atmósfera por medio de fenómenos como absorción, reflexión, dispersión, etc.

Transmisión. Es el paso de las ondas electromagnéticas a través de una sustancia. La mayoría de las sustancias tienen un poder selectivo de transmisión. Ejemplo: el vidrio admite la luz solar (onda corta) pero no transmite las ondas largas que se originan en el cuarto.

Absorción. Es la parte de la energía radiante que entra a una sustancia pero que no es "transmitida". Aquí la energía radiante cambia a otra forma de energía, a menudo calor.

Transmisión selectiva implica absorción selectiva en la cual deben distinguirse los 3 hechos siguientes:

- Los rayos ultravioleta son casi enteramente absorbidos por el ozono;
- La atmósfera se deja atravesar fácilmente por las radiaciones de onda mayor (rojo, anaranjado y amarillo) pero difícilmente por las de onda menor (violeta y azul);
- Las radiaciones de onda larga (radiaciones terrestres) son absorbidas en forma variable, dependiendo del contenido de vapor de agua y CO₂.

Reflexión. Son las ondas que alcanzando una superficie, son reflejadas, es decir, "regresadas" sin entrar en la sustancia o cuerpo. El único resultado es el cambio de dirección en el movimiento de las ondas.

La reflexión puede ser regular (de un espejo u otra superficie lisa) o difusa (del suelo). Motiva lo que se llama albedo.

Albedo. Relación entre los rayos de luz reflejados de una superficie con el total de rayos que llegan a la superficie.

El albedo de la Tierra {
Mayor en los polos
Menor en el trópico
Promedio ≈ 34%

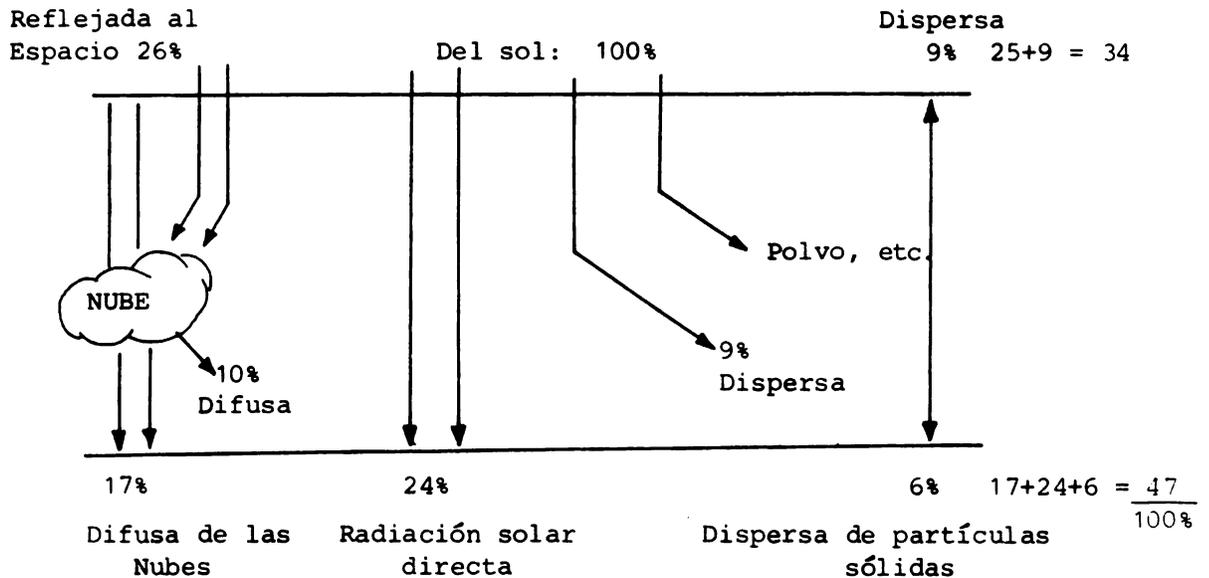
El albedo es mayor en las nubes que en el suelo, dando 55% y 10% respectivamente. El bosque tiene un albedo de 10%.

Dispersión. Es un fenómeno parecido a la reflexión, diferenciándose de ésta en que la radiación modifica sus caracteres al ser devuelta o desviada. Los rayos luminosos son dispersados por las moléculas del aire, en la alta atmósfera. Los rayos luminosos de onda más corta, violeta y azul, son más fácilmente dispersados, dando así el color azulado al cielo.

Los demás rayos luminosos (rojo, anaranjado, amarillo) llegan directamente al suelo, dado que casi no son dispersados por las moléculas de los gases del aire. Sin embargo, su dispersión suele notarse cuando deben atravesar un espesor de atmósfera de considerable magnitud, por ejemplo, en los crepúsculos; en estos casos el cielo presenta un color que va del amarillo al rojo intenso.

La reflexión y dispersión de los rayos solares originan lo que en conjunto se llama luz o radiación difusa.

En general el comportamiento de la radiación solar es el siguiente:



Así: Llega al suelo: 47%
 Retiene la atmósfera: 19%
 Regresa: 34%: 100%

El O_2 y el N_2 son prácticamente transparentes a los rayos del sol. La absorción que ocurre en la atmósfera se debe al vapor de agua, CO_2 , O_3 y partículas sólidas.

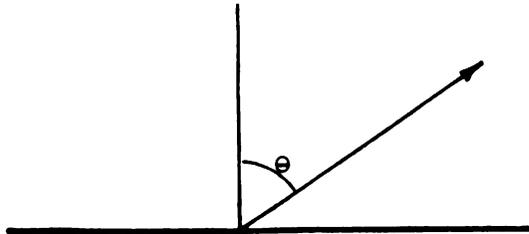
El CO_2 absorbe las longitudes de onda larga que corresponden a los rayos calóricos o infrarrojos.

La mayor parte de la absorción por los gases de la atmósfera la realiza el vapor de agua, el cual absorbe la mayor parte de la radiación de onda larga, actuando así como una trampa que conserva la energía recibida del sol.

Partículas sólidas (polvo, humo) en el aire absorben y reflejan, pero extremadamente cantidades variables de radiación solar. Las partes altas de las montañas están sobre los niveles de polvo y humedad del aire y en consecuencia hay poca absorción por el aire encima de esas partes altas de las montañas. Así, el aire se mantiene frío, pero los rayos del sol tienen todavía mucha energía para ser absorbida por los objetos.

Angulo de incidencia

La ley de LAMBERT establece que la intensidad de radiación (I_0) emitida desde la superficie de un cuerpo, con una dirección cuyo ángulo es θ con respecto a la normal de la superficie, es proporcional a $\cos \theta$



$$I_{\theta} = I_0 \cos \theta$$

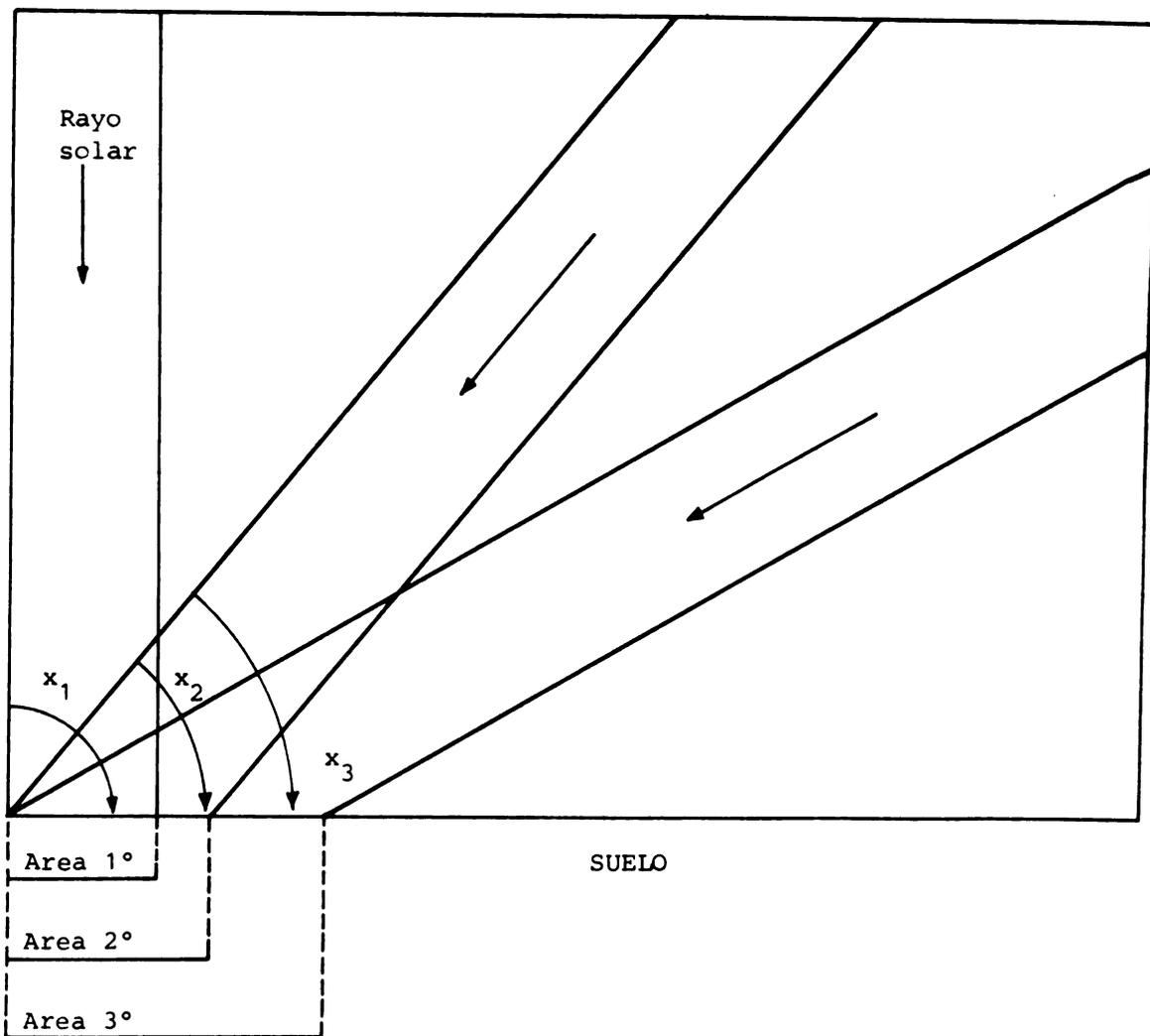
Se tiene el ángulo de incidencia "horario", que es el formado por la vertical y los rayos solares de acuerdo a la hora del día, para un lugar dado. El ángulo de incidencia también se refiere al formado por los rayos solares que inciden en un lugar con relación a los rayos verticales.

El efecto del sol en el horizonte es débil no sólo por la dispersión, sino también y especialmente por la pérdida al pasar por una masa más larga.

I_0 = intensidad de radiación cuando la superficie es perpendicular a la radiación.

Gráficamente ésto puede ser representado de la siguiente manera, de acuerdo al ángulo de elevación del sol.

$I = I_0$, cuando el ángulo θ es cero, pues $\cos \theta$ de $0 = 1,0$.



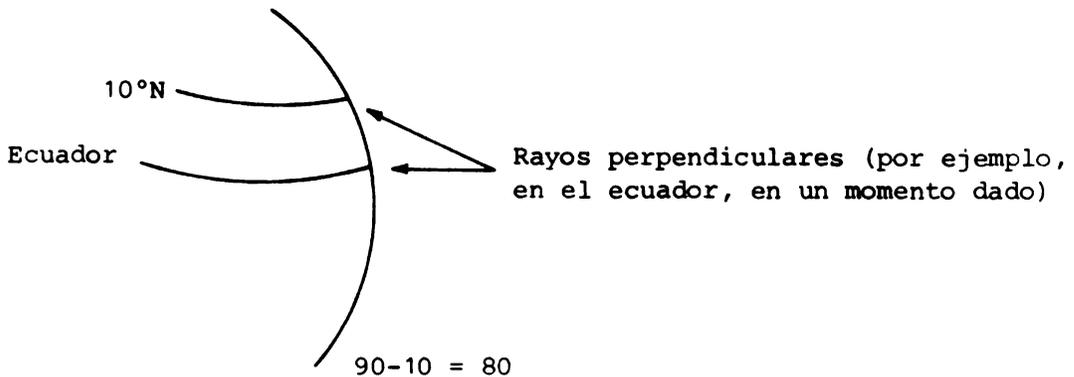
El ángulo de elevación del sol produce cambios en la cantidad de energía recibida. En consecuencia una superficie recibe más rayos cuando caen perpendicularmente.

Cuando la elevación del sol es menor (X_2 y X_3 en el gráfico), sus rayos cubren una área mayor (A_2 y A_3) y por lo tanto la energía por unidad de superficie es menor.

El ángulo de incidencia es función de la latitud. Es definido como el ángulo formado por la latitud del lugar considerado, con respecto a la latitud donde los rayos del sol caen perpendicularmente. Se calcula así:

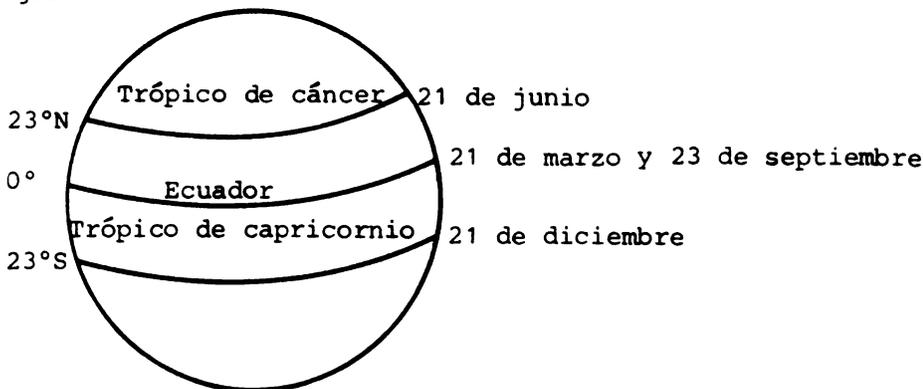
$$\left[\text{Angulo de incidencia (para un lugar determinado)} \right] = \left[\text{latitud en grados del lugar MENOS latitud en grados donde los rayos del sol están verticales} \right]$$

Ejemplo:



El ángulo de incidencia determina no solo la intensidad de radiación que llega al suelo, sino que además, conforme aumenta la inclinación de los rayos, la distancia que ellos tienen que recorrer aumenta y a mayor sea la distancia más grande será la absorción y difusión en el aire, especialmente en las capas inferiores.

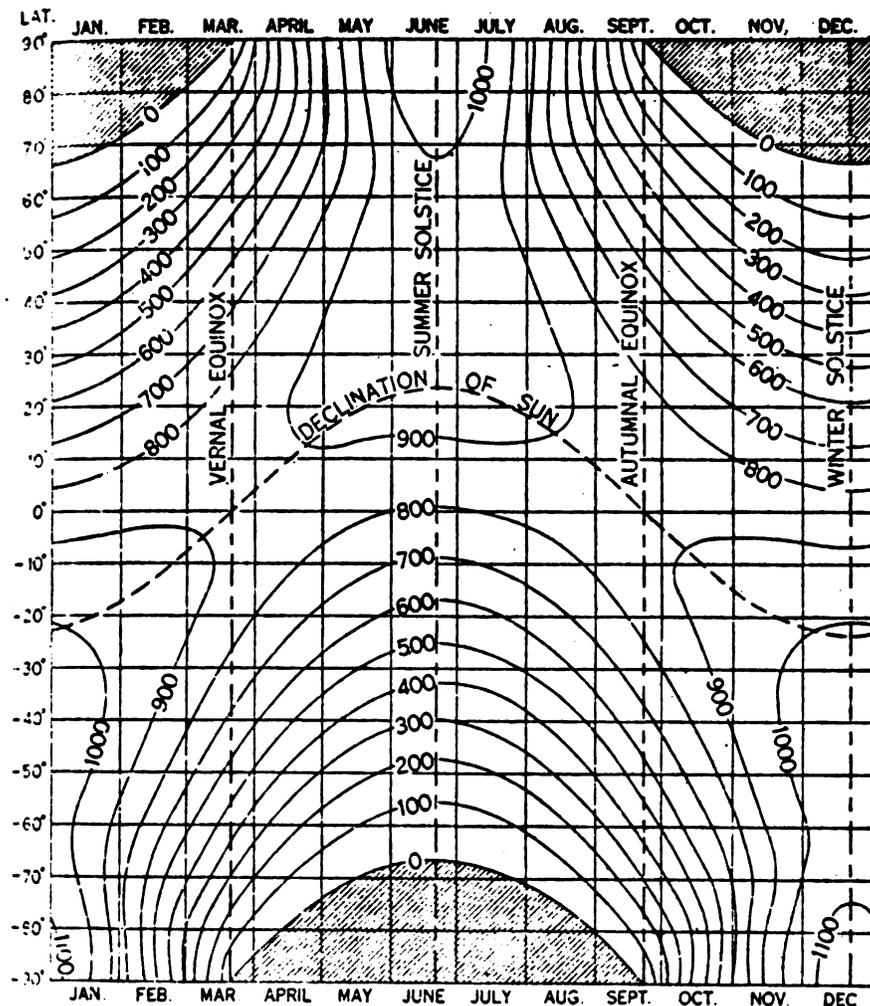
Se tiene más radiación cuando los rayos inciden verticalmente sobre el lugar, a medio día. Los rayos inciden verticalmente en Costa Rica (latitud 10 N) el 18 de abril y 28 de agosto aproximadamente. En el siguiente gráfico se pueden observar las fechas en que el sol está sobre diferentes lugares.



En el gráfico siguiente se puede observar el lugar en que los rayos del sol inciden verticalmente, a través del año.

CHART OF THE TOTAL DAILY SOLAR RADIATION AT THE TOP OF THE ATMOSPHERE

The solar constant J_0 is assumed to be $1.94 \text{ cal. cm.}^{-2} \text{ min.}^{-1}$
The solid curves represent total daily solar radiation on a horizontal surface at the top of the atmosphere, measured in cal. cm.^{-2} . Shaded areas represent regions of continuous darkness.



Duración del día

La longitud del día también afecta la cantidad de insolación recibida.

En junio 21 el sol está verticalmente sobre el trópico de cáncer al mediodía y tiene su elevación más grande al mediodía para todas las latitudes al norte del trópico y sus más pequeñas elevaciones al mediodía para los puntos al sur de él (SOLSTICIO de verano para el hemisferio norte).

En diciembre 21 la posición de los hemisferios es la inversa y el sol al mediodía está encima del trópico de capricornio (SOLSTICIO de invierno para el hemisferio norte).

El trópico de cáncer se halla a los 23° 27' de latitud norte y el de capricornio a los 23° 27' de latitud sur. Los equinoccios, épocas en que los dos polos de la tierra se encuentran a igual distancia del sol, ocurren en marzo 21 y setiembre 23. Aquí los días son de igual duración que la noche.

Para el hemisferio norte se define la duración del día en el siguiente cuadro.

Longitud del día. Hemisferio Norte.

En horas y minutos

Día En. del mes	Jan.	Feb.	Mar.	Ab.	Mayo	Jun.	Jul.	Ag.	Set.	Oct.	Nov.	Dic.
<u>Latitude 0°</u>												
1	12 07	12 07	12 07	12 06	12 06	12 07	12 07	12 07	12 06	12 05	12 07	12 08
2	12 07	12 07	12 07	12 07	12 07	12 07	12 07	12 06	12 07	12 07	12 07	12 07
3	12 07	12 07	12 07	12 07	12 07	12 08	12 07	12 07	12 07	12 07	12 07	12 07
4	12 07	12 07	12 07	12 07	12 07	12 08	12 07	12 06	12 06	12 07	12 07	12 07
5	12 07	12 07	12 07	12 07	12 07	12 07	12 08	12 06	12 07	12 07	12 08	12 08
6	12 07	12 07	12 06	12 06	12 07	12 07	12 07	12 05	12 06	12 07	12 07	12 07
7	12 07	12 07	12 06	12 06	12 07	12 07	12 07	12 05	12 06	12 07	12 08	12 08
8	12 07	12 07	12 06	12 07	12 07	12 07	12 07	12 06	12 07	12 07	12 07	12 08
<u>Latitude 5° N.</u>												
1	11 51	11 55	12 01	12 10	12 18	12 24	12 24	12 20	12 12	12 04	11 57	11 52
2	11 51	11 56	12 03	12 11	12 19	12 24	12 25	12 20	12 11	12 03	11 55	11 51
3	11 51	11 57	12 03	12 12	12 19	12 24	12 24	12 19	12 11	12 02	11 55	11 51
4	11 52	11 57	12 05	12 13	12 21	12 24	12 23	12 18	12 10	12 01	11 54	11 50
5	11 52	11 58	12 05	12 14	12 21	12 25	12 23	12 16	12 09	12 01	11 54	11 50
6	11 53	11 59	12 07	12 15	12 22	12 25	12 22	12 16	12 07	11 59	11 52	11 50
7	11 53	12 00	12 08	12 16	12 22	12 25	12 21	12 14	12 06	11 58	11 52	11 50
8	11 54	12 01	12 09	12 17	12 23	12 25	12 21	12 14	12 05	11 57	11 51	11 50
<u>Latitude 10° N.</u>												
1	11 33	11 42	11 56	12 14	12 29	12 40	12 42	12 33	12 18	12 02	11 47	11 36
2	11 33	11 44	11 58	12 16	12 31	12 41	12 41	12 32	12 16	12 00	11 45	11 35
3	11 35	11 45	12 00	12 18	12 33	12 42	12 40	12 30	12 14	11 58	11 42	11 33
4	11 36	11 49	12 03	12 20	12 34	12 42	12 40	12 28	12 12	11 56	11 41	11 33
5	11 37	11 50	12 05	12 22	12 35	12 42	12 38	12 26	12 09	11 53	11 40	11 32
6	11 39	11 52	12 07	12 24	12 37	12 43	12 37	12 24	12 08	11 51	11 38	11 32
7	11 39	11 54	12 09	12 26	12 38	12 43	12 36	12 22	12 05	11 50	11 36	11 32
8	11 41	11 56	12 12	12 27	12 39	12 43	12 35	12 20	12 03	11 48	11 36	11 33

continúa....

Día del mes	En. h.m	Feb. h.m	Mar. h.m	Ab. h.m	Mayo h.m	Jun. h.m	Jul. h.m	Ag. h.m	Set. h.m	Oct. h.m	Nov. h.m	Dic. h.m
-------------	---------	----------	----------	---------	----------	----------	----------	---------	----------	----------	----------	----------

Latitude 15° N.

1	11 15	11 30	11 51	12 16	12 40	12 58	13 00	12 47	12 24	12 00	11 35	11 18
5	11 17	11 32	11 54	12 20	12 43	12 59	12 59	12 44	12 21	11 57	11 33	11 17
9	11 18	11 35	11 57	12 23	12 45	12 00	12 58	12 42	12 18	11 53	11 30	11 16
13	11 19	11 38	12 01	12 27	12 49	13 00	12 57	12 39	12 15	11 50	11 27	11 15
17	11 21	11 41	12 04	12 30	12 51	13 01	12 56	12 36	12 11	11 47	11 25	11 14
21	11 23	11 44	12 07	12 33	12 53	13 01	12 53	12 34	12 08	11 43	11 23	11 14
25	11 25	11 47	12 11	12 36	12 54	13 01	12 51	12 30	12 05	11 40	11 21	11 14
29	11 27	11 51	12 14	12 39	12 57	13 01	12 49	12 27	12 02	11 38	11 19	11 15

Latitude 20° N.

1	10 57	11 16	11 45	12 20	12 52	13 16	13 19	13 02	12 32	11 57	11 25	11 00
5	10 59	11 20	11 49	12 25	12 56	13 17	13 19	12 58	12 27	11 55	11 21	10 59
9	11 00	11 23	11 54	12 30	13 00	13 19	13 16	12 55	12 23	11 49	11 17	10 57
13	11 02	11 27	11 59	12 34	13 03	13 20	13 15	12 51	12 18	11 44	11 13	10 56
17	11 05	11 32	12 03	12 38	13 07	13 20	13 12	12 48	12 13	11 40	11 10	10 56
21	11 07	11 36	12 07	12 42	13 09	13 21	13 10	12 42	12 08	11 35	11 07	10 55
25	11 11	11 41	12 12	12 46	13 12	13 21	13 07	12 38	12 05	11 32	11 04	10 56
29	11 13	11 45	12 17	12 51	13 14	13 20	13 05	12 34	12 00	11 27	11 02	10 56

Latitude 25° N.

1	10 37	11 02	11 39	12 24	13 05	13 35	13 40	13 18	12 38	11 55	11 13	10 42
5	10 39	11 07	11 45	12 30	13 10	13 37	13 39	13 13	12 33	11 49	11 07	10 39
9	10 41	11 11	11 50	12 36	13 15	13 40	13 36	13 09	12 27	11 44	11 03	10 38
13	10 44	11 17	11 56	12 42	13 19	13 40	13 35	13 04	12 22	11 38	10 58	10 36
17	10 47	11 22	12 02	12 47	13 23	13 42	13 32	12 58	12 15	11 33	10 54	10 36
21	10 51	11 28	12 09	12 52	13 27	13 41	13 28	12 54	12 10	11 27	10 50	10 35
25	10 55	11 33	12 14	12 58	13 30	13 41	13 25	12 48	12 04	11 22	10 46	10 36
29	10 59	11 39	12 20	13 03	13 33	13 41	13 21	12 42	11 58	11 16	10 44	10 36

Latitude 30° N.

1	10 15	10 46	11 33	12 29	13 20	13 57	14 03	13 34	12 46	11 53	10 59	10 22
5	10 17	10 53	11 40	12 36	13 26	13 59	14 01	13 29	12 39	11 45	10 53	10 19
9	10 21	10 59	11 47	12 43	13 31	14 02	13 58	13 23	12 32	11 38	10 48	10 16
13	10 24	11 05	11 54	12 50	13 37	14 04	13 55	13 17	12 25	11 32	10 42	10 14
17	10 27	11 12	12 02	12 57	13 42	14 04	13 52	13 11	12 18	11 25	10 36	10 14
21	10 33	11 18	12 09	13 04	13 47	14 05	13 48	13 04	12 10	11 17	10 32	10 12
25	10 37	11 25	12 16	13 10	13 50	14 05	13 43	12 58	12 03	11 11	10 28	10 13
29	10 43	11 33	12 24	13 17	13 55	14 03	13 39	12 51	11 56	11 05	10 24	10 14

Latitude 35° N.

1	09 51	10 30	11 26	12 34	13 35	14 21	14 29	13 54	12 55	11 50	10 45	10 00
5	09 53	10 37	11 34	12 42	13 43	14 25	14 27	13 47	12 47	11 41	10 37	09 55
9	09 57	10 45	11 44	12 52	13 50	14 27	14 24	13 40	12 38	11 32	10 31	09 52
13	10 02	10 53	11 52	13 00	13 57	14 30	14 19	13 33	12 29	11 24	10 24	09 50
17	10 06	11 01	12 01	13 08	14 03	14 30	14 16	13 25	12 21	11 16	10 18	09 48
21	10 11	11 08	12 09	13 16	14 09	14 31	14 10	13 16	12 12	11 07	10 11	09 48
25	10 17	11 17	12 19	13 24	14 14	14 31	14 05	13 09	12 03	11 00	10 06	09 48
29	10 25	11 26	12 27	13 32	14 19	14 29	13 59	13 01	11 54	10 51	10 01	09 50

Latitude 40° N.

1	09 23	10 10	11 18	12 39	13 54	14 49	14 58	14 16	13 05	11 47	10 29	09 33
5	09 27	10 19	11 28	12 50	14 02	14 53	14 55	14 08	12 55	11 36	10 20	09 29
9	09 31	10 28	11 38	13 00	14 11	14 57	14 52	14 00	12 44	11 26	10 11	09 25
13	09 36	10 37	11 50	13 10	14 19	15 00	14 47	13 51	12 34	11 16	10 03	09 22
17	09 42	10 47	12 00	13 20	14 27	15 00	14 42	13 41	12 24	11 06	09 55	09 20
21	09 49	10 58	12 11	13 30	14 34	15 01	14 36	13 32	12 13	10 55	09 48	09 20
25	09 56	11 07	12 21	13 40	14 40	15 01	14 29	13 22	12 03	10 46	09 42	09 20
29	10 03	11 18	12 32	13 49	14 45	14 59	14 22	13 13	11 52	10 37	09 35	09 22

continúa.....

Día En. Feb. Mar. Ab. Mayo Jun. Jul. Ag. Set. Oct. Nov. Dic.
del
mes h.m. h.m.

Latitude 42° N.

1	09 11	10 02	11 14	12 42	14 02	15 02	15 11	14 26	13 09	11 45	10 22	09 22
5	09 15	10 11	11 26	12 53	14 12	15 07	15 09	14 17	12 56	11 34	10 13	09 17
9	09 19	10 21	11 36	13 04	14 21	15 10	15 04	14 08	12 48	11 24	10 03	09 13
13	09 24	10 31	11 48	13 16	14 29	15 12	14 59	13 59	12 36	11 12	09 54	09 10
17	09 31	10 41	12 00	13 26	14 37	15 14	14 54	13 49	12 25	11 02	09 46	09 08
21	09 39	10 52	12 11	13 37	14 45	15 15	14 48	13 38	12 45	10 51	09 38	09 17
25	09 46	11 03	12 23	13 47	14 52	15 15	14 40	13 28	12 03	10 40	09 30	09 08
29	09 55	11 14	12 34	13 57	14 57	15 13	14 32	13 17	11 52	10 29	09 24	09 09

Latitude 44° N.

1	08 56	09 52	11 10	12 45	14 11	15 16	15 26	14 36	13 14	11 45	10 15	09 09
5	09 01	10 03	11 22	12 57	14 21	15 21	15 23	14 27	13 02	11 32	10 04	09 03
9	09 06	10 13	11 34	13 08	14 31	15 24	15 18	14 17	12 50	11 20	09 54	08 58
13	09 12	10 24	11 46	13 20	14 40	15 28	15 13	14 07	12 39	11 08	09 44	08 58
17	09 19	10 35	11 59	13 32	14 49	15 29	15 07	13 56	12 26	10 57	09 35	08 54
21	09 27	10 47	12 11	13 44	14 47	15 29	15 00	13 45	12 14	10 45	09 27	08 53
25	09 35	10 59	12 23	13 55	15 04	15 29	14 52	13 34	12 03	10 34	09 19	08 52
29	09 45	11 10	12 36	14 06	15 11	15 27	14 44	13 23	11 50	10 23	09 12	08 51

Latitude 46° N.

1	08 43	09 42	11 06	12 47	14 21	15 30	15 41	14 48	13 19	11 43	10 07	08 51
5	08 47	09 53	11 20	13 00	14 31	15 35	15 38	14 37	13 06	11 30	09 55	08 49
9	08 53	10 05	11 32	13 14	14 42	15 40	15 34	14 27	12 54	11 16	09 44	08 48
13	09 00	10 17	11 46	13 26	14 52	15 42	15 27	14 15	12 41	11 04	09 34	08 47
17	09 07	10 29	11 58	13 38	15 01	15 44	15 21	14 05	12 28	10 52	09 24	08 47
21	09 15	10 42	12 12	13 51	15 10	15 45	15 13	13 53	12 15	10 39	09 15	08 46
25	09 25	10 53	12 25	14 03	15 18	15 45	15 04	13 41	12 02	10 27	09 06	08 45
29	09 35	11 06	12 38	14 14	15 25	15 43	14 56	13 29	11 50	10 15	08 59	08 44

Latitude 48° N.

1	08 27	09 32	11 02	12 51	14 31	15 46	15 59	15 00	13 25	11 41	09 57	08 40
5	08 32	09 43	11 16	13 05	14 42	15 52	15 55	14 49	13 11	11 28	09 45	08 35
9	08 38	09 56	11 30	13 18	14 54	15 57	15 50	14 38	12 57	11 14	09 33	08 29
13	08 44	10 09	11 44	13 32	15 05	16 00	15 43	14 25	12 43	11 00	09 22	08 26
17	08 53	10 21	11 58	13 46	15 15	16 02	15 36	14 13	12 30	10 46	09 12	08 23
21	09 02	10 35	12 12	13 59	15 24	16 03	15 28	14 01	12 16	10 33	09 02	08 22
25	09 12	10 49	12 27	14 11	15 33	16 03	15 18	13 47	12 02	10 20	08 52	08 22
29	09 23	11 02	12 40	14 24	15 41	16 00	15 08	13 35	11 48	10 07	08 44	08 24

Latitude 50° N.

1	08 10	09 20	10 53	12 55	14 41	16 04	16 18	15 14	13 31	11 39	09 48	08 24
5	08 15	09 33	11 12	13 09	14 54	16 11	16 13	15 03	13 16	11 24	09 35	08 17
9	08 21	09 46	11 28	13 24	15 07	16 16	16 08	14 50	13 01	11 10	09 22	08 12
13	08 30	10 00	11 42	13 38	15 19	16 20	16 01	14 37	12 47	10 56	09 10	08 08
17	08 38	10 15	11 58	13 53	15 30	16 22	15 53	14 23	12 32	10 40	08 58	08 06
21	08 48	10 28	12 13	14 07	15 40	16 23	15 44	14 09	12 17	10 26	08 47	08 04
25	08 59	10 43	12 28	14 21	15 50	16 21	15 34	13 55	12 02	10 12	08 38	08 05
29	09 11	10 58	12 43	14 34	15 59	16 20	15 22	13 41	11 47	09 59	08 29	08 07

Latitude 52° N.

1	07 51	09 08	10 52	12 57	14 53	16 24	16 39	15 29	13 37	11 38	09 38	08 07
5	07 56	09 21	11 09	13 14	15 08	16 31	16 34	15 16	13 21	11 22	09 23	07 59
9	08 03	09 36	11 25	13 30	15 22	16 37	16 28	15 02	13 05	11 06	09 09	07 53
13	08 12	09 51	11 42	13 46	15 34	16 41	16 21	14 48	12 49	10 50	08 56	07 48
17	08 21	10 05	11 58	14 01	15 46	16 43	15 11	14 33	12 34	10 34	08 43	07 46
21	08 33	10 21	12 14	14 17	15 58	16 44	15 02	14 19	12 17	10 19	08 32	07 44
25	08 45	10 37	12 29	14 31	16 09	16 43	15 50	14 03	12 02	10 04	08 21	07 46
29	08 57	10 52	12 45	14 46	16 18	16 41	15 38	13 48	11 45	09 49	08 12	07 48

Día del mes	En. h.m.	Feb. h.m.	Mar. h.m.	Ab. h.m.	Mayo h.m.	Jun. h.m.	Jul. h.m.	Ag. h.m.	Set. h.m.	Oct. h.m.	Nov. h.m.	Dic. h.m.
Latitude 54° N.												
1	07 29	08 53	10 48	13 02	15 07	16 46	17 03	15 46	13 43	11 36	09 26	07 47
5	07 35	09 09	11 04	13 19	15 23	16 54	16 58	15 31	13 27	11 18	09 11	07 39
9	07 43	09 24	11 22	13 36	15 38	17 01	16 51	15 16	13 10	11 02	08 55	07 32
13	07 52	09 40	11 40	13 53	15 52	17 05	16 43	15 01	12 53	10 44	08 40	07 26
17	08 03	09 57	11 56	14 10	16 05	17 08	16 33	14 45	12 36	10 28	08 27	07 24
21	08 15	10 14	12 14	14 27	16 18	17 09	16 22	14 29	12 19	10 11	08 15	07 22
25	08 28	10 30	12 31	14 43	16 29	17 08	16 10	14 13	12 02	09 55	08 02	07 23
29	08 42	10 48	12 49	15 00	16 39	17 06	15 56	13 56	11 44	09 38	07 52	07 26
Latitude 56° N.												
1	07 05	08 38	10 42	13 07	15 22	17 12	17 31	16 05	13 51	11 34	09 14	07 24
5	07 11	08 53	11 00	13 25	15 39	17 21	17 25	15 49	13 34	11 16	08 56	07 15
9	07 20	09 11	11 19	13 43	15 56	17 28	17 17	15 32	13 15	10 57	08 40	07 07
13	07 30	09 29	11 38	14 02	16 11	17 33	17 08	15 16	12 57	10 38	08 24	07 02
17	07 43	09 47	11 56	14 20	16 26	17 36	16 57	14 59	12 38	10 20	08 09	06 58
21	07 56	10 05	12 15	14 39	16 40	17 37	16 44	14 41	12 19	10 02	07 55	06 57
25	08 10	10 23	12 34	14 56	16 53	17 37	15 31	14 23	12 01	09 44	07 42	06 58
29	08 25	10 42	12 53	15 14	17 04	17 34	16 16	14 05	11 43	09 27	07 30	07 00
Latitude 58° N.												
1	06 36	08 20	10 35	13 11	15 39	17 42	18 03	16 27	14 00	11 31	08 59	06 58
5	06 44	08 37	10 55	13 31	15 57	17 52	17 56	16 09	13 40	11 12	08 41	06 49
9	06 53	08 56	11 15	13 51	16 16	18 01	17 47	15 51	13 21	10 52	08 23	06 39
13	07 06	09 16	11 36	14 11	16 34	18 06	17 37	15 32	13 01	10 32	08 04	06 33
17	07 19	09 35	11 56	14 31	16 50	18 10	17 25	15 13	12 41	10 12	07 48	06 29
21	07 33	09 55	12 16	14 51	17 05	18 11	17 10	14 54	12 21	09 52	07 33	06 27
25	07 49	10 15	12 36	15 11	17 19	18 10	16 55	14 35	12 01	09 33	07 18	06 28
29	08 07	10 35	12 57	15 30	17 33	18 06	16 39	14 15	11 41	09 13	07 05	06 32
Latitude 60° N.												
1	06 03	08 00	10 28	13 17	15 58	18 17	18 45	16 51	14 10	11 28	08 43	06 28
5	06 11	08 19	10 49	13 39	16 19	18 30	18 36	16 32	13 48	11 07	08 23	06 17
9	06 23	08 40	11 11	14 01	16 39	18 39	18 25	16 11	13 27	10 46	08 03	06 00
13	06 36	09 01	11 33	14 23	16 59	18 46	18 12	15 50	13 06	10 24	07 44	05 58
17	06 51	09 23	11 55	14 45	17 18	18 50	17 57	15 30	12 44	10 02	07 24	05 54
21	07 08	09 44	12 18	15 05	17 35	18 53	17 41	15 09	12 23	09 41	07 07	05 52
25	07 26	10 06	12 39	15 27	17 52	18 51	17 24	14 48	12 01	09 20	06 50	05 53
29	07 45	10 28	13 01	15 48	18 08	18 46	17 05	14 26	11 39	08 59	06 35	05 57
Latitude 61° N.												
1	05 43	07 48	10 24	13 20	16 10	18 39	19 07	17 05	14 16	11 27	08 34	06 11
5	05 53	08 09	10 46	13 43	16 31	18 52	18 58	16 44	13 54	11 05	08 12	05 58
9	06 05	08 31	11 09	14 05	16 53	19 03	18 47	16 23	13 31	10 42	07 51	05 47
13	06 20	08 53	11 32	14 29	17 14	19 10	18 32	16 02	13 08	10 20	07 30	05 39
17	06 35	09 15	11 55	14 51	17 34	19 16	18 16	15 39	12 46	09 58	07 11	05 34
21	06 53	09 38	12 18	15 13	17 53	19 17	17 59	15 17	12 23	09 35	05 53	05 31
25	07 12	10 01	12 40	15 36	18 11	19 15	17 41	14 55	12 01	09 13	06 34	05 33
29	07 33	10 24	13 03	15 59	18 28	19 10	17 21	14 32	11 39	08 51	06 18	05 37
Latitude 62° N.												
1	05 21	07 36	10 19	13 24	16 21	19 03	19 34	17 21	14 22	11 26	08 24	05 52
5	05 32	07 59	10 43	13 47	16 44	19 16	19 24	16 58	13 58	11 02	08 02	05 57
9	05 45	08 22	11 07	14 11	17 07	19 29	19 11	16 35	13 35	10 39	07 39	05 26
13	06 00	08 44	11 31	14 35	17 29	19 38	18 55	16 12	13 11	10 15	07 18	05 18
17	06 19	09 08	11 54	14 59	17 51	19 44	18 38	15 50	12 48	09 52	06 57	05 11
21	06 38	09 32	12 18	15 22	18 11	19 45	18 19	15 26	12 25	09 28	06 37	05 09
25	06 58	09 56	12 42	15 46	18 32	19 43	17 59	15 03	12 00	09 05	06 17	05 10
29	07 19	10 19	13 06	16 09	18 50	19 38	17 37	14 39	11 37	08 42	06 00	05 15

Día En. Feb. Mar. Ab. Mayo Jun. Jul. Ag. Set. Oct. Nov. Dic.
 del
 mes h.m. h.m.

Latitude 63° N.

1	04 56	07 22	10 14	13 27	16 34	19 29	20 06	17 37	14 28	11 24	08 14	05 30
5	05 08	07 47	10 39	13 52	16 58	19 46	19 54	17 14	14 03	11 00	07 50	05 15
9	05 23	08 11	11 05	14 17	17 23	20 00	19 39	16 49	13 39	10 35	07 27	05 02
13	05 40	08 36	11 29	14 41	17 47	20 11	19 21	16 25	13 14	10 11	07 04	04 52
17	05 59	09 00	11 54	15 07	18 11	20 16	19 02	16 00	12 50	09 46	06 41	04 45
21	06 20	09 25	12 19	15 32	18 33	20 19	18 40	15 36	12 25	09 22	06 19	04 41
25	06 42	09 50	12 44	15 56	18 54	20 17	18 18	15 11	12 00	08 57	05 58	04 44
29	07 05	10 14	13 08	16 21	19 15	20 10	17 55	14 46	11 37	08 33	05 40	04 40

Latitude 64° N.

1	04 28	07 08	10 10	13 31	16 48	20 01	20 46	17 56	14 34	11 22	08 03	05 06
5	04 41	07 33	10 36	13 57	17 14	20 21	20 31	17 30	14 09	10 57	07 38	04 44
9	04 57	08 00	11 01	14 23	17 41	20 38	20 12	17 04	13 43	10 31	07 13	04 39
13	05 17	08 26	11 27	14 49	18 07	20 51	19 51	16 38	13 18	10 05	06 48	04 35
17	05 39	08 51	11 54	15 15	18 33	20 59	19 30	16 12	12 52	09 40	06 23	04 31
21	06 01	09 17	12 20	15 42	18 57	21 01	19 06	15 46	12 26	09 14	05 59	04 27
25	06 24	09 44	12 46	16 08	19 22	20 59	18 41	15 20	12 00	08 48	05 37	04 23
29	06 49	10 10	13 12	16 35	19 45	20 51	18 15	14 54	11 35	08 22	05 16	04 19

Latitude 65° N.

1	03 54	06 52	10 04	13 35	17 03	20 40	21 38	18 17	14 42	11 20	07 51	04 53
5	04 09	07 19	10 32	14 02	17 32	21 05	21 18	17 49	14 15	10 54	07 24	04 47
9	04 29	07 47	10 59	14 30	18 00	21 28	20 55	17 21	13 47	10 27	06 57	04 41
13	04 50	08 14	11 26	14 57	18 29	21 46	20 29	16 53	13 20	10 00	06 30	03 35
17	05 15	08 42	11 53	15 25	18 57	21 58	20 02	16 25	12 54	09 33	06 03	03 29
21	05 39	09 09	12 20	15 52	19 26	22 03	19 34	15 56	12 27	09 06	05 37	03 23
25	06 05	09 37	12 48	16 21	19 53	21 58	19 06	15 30	12 00	08 39	05 13	03 17
29	06 32	10 04	13 14	16 49	20 21	21 47	18 39	15 02	11 34	08 11	04 49	03 11

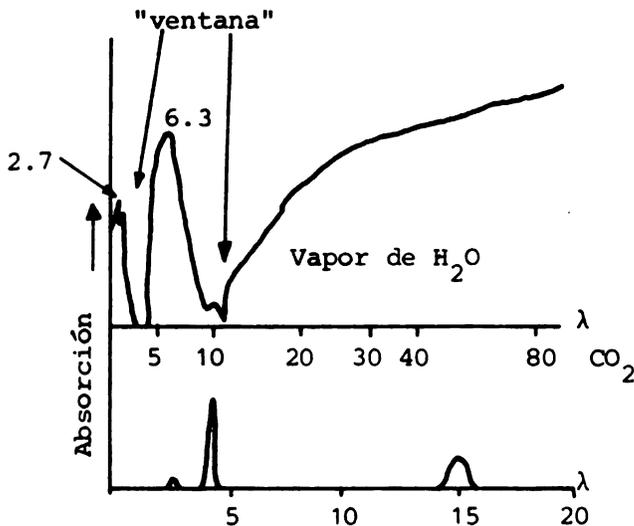
RADIACION TERRESTRE

Emitida en longitud de onda larga, presentando más del 99% entre 4 y 100 μ , con el máximo de radiación (λ máx) en la longitud de onda de 10 μ .

Cerca del 90% de la radiación terrestre es absorbida por el vapor de agua, ozono (en las longitudes de 9,4 a 9,8 μ), CO₂ y nubes (con casi todas las longitudes de onda).

La siguiente figura muestra cómo el vapor de agua tiene una banda de fuerte absorción, centrada a los 2,7 μ y otra banda más amplia con su máximo a los 6,3 μ . Conforme la longitud de onda aumenta después de los 12 μ , la atmósfera se hace opaca, hasta que prácticamente toda la radiación es absorbida. Hay dos bandas, una alrededor de los 4 μ y la otra de 9 a 11 μ , que pueden ser descritas como "ventanas" de la atmósfera. En la primera "ventana" la absorción es nula, mientras que en la segunda sólo un 10%. En estas "ventanas", la radiación escapa hacia el espacio. La radiación de onda larga en la banda de 4 μ es de poca intensidad; de tal manera que la principal "ventana" es la que va de 9 a 11 μ . No importa cuanto saturada esté la atmósfera con vapor de agua, él no puede proteger el paso de esta radiación a través de esta "ventana".

ABSORCION DE LA RADIACION TERRESTRE POR
EL CO₂ Y EL VAPOR DE AGUA



Absorción: Para el H₂O = 2,7 y 6,3 μ
Para el CO₂ = 2,8 4,3 y 14,9 μ

Ventanas: Para el H₂O = a los 4 μ y de 9 a 11 μ

La tierra entonces pierde calor por: 1) las "ventanas" y 2) las continuas absorciones y reemisiones. La primera depende de la temperatura de la superficie y la segunda de la temperatura de la capa absorbente más alta, la cual es normalmente encontrada en la parte alta de la tropopausa.

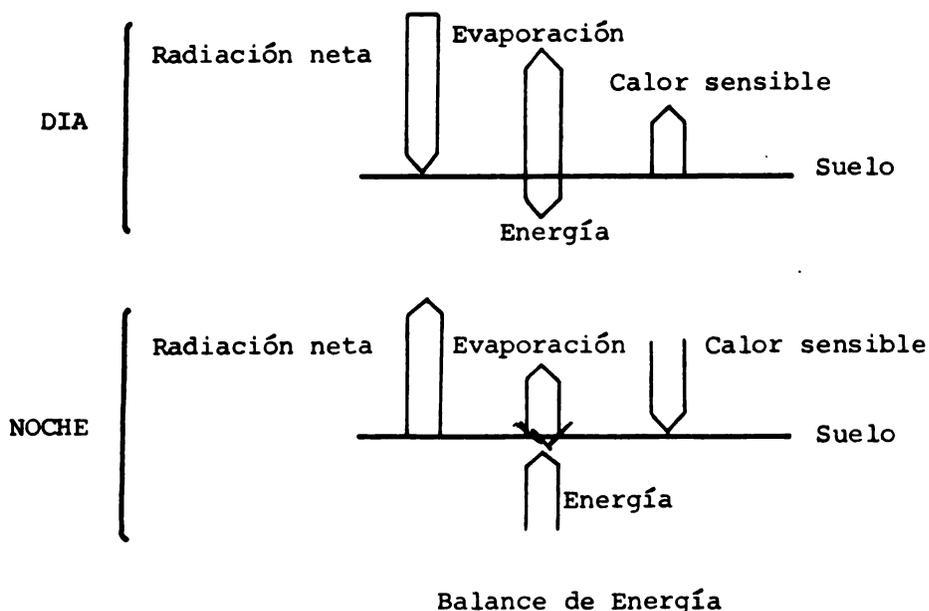
La nubosidad, si es suficientemente espesa y completa, puede formar una barrera que impida la penetración de la insolación. Este efecto de la nubosidad opera también en sentido contrario, ya que ella retiene la mayor parte del calor que sería perdido por la tierra en forma de radiación. Además de interferir en la transmisión de la radiación, las nubes actúan como depósitos temporales de calor.

La radiación terrestre reflejada de nuevo al suelo, es la que evita un enfriamiento excesivo de la superficie durante la noche. De aquí que noches con poca o ninguna nubosidad son más frías que noches nubladas. Las nubes dan al suelo un efecto de invernadero al evitar la pérdida de la radiación terrestre.

La radiación ultravioleta e infraroja es reducida más en un día nublado, como también a altas latitudes, en relación al trópico. Las montañas altas tienen más radiación ultravioleta. Por ello, para días nublados, o en lugares de alta latitud, las plantas poseen menos radiación en la franja de los ultravioleta e infraroja. Las de las planicies, menos ultravioleta que las que crecen en las montañas.

BALANCE DE RADIACION

El proceso de la evaporación representa una forma de pérdida de energía por parte de la tierra, como calor latente de evaporación. Este fenómeno varía en intensidad entre día y noche. Su influencia en el balance de radiación se puede ver en el siguiente esquema.



$$R_m =$$

El balance de radiación se puede expresar de la siguiente forma:

$$B = R + D + A - \epsilon T_t^4 - R - \text{EV}$$

donde

Δ sensible
flujo de calor al suelo

B = balance = 0

R = radiación solar que incide directamente sobre el suelo

D = radiación solar difusa

A = radiación atmosférica

ϵT_t^4 = radiación terrestre

R = radiación reflejada

EV = evaporación

$$R_n = I \sin h + D - R_r + R_a - R_t$$

$$= I \sin h + D - R_r + \epsilon \sigma T_a^4 - \epsilon \sigma T_s^4$$

$$\left\{ R_n = (1-a) R_g + R_a - \epsilon \sigma T_s^4 \right.$$

Balance de Radiación

Tanto T_t^4 como R dependen de la naturaleza de la superficie de la Tierra, mientras que los otros son independientes de ella.

La cantidad de calor en calorías requerida para evaporar 1 gr de H₂O es llamado calor latente de evaporación (rw) y varía con la temperatura de la siguiente forma.

t°C = 0 5 10 15 20 25 30

rw = 597 594 592 589 586 583 580 cal gr⁻¹

Al condensarse el vapor de agua se libera la energía.

Calor sensible es aquel que se siente, es decir, el que existe en las masas de aire caliente.

Cuando la radiación solar es absorbida por el suelo, planta o animal, se transforma en calor, elevando su temperatura.

Durante la mayor parte de las horas del día la radiación de onda larga es solo una pequeña parte del balance de la radiación, pero no así durante la noche que es cuando domina. Esta pérdida de calor, en la forma de rayos de energía de onda larga, es la causa de enfriamiento nocturno del suelo y las plantas.

Todo organismo, planta o animal, en la superficie de la tierra está "sumergido" en un medio de radiación solar, junto con la energía de las superficies vecinas. El flujo total de la radiación en un lugar dado es altamente variable, cambiando con la hora del día, estación, tiempo y otros factores. La variación del flujo total de un sitio a otro en la superficie terrestre es enorme y la distribución de plantas y animales responde a esta variabilidad.

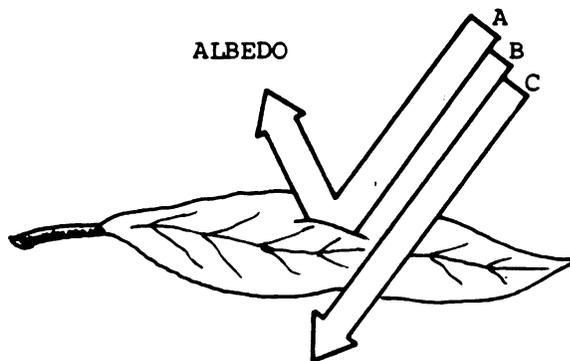
$$R_n + \text{flujo de calor sensible } G + \text{Calor latente } S + ET = 0$$

Balance energético.

Las partes aéreas de las plantas reciben la energía por radiación, convección y evaporación y por lo tanto la energía contenida de una planta depende de estos medios de transmisión de energía. Del total de energía transferida a través de la superficie de una planta, la radiación constituye el resto. La radiación existe siempre independientemente de si el sitio está seco o húmedo, con aire caliente o frío, con atmósfera densa o tenue, cielo nublado o despejado.

La energía contenida de una planta depende del balance de incidencia y emisión de radiación. La cantidad de energía radiante absorbida por la planta está directamente determinada por su capacidad como cuerpo absorbente, la cual es una función completa de la longitud de onda.

La energía, en la planta, puede ser reflejada, absorbida o transmitida, como se ve a continuación:



- A = Reflejada
- B = Absorbida
- C = Transmitida

La eficiencia energética de la fotosíntesis es la relación entre la energía química almacenada en la síntesis de la materia orgánica y la radiación solar absorbida por la clorofila.

Esta eficiencia alcanza un máximo de 20-35% en la banda roja del espectro solar ($0,6$ a $0,7\mu$). La eficiencia decrece rápidamente en el infrarrojo, llegando prácticamente a cero a los $0,75\mu$.

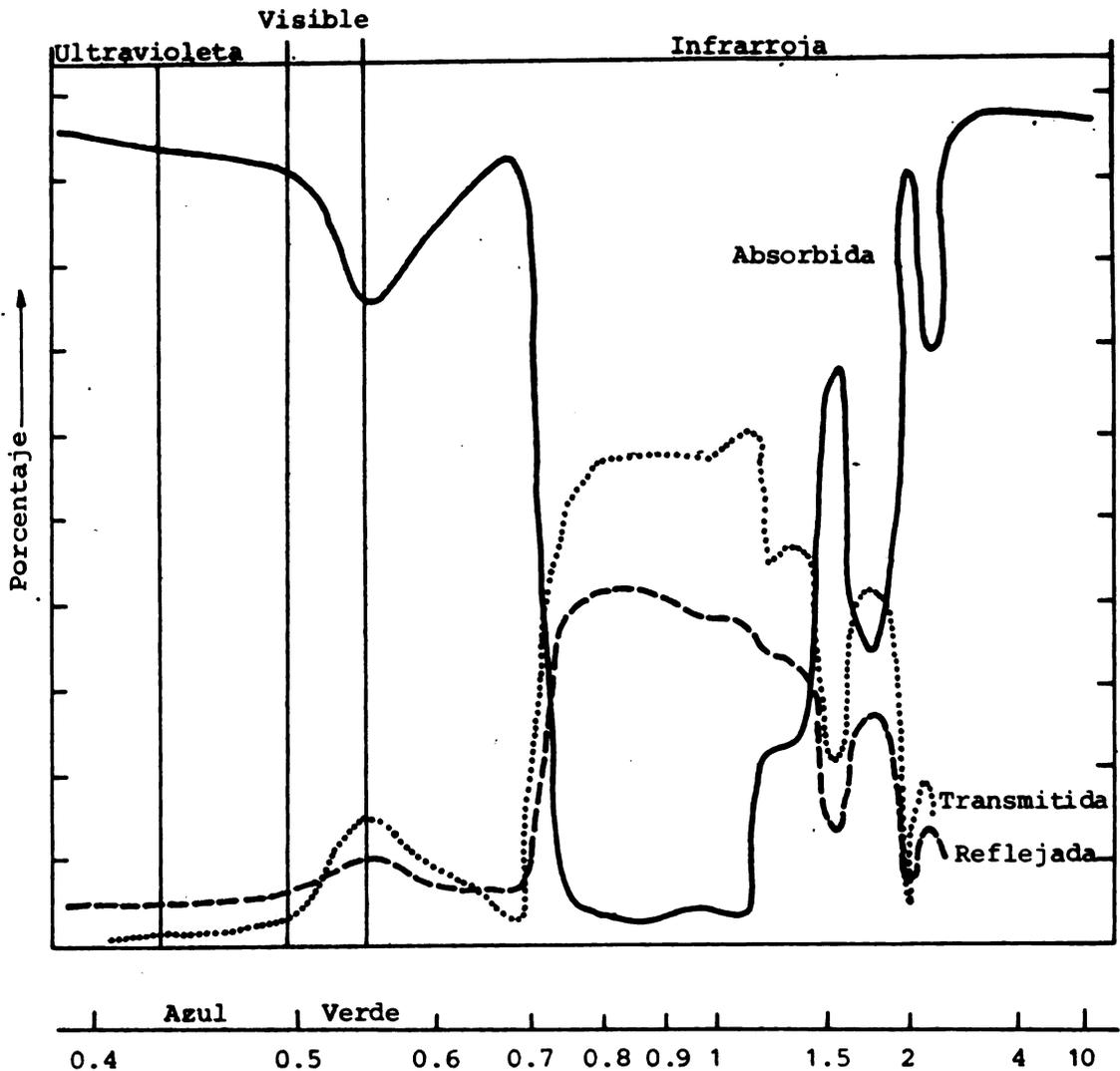
Se obtiene una eficiencia de $\approx 16\%$ a $0,4\mu$

Las propiedades del "espectro" de las hojas han sido dadas, como ejemplo, para hojas de Populus deltoides, las cuales demuestran claramente:

- Que la planta absorbe fuertemente la "banda" correspondiente al azul y rojo

- Menos fuerte el verde
- Muy poco entre \approx ,76 y 1,1 μ
- Muy fuertemente el resto del infrarrojo

La planta al ser un buen "absorbente" también es un buen "radiador" y se enfría ella misma por irradiación de una buena parte de la radiación absorbida del sol en la banda de + 1,1 μ , (infrarrojo).



Relación entre reflexión, transmisión y absorción en las hojas del Populus deltoides.

La luz solar que penetra la atmósfera y alcanza la superficie terrestre es la fuente de energía para la vida.

Los rayos ultravioleta provenientes del sol, son eliminados abruptamente por absorción del ozono y del oxígeno. La parte terminal de los rayos infrarrojos es atenuada por la absorción, por parte del vapor de agua y el CO² de la atmósfera.

Cuando el cielo está nublado, las características del espectro de la luz solar son dramáticamente diferentes de las que existen cuando el cielo está despejado. La parte final de los rayos infrarrojos del espectro se elimina prácticamente por la violenta absorción por parte del vapor de agua, y la parte final de los ultravioleta se terminan casi totalmente por la dispersión. Consecuentemente la calidad del espectro de la luz de un cielo nublado está más uniformemente distribuida a través de las longitudes de onda visibles, dando una apariencia gris o neutral al manto de nubes.

Las plantas y animales viviendo en la superficie de la tierra, están expuestos a la luz del sol con características muy variadas en el espectro, dependiendo de la nubosidad. La importancia de la calidad de la luz del espectro para la planta todavía no ha sido determinada en detalle. Muy probable, sin embargo, que tanto la calidad del espectro como la intensidad de la luz son factores importantes en el desarrollo morfológico de la planta. La intensidad de la luz posiblemente afecte el desarrollo celular de las plantas. Así, es importante observar que las plantas creciendo en un medio persistentemente nublado están expuestas a mucho menos rayos ultravioleta e infrarrojos que aquellas plantas creciendo en un medio predominantemente de cielo despejado.

La calidad del espectro de la luz solar también cambia con la altitud, en particular, los rayos ultravioleta aumentan en las partes altas.

Desafortunadamente, el carácter del espectro de la luz solar de muchos lugares de la tierra es desconocido.

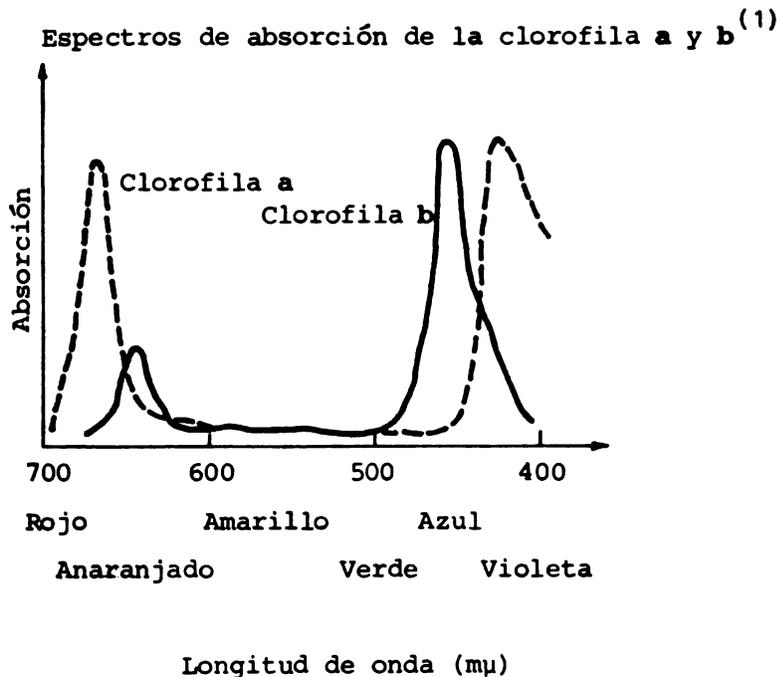
En el campo biológico muchas actividades importantes se deben a la presencia de los rayos del espectro luminoso. Por ejemplo, en la fotosíntesis los rayos visibles, especialmente el azul y el rojo, son los más efectivos; en el fotoperiodismo, por el contrario, la floración responde a la luz del día, siendo los rayos importantes aquellos entre 0,56 y 0,70μ sean el amarillo, anaranjado y rojo.

La Reacción de las plantas a las diferentes longitudes de onda es la siguiente:

- Radiación de longitud de onda mayor de 1,0. No muestran una específica influencia en las plantas. Se asume por lo tanto que cuando esta radiación es absorbida por la planta, no influye en los procesos bioquímicos a excepción de su conversión en calor.

- Radiación entre 1,0 y 0,7 micras. Tiene un específico efecto en el alargamiento "universal" (hibernación).
- Radiación entre 0,7 y 0,61 micras. Influyendo la parte donde ocurre la fuerte absorción del rojo por la clorofila y la fuerte actividad fotosintética. En muchos casos también es observado un fuerte efecto en la longitud del día.
- Radiación entre 0,61 y 0,51 micras. Parte que muestra una débil actividad fotosintética en la banda verde y un débil efecto formático.
- Radiación entre 0,51 y 0,4 micras. Parte de fuerte absorción por la clorofila y por la actividad fotosintética en la banda azul-violeta, pero no tan fuerte como en el rojo. Esta radiación también es absorbida por los pigmentos amarillos y tiene un fuerte efecto formativo.

En forma esquemática se tiene que la absorción de la radiación por parte de la clorofila, presenta el siguiente comportamiento.



La clorofila absorbe con mayor intensidad la luz roja y violeta. La verde es escasamente absorbida.

(1) Kimball, J. W. Biología. Fondo Educativo Interamericana, S.A. Addison-Wesley Publishing Co., Inc., E.U.A.. 1971.

BRILLO SOLAR

"Brillo solar" permanece indefinido. Se establece que hay "brillo solar" cuando la banda del heliógrafo lo registra, pero lo cierto es que ese registro no ocurre cuando algo se interpone entre el aparato medidor y el sol; pero sin embargo siempre habrá luz solar. Esto establece que luz y brillo son cosas diferentes. Las nubes y la contaminación atmosférica pueden obstaculizar que la banda del heliógrafo se queme.

Es decir, la ausencia de "brillo solar" no implica ausencia de luz e inclusive ésta puede ser suficiente para que el proceso fotosintético se realice en su ritmo normal, sin que haya "brillo solar" con intensidad suficiente para ser registrada por la banda.

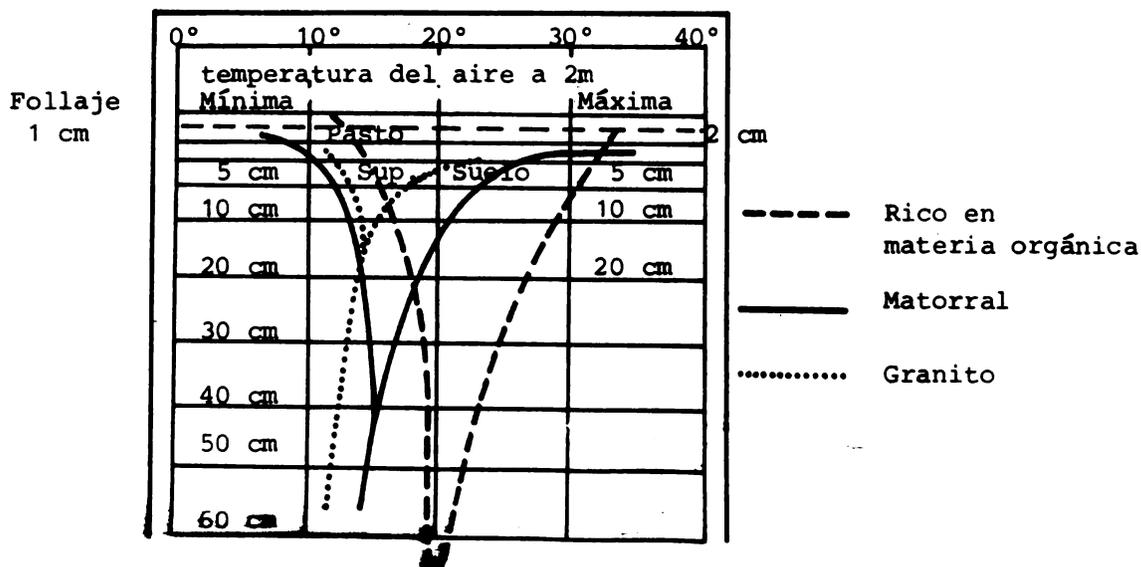
Brillo solar es casi sinónimo a cielo despejado, al menos lo es para el lugar en que se halla el heliógrafo.

Su unidad de medida es la hora y decimos de ella. No indica intensidad sino duración de brillo solar.

TEMPERATURA DEL SUELO

Casi toda la energía que recibe el aire procede del suelo, que a su vez la ha adquirido de sol, bien directamente por radiación o en forma de radiación difusa. Entre el suelo y el aire existe un intercambio de energía en el que interviene lógicamente la naturaleza del suelo.

Las fluctuaciones térmicas penetran hasta aproximadamente un metro, pero de ahí en adelante los isotermas son iguales. Un caso de variación térmica con la profundidad bajo distintas condiciones del suelo, se puede observar en el siguiente diagrama:



La superficie del suelo expuesta directamente a la radiación directa es siempre más caliente que las partes sombreadas. Estas superficies expuestas son también más calientes que el aire a una altura de 1 ó 2 metros. Por la noche, la radiación que sale del suelo expuesto es mayor y puede llegar a ser más frío que la atmósfera.

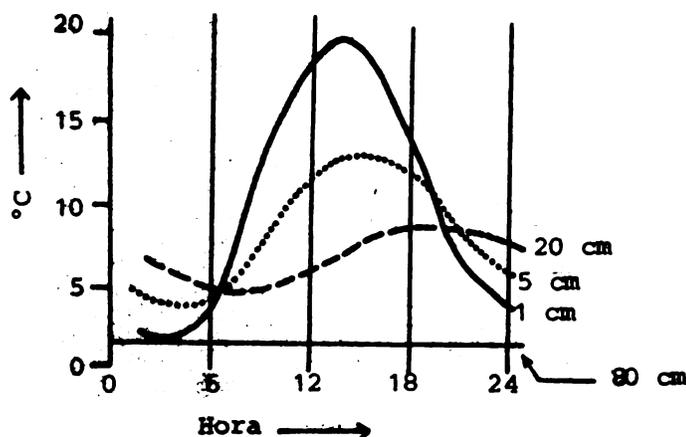
La temperatura de la superficie del suelo responde más rápidamente que la del aire a los cambios del tiempo.

Al tomarse la temperatura del suelo, además de la fecha y hora, se debe considerar la profundidad.

Así, la temperatura varía de acuerdo a la profundidad y con el transcurso del día; pero ella no es nunca igual a distintas profundidades a la misma hora.

La temperatura de la superficie del suelo, bajo la alternativa del calor solar y de la irradiación nocturna, sufre una marcada variación diaria mucho mayor que la registrada por la temperatura del aire.

La variación diaria de la temperatura a distintas profundidades se comporta en general de la siguiente forma:



Suelo de textura arenosa
(Paulovsk, 10 años)

Comportamiento de la temperatura de un suelo a diferentes profundidades

La oscilación entre los valores extremos decrece rápidamente con la profundidad. Así, como ejemplo, se puede tener en un suelo las oscilaciones de:

8°C a 12 cm de profundidad

4°C a 24 cm de profundidad

2°C a 36 cm de profundidad

1°C a 48 cm de profundidad

El momento de la máxima (o de la mínima) sufre un retraso que aumenta con la profundidad. Si, por ejemplo, la máxima en la superficie ocurre a las 13 horas, a

12 cm de profundidad ocurrirá a las 15 horas

24 cm de profundidad ocurrirá a las 17 horas

36 cm de profundidad ocurrirá a las 19 horas

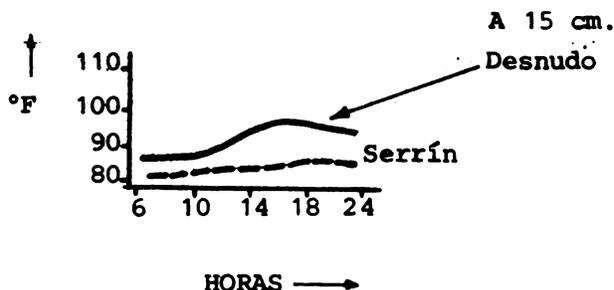
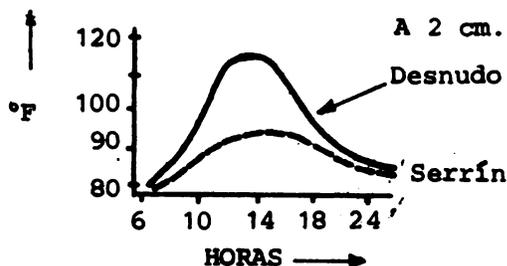
La época del año influye sobre la variación diaria de la temperatura del suelo. Las variaciones con la profundidad llegarán a profundidades menores en la época lluviosa.

Debido al íntimo contacto entre las raíces y el suelo, las variaciones de temperatura de éste afectan notablemente los procesos fisiológicos que se realizan en la parte subterránea de las plantas.

La vegetación a la vez tiene un efecto sensible sobre la temperatura. Durante el día, la temperatura del aire junto al suelo es más baja que a la altura de la copa de los árboles, ya que éstos actúan como pantalla de la radiación solar, absorbiendo gran parte de ella. En cambio, por la noche impide el enfriamiento excesivo del suelo.

La capacidad de control de la temperatura del suelo es limitada. Las coberturas son una de las formas más efectivas para este control. Residuos de cosechas, papel o plástico son usados para este propósito. Una cubierta de polietileno aumenta la temperatura, porque permite el paso de la energía calorífica y reduce la pérdida de radiación del suelo a la atmósfera y además suprime la evaporación. En general, las coberturas tienden a disminuir las fluctuaciones de temperatura del suelo y también la reducen; se puede apreciar esto en el siguiente esquema:

TEMPERATURA DE SUELO A SUELO
DESNUDO Y CON SERRIN



Los termómetros dentro del suelo no tiene problemas de radiación. El problema de medir la temperatura de una superficie es uno de los más difíciles y discutidos en microclimatología térmica, puesto que cualquier instrumento usado tendrá una diferente conducción térmica.

El mejor método es el de termopares, pero como esto no siempre es posible, lo más usado son los termómetros no eléctricos ni gaseosos. El más corriente es el termómetro de mercurio en vidrio. En relación a la colocación de su bulbo, las opiniones se dividen; unos creen que es mejor dejar el vidrio del termómetro descubierto y otros que es recomendable taparlo con una capa fría de tierra o suelo, práctica difícil con un loam o un suelo arcilloso.

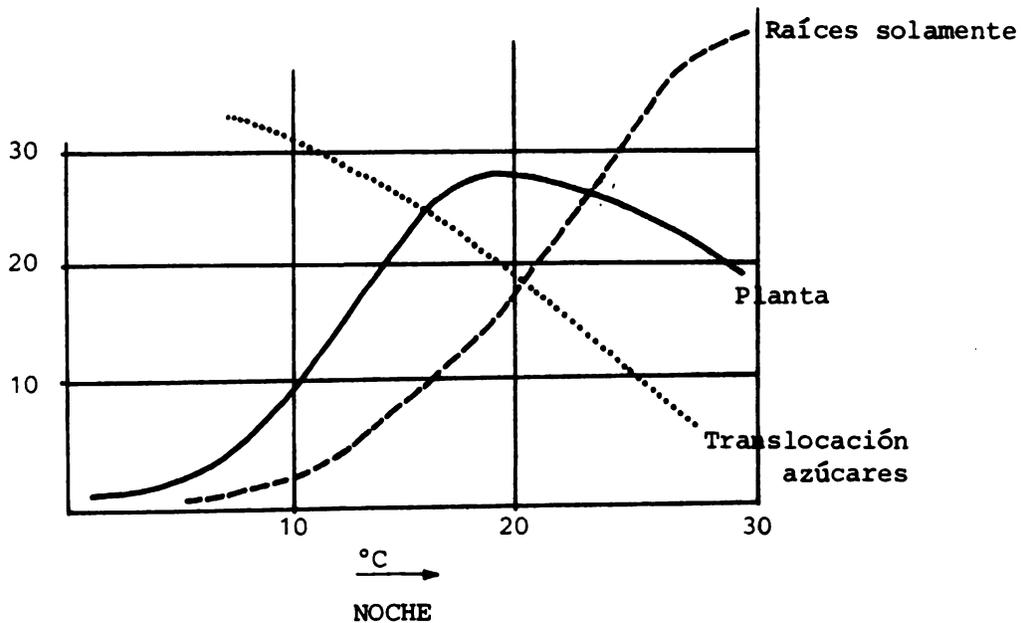
Efecto sobre las plantas

El crecimiento y desarrollo de la planta, incluyendo el sistema radical, se efectúa únicamente a determinada temperatura para cada cultivo y para cada fase de su desarrollo.

Los cítricos reducen la absorción de la solución nutritiva del suelo cuando la temperatura a nivel de las raíces supera los 35°C. El comportamiento de la temperatura del aire durante la noche es un factor importante

en el crecimiento de las papas, chile dulce, tabaco, tomate, etc.

En el esquema siguiente se puede observar este efecto de la temperatura de noche sobre el tomate.



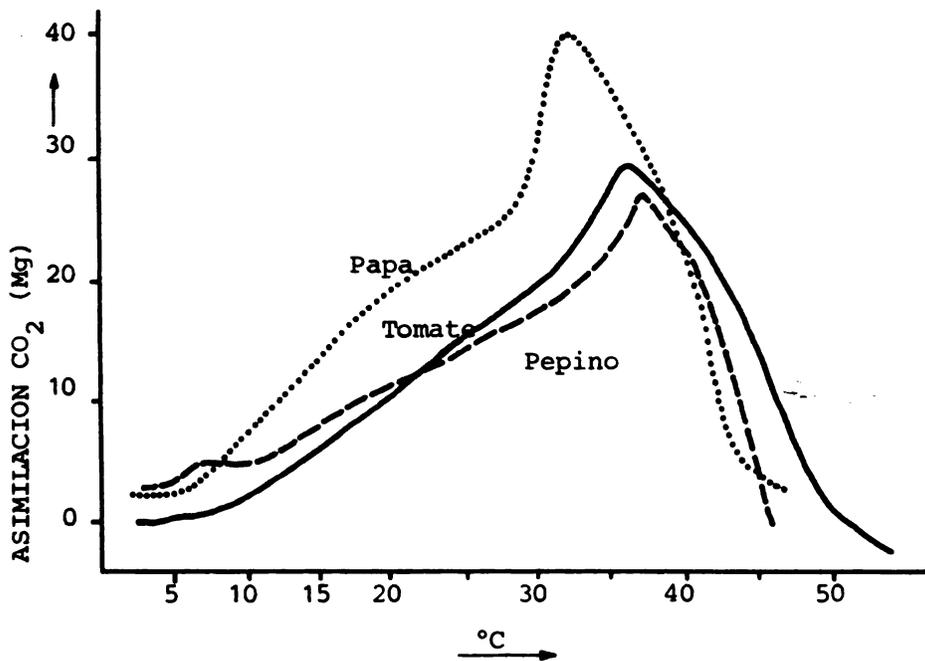
Tasas de diferentes procesos en función de la temperatura de noche

Se ve que su temperatura nocturna óptima está alrededor de los 17°C, en cuanto a crecimiento de la planta se refiere. Las temperaturas bajas explican el por qué la producción de tomate es tan variable en los trópicos.

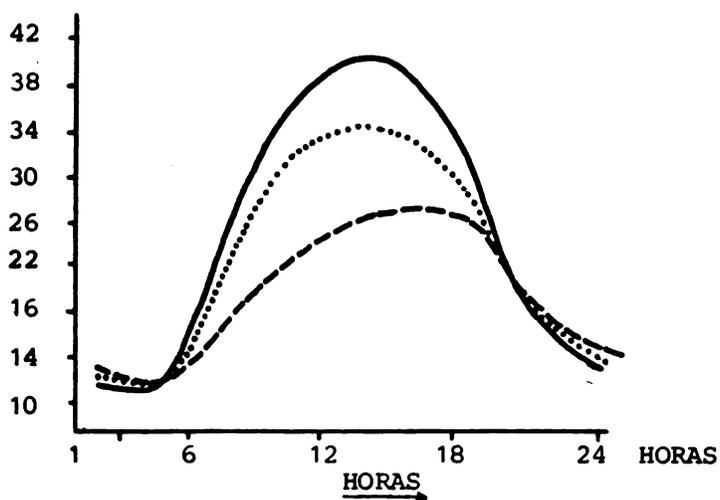
Se ha estudiado el efecto de la temperatura del aire sobre la intensidad en la fotosíntesis en papa, tomate y pepino y ello se presenta en el esquema de la siguiente página.

Temperatura dentro de bolsas. Estas a menudo se usan en polinización, y por ello conviene tener presente que ellas internamente modificarán la temperatura del aire, lo cual puede afectar positiva o negativamente a la flor, fruto, etc. En el esquema que sigue (página siguiente abajo) se puede fácilmente apreciar este comportamiento.

FOTOSINTESIS VS. TEMP. DE HOJAS



TEMPERATURA DENTRO DE BOLSAS



- Polietileno sin huecos
- Polietileno con huecos
- Aire

TEMPERATURA DEL AIRE

Las variaciones de la temperatura del aire son la causa inicial de un gran número de fenómenos meteorológicos y de cambios en los procesos fisiológicos de los vegetales y animales.

Toda actividad fisiológica es posible sólo dentro de ciertos límites de temperatura. Por ejemplo, el maíz crece solamente entre 2°C y 48°C, siendo su óptima 32°C. El crecimiento y actividad de los insectos es influenciado significativamente también por la temperatura del aire; su metabolismo se acelera automáticamente con un incremento en ella. El gran desarrollo comercial de la industria cítrica se halla concentrado en regiones con temperaturas nocturnas bajas. La calidad interna de la fruta y el color de la cáscara, son propiciadas por la temperatura fresca, templada, durante el período de madurez, sin embargo, los árboles necesitan tiempo cálido para lograr un desarrollo vegetativo adecuado.

Conviene recordar que muchos investigadores opinan, y con razón, que las actividades vitales de las plantas no se determinan por un factor del medio ambiente, tal como la temperatura, con la exclusión de los demás.

Todas las sustancias están hechas de moléculas que se hallan en movimiento más o menos rápido. Conforme la velocidad de su movimiento intermolecular aumenta, la temperatura del cuerpo también aumenta. La materia en "movimiento" posee energía; ella es capaz de producir una fuerza y de hacer un trabajo; la energía producida por el movimiento molecular se llama calor. Calor es una forma de energía y su cantidad es posible de medir a pesar de que no es una "sustancia", y puede ser transformado en otras formas de energía. A pesar de que el cuerpo humano responde a la temperatura del aire, no es un buen "instrumento" para medir la temperatura del aire. Por eso se necesita un medio más preciso, los termómetros, que son diseñados para responder con precisión a sus cambios.

Temperatura no es un concepto fácil de definir; se tiene sensación de ella y así se habla de frío, caliente, hirviendo, etc. Calor puede ser expresado como la energía que es transferida de un cuerpo a otro por un proceso térmico como radiación, conducción o convección. Se debe observar que calor y temperatura son conceptos diferentes. Temperatura es una medida de la intensidad del calor y NO una cantidad. Así un metro cúbico de agua y otro de aire pueden tener la misma temperatura, pero el agua tendrá mucho más calor.

El concepto de un cero absoluto de temperatura, al cual un cuerpo no contiene calor, fue formulado por Lord Kelvin (K) y su escala fue basada en el cero absoluto. Otras dos escalas de mayor uso son la Fahrenheit (F) y la centígrada (C). En trabajos científicos, a la escala centígrada se le conoce como Celsius.

La temperatura de cualquier región está sujeta a muchas influencias

modificantes, tales como situación geográfica, lluvia, humedad atmosférica, viento, altitud, radiación, topografía, lagos, color de suelos, vegetación, actividad humana, etc.

Para establecer una escala graduada y la unidad de medida se tomaron dos puntos de referencia fijos y que están dados por el hielo fundente y la ebullición del agua a nivel del mar.

Fahrenheit, físico alemán, creyó que la temperatura más baja que podía obtenerse era mezclando partes iguales de hielo y amoníaco y a esta temperatura la definió como cero y lógicamente la base de la escala que lleva su nombre. Con esto él creyó evitar las temperaturas negativas. La escala Fahrenheit marca 32 grados para el hielo fundente y 212 para el vapor de agua hirviendo. Por consiguiente 180 F equivalen a 100 grados centígrados.

En la escala centigrada se tiene cero grados para el hielo que se está fundiendo y 100 para el vapor del agua. Este intervalo fue dividido por Celsius en 100 partes o grados.

En la escala Kelvin (K) no hay temperaturas negativas porque el cero absoluto (A), según la teoría molecular de los gases a esa época, corresponde al reposo absoluto de las moléculas. Así el 0°K es igual a -273°C.

La relación entre estas escalas es la siguiente:

$$^{\circ}\text{C} = \frac{5}{9} (^{\circ}\text{F} - 32) = ^{\circ}\text{K} - 273$$

$$^{\circ}\text{F} = \frac{9}{5} ^{\circ}\text{C} + 32$$

$$^{\circ}\text{K} = ^{\circ}\text{C} + 273$$

$$1 ^{\circ}\text{C} = 1,38^{\circ}\text{F}$$

Punto de fusión del hielo

Punto de ebullición del agua

0 °C

100 °C

32 °F

212 °F

273 °K

373 °F

Variación térmica. Debido principalmente al movimiento diario aparente del sol sobre el horizonte, la temperatura del aire en los trópicos es diferente en cada hora del día; más elevada en las horas del día y más baja en las nocturnas. Este comportamiento es bastante regular en días despejados y con poco viento, pero puede sufrir modificaciones irregulares por la presencia de nubes delante del sol, cambios de dirección del viento, etc.

El conocimiento exacto de la variación diaria de la temperatura, para

las horas del día (de las 06 a las 18 horas) y de la noche (de las 18 a las 06 horas) es importante para valorar un clima agrícola, ganadero o para estudiar su efecto en el comportamiento de plantas y animales. Se presenta diariamente una temperatura del aire máxima y otra mínima, ocurriendo la primera entre las 12 y 14 horas y la segunda, entre las 5:00 y 06:30 horas.

La cantidad de grados existentes entre estos dos puntos extremos es lo que se llama amplitud aperiódica diaria (oscilación) y que lógicamente se obtiene restando la mínima de la máxima. El promedio de estos extremos dará la oscilación correspondiente al período, ya se trate de un año, un mes o períodos más cortos.

Las temperaturas normales representan la temperatura media, las cuales deberían registrarse todos los años si no hubiese diferencias cada año. A este valor medio, como todo valor climático medio usado en agrometeorología, se le debe calcular su coeficiente de variación, para definir hasta que punto él permite la definición del clima normal.

Variación de la temperatura con la altura. La temperatura desciende con la altura, debido a que:

- el aire absorbe muy poco la energía solar;
- la temperatura del aire aumenta o disminuye por su contacto con el suelo y consecuentemente,
- el aire tiene menor presión (menor densidad) a medida que aumenta la altura

Sin embargo, esta disminución no es constante para cada región, ya que depende la hora del día o noche y de la época del año. En promedio se ha encontrado que la disminución o gradiente térmica vertical es de $0,56^{\circ}\text{C}$ por kilómetro.

Medición. El calentamiento del aire es el resultado del balance o radiación, incluyendo el movimiento de masas de aire. Para medir su temperatura se debe tomar "una muestra" y aislarla del efecto directo de cualquier radiación, sea solar o terrestre, esto con el fin de obtener solo la temperatura del aire. En caso contrario, se obtendría una lectura que sería igual a la temperatura del aire más el efecto de calentamiento del elemento medidor, por la acción directa de la radiación. Esta "muestra" del aire se logra colocando el instrumento medidor en una caseta meteorológica, por la cual estará pasando aire a través de sus celosías, pero dentro de ella no habrá ningún efecto de radiación que altere la medición de su temperatura.

Para el desarrollo de la actividad fisiológica de los organismos vivos se pueden definir varios puntos térmicos, como mínimos, óptimos y máximos. Estos puntos pueden variar ampliamente con la edad o estado de desarrollo y con la especie.

La temperatura mínima a la cual se inicia o cesa el crecimiento en una especie puede no ser la misma que la mínima a la que puede subsistir sin sufrir daño. Así también, la temperatura máxima de crecimiento de una planta puede ser considerablemente menor que aquella que le ocasiona daño por exceso de calor. Por ejemplo, 40,5°C puede hacer cesar el crecimiento pero los 54,4°C pueden ser letales si se mantienen por algún tiempo.

Se sugieren cuatro puntos térmicos para las plantas:

Temperatura mínima = la más baja a la que se produce crecimiento.

Temperatura máxima = la más alta a la que se produce crecimiento.

Temperatura óptima = la más alta a la que no opera el factor tiempo.

Temperatura de máxima proporción de crecimiento = aquella en que el proceso alcanza la máxima intensidad. Ejemplo. Para el guisante, Leitch encontró - 2°C, 44,5°C, 28 a 30°C y 30,3°C respectivamente.

VAPOR DE AGUA

La atmósfera contiene vapor de agua en cantidad muy variable, según el momento y el lugar, siendo el único componente del aire capaz de transformarse bajo condiciones naturales, en millones de gotitas de agua y cristales de hielo.

La cantidad de vapor de agua (1) presente en el aire puede ser expresada como la presión que el vapor ejerce y ésta es independiente de la presencia de otros gases; la cantidad máxima que puede haber en el aire depende de la temperatura del aire. El aire estará saturado cuando se alcance el máximo contenido de vapor de agua a una temperatura dada. El punto de saturación puede alcanzarse por dos vías:

- añadiendo más vapor de agua (evaporación, por ej.)
- enfriando el aire hasta alcanzar el punto de saturación.

Si se denomina con (E) el punto de saturación y con (e) la presión del vapor existente a una temperatura dada, se tiene que:

(e) = densidad del vapor o humedad absoluta, que normalmente se expresa en gramos de vapor de agua por metro cúbico de aire o en partes por millón por volumen (ppmv).

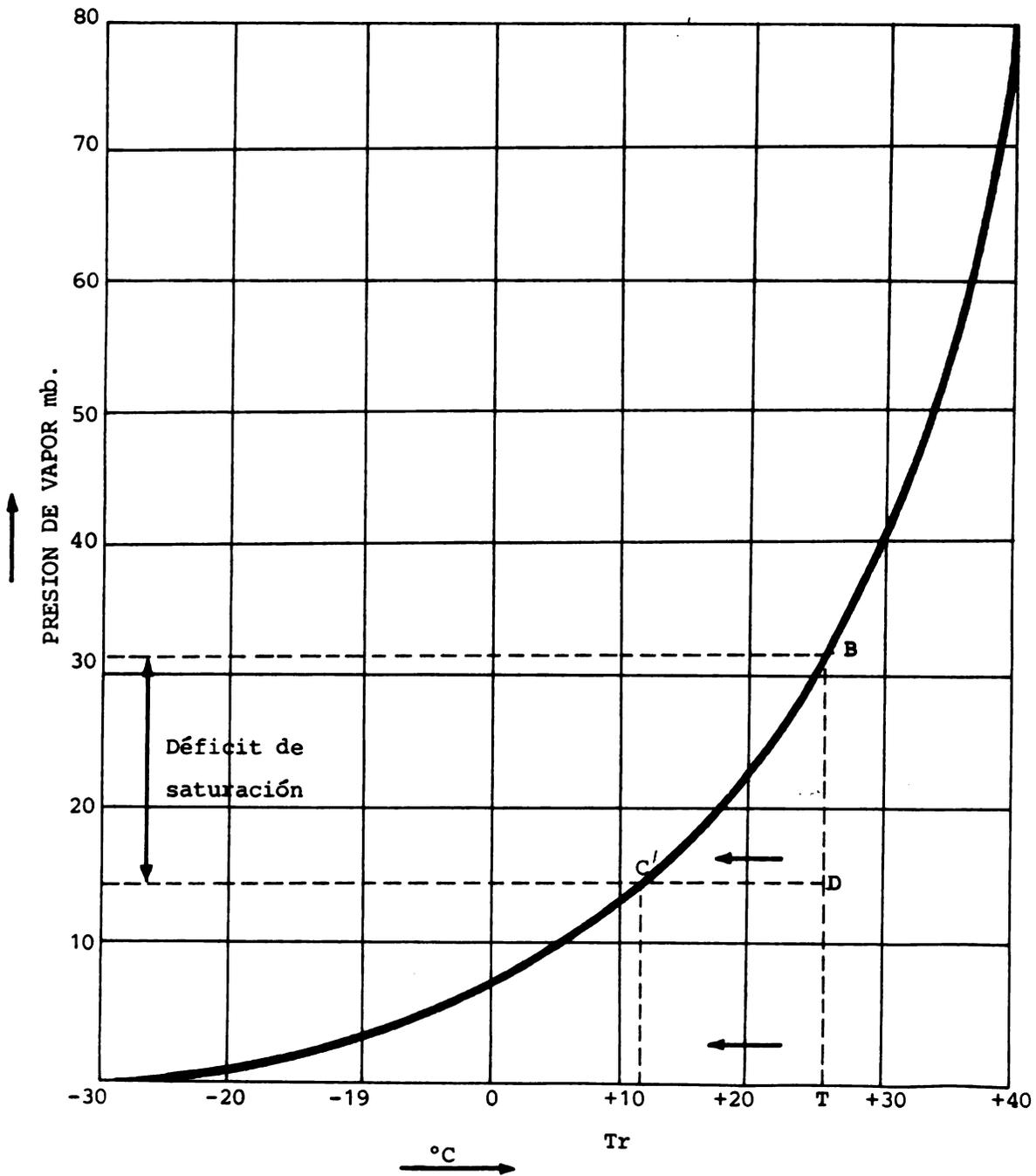
$$U = \frac{e}{E} \times 100$$

donde: U = humedad relativa, expresada en %.

(1) La presión o tensión de vapor de agua se mide en milibarios o m.m. de mercurio.

La relación entre la presión del vapor y la temperatura del aire, se muestra en el siguiente cuadro.

RELACION ENTRE TEMPERATURA Y PRESION DEL VAPOR



Tr = Temperatura del punto de rocío.

Observando el cuadro anterior, suponiendo que una parcela de aire tiene una presión de vapor (e), a una temperatura dada (T), su condición está representada por la intersección de las líneas que parten de (e) y (T), sea el punto (D). La saturación (E), entonces se podría lograr:

- agregando más vapor de agua a temperatura constante, (T). El punto (D) entonces se moverá hacia (B) y el aire estará saturado cuando el punto (B) sea alcanzado.
La diferencia (E- e) constituye el déficit de saturación;
- enfriando a presión constante el punto (D), el cual en consecuencia, se moverá hacia (C), lográndose obtener la saturación cuando (C) sea alcanzado. En este estado, el aire tendrá una temperatura (Td), la cual es llamada temperatura del punto de rocío.

Como se puede observar en el mismo cuadro, la presión de saturación es baja cuando la temperatura también es baja y aumenta rápidamente conforme la temperatura aumenta. Este principio es necesario recordarlo ya que como la humedad relativa ($U = \frac{e}{E} \cdot 100$) es una expresión en porcentaje entre la humedad existente y la que podría haber si hubiese saturación, ella no está indicando cuál es la cantidad de vapor de agua existente en valores absolutos. Esto implica que iguales valores de humedad relativa representan cantidades diferentes de vapor de agua, consecuencia de temperaturas diferentes del aire. Este hecho se puede observar en el siguiente cuadro:

TEMPE- RATURA	Vapor de agua en gr/m ³ (e)				
	59.3	34.3	18.7	9.8	4.9
°C	59.3	34.3	18.7	9.8	4.9
40	100%	57	31	17	8%
30		100	55	29	14
20			100	52	26
10				100	50
0					100%

} Humedad relativa (U)

El cuadro anterior indica que la cantidad de vapor de agua necesaria para saturar un metro cúbico de aire aumenta notablemente con la elevación de la temperatura.

En consecuencia, un 100% de humedad relativa (cuando $e = E$) no indica siempre la misma cantidad de vapor de agua, ya que ésta depende de la temperatura. Así, 100% de humedad relativa corresponde a 9,3 gramos de vapor de agua por metro cúbico a 10°C, a 18,7 gr a 20°C y 34,3 gr. a 30°C.

El aire está saturado cuando la humedad relativa es 100% ($e = E$), pero normalmente ella está por debajo de la saturación, especialmente en los climas secos.

Los valores mayores de humedad relativa se presentan durante la noche y en la época lluviosa; es decir, durante el día aparecen los valores menores y a la vez éstos serán todavía más bajos en la estación seca.

La tensión de vapor disminuye notablemente con la altitud; esto se explica por la disminución de la temperatura.

El efecto de la acción conjunta de la temperatura y humedad relativa del aire sobre los animales, incluyendo al hombre, se puede resumir en la siguiente forma:

TEMPERATURA →

		ALTA	MEDIA	BAJA
↑ Humedad relativa	Alta	Alto grado de fatiga	NORMAL	Alto grado de penuria
	Media	Mediano grado de fatiga	NORMAL	Bajo grado de penuria
	Baja	Bajo grado de fatiga	NORMAL	Alto grado de penuria

PRECIPITACION

La precipitación del vapor de agua de la atmósfera puede ser en forma de lluvia (líquido), nieve (sólido), así como en rocío (líquido), escarcha y granizo (sólidos).

La formación y la disipación de las nubes está íntimamente relacionada con los movimientos del aire, y los componentes verticales son de particular importancia. El aire ascendente encontrará condiciones de baja presión; él se enfriará por expansión y puede alcanzar o sobrepasar el límite de saturación. Por el contrario, el aire descendente se calentará por compresión y el agua se evaporará.

La cantidad de precipitación que cae en una área es estimada de aquella colectada por un pluviómetro o pluviógrafo. Estos normalmente tienen una superficie colectora circular de 16 cm de diámetro, lo cual significa que el área colectora es sólo una pequeñísima muestra por km².

Una investigación hecha por L. A. Isaac (1946) en una área relativamente uniforme de 8 Km², demostró que los totales anuales de lluvia variaron de 168 a 208 mm; Rycroft (1949) en Africa del Sur, instaló un cierto número de pluviómetro al azar, sobre una área y luego computó los datos para determinar qué número de pluviómetros necesitaría para obtener mediciones de lluvia con error solo de $\pm 5\%$. El número resultante fue tan grande que concluyó que tal exactitud es imposible. Desde luego, esa área no presentaba efectos orográficos, lo cual debe considerarse cuando se quiere hacer extensivo a otras áreas datos de lluvia de un determinado lugar.

Partículas de sal, gotas ácidas (sulfatos) y partículas de suelo se hallan en la atmósfera y constituyen los núcleos de condensación que se hallan en mayor número sobre la tierra que sobre los océanos, en una relación de 5 a 1, respectivamente; alrededor de éstos ocurre la condensación.

La nube es el conjunto de pequeñas gotitas de agua o partículas de hielo, las cuales al estar en suficiente número se pueden ver. El tamaño de estas gotitas puede ser hasta de 100 micrones.

En 1951, en Japón, se ha reportado que el 81% de los núcleos de condensación estaban formados por partículas de suelo, en muestras de nieve. Para esta clase de núcleo se vio que ciertas partículas de suelo son más efectivas que otras, encontrándose que los más efectivos eran Kaolinita y Montorrillonita, entre las arcillas.

Los núcleos de condensación se pueden dividir por su tamaño así:

Pequeños.....hasta 0,4 micrones
Medianos.....de 0,4 a 1,00 micrón
Grandesde 1,0 a 10,0 micrones

En general, los núcleos de condensación tienen de radio, entre 0,001 micras y 10 milimicras.

Aunque se conocen muchos detalles, como el de que siempre se necesitan núcleos de condensación para que haya precipitación, no se tiene suficiente conocimiento de las nubes ni del proceso de la precipitación.

Una cierta cantidad de lluvia es interceptada por la vegetación; sólo una pequeña parte puede acumularse en las hojas antes de que el agua empiece a escurrir. Sin embargo, el follaje puede modificar el patrón de caída de la lluvia sobre el suelo. La cantidad y distribución de la lluvia varía con la clase de follaje. Parte de la lluvia interceptada se evapora sin alcanzar el suelo. En aquellos lugares donde ha sido medido esto, la evaporación por la lluvia interceptada varía de 5 a 15% del total anual.

En el siguiente cuadro se pueden observar la velocidad de caída de las gotas de lluvia, que es importante conocer por su relación con el poder erosivo al ocurrir el choque de ellas contra el suelo.

Velocidades de caída de gotas de lluvia de diferentes diámetros en los últimos 20 m.

Diámetro gota mm	Velocidad caída m seg ⁻¹
1.25	4.85
1.50	5.51
2.00	6.58
3.00	8.06
4.00	8.86
5.00	9.25
6.00	9.30

La relación entre intensidad de lluvia y el diámetro promedio de las gotas de lluvia, ha sido calculada y se presenta a continuación:

Relación entre la intensidad de lluvia y el diámetro promedio de las gotas

Intensidad mm Hora ⁻¹	Diámetro promedio mm
0.25	0.75 - 1.00
1.27	1.00 - 1.25
2.54	1.25 - 1.50
12.70	1.75 - 2.00
25.40	2.00 - 2.25
50.80	2.25 - 2.50
101.60	2.75 - 3.00
152.40	3.00 - 3.25

El análisis de la lluvia implica que se debe estudiar su:

- Cantidad. Sea, el número de milímetros por día, por aguacero o por períodos de 5, 10 o cualquier número de días que se considere adecuado para el fin en ese momento considerado.
- Duración. Horas y minutos (o décimos de hora) que dura la lluvia, ya sea considerando el día o bien el aguacero o períodos de más de un día.
- Intensidad. Es la cantidad entre el tiempo. Este puede ser cinco, diez, 30, etc. minutos. También puede ser intensidad media por aguacero o por día.
- Frecuencia. Lo tradicional son los días con lluvia por mes, pero podría ser definido también como número de días con lluvia para períodos de 5, 10 o cualquier otro número de días. Conviene usar mejor la frecuencia de aguaceros, que se definen por la presencia de lluvia y una separación entre ellos de por lo menos media hora.

Cuando las necesidades lo requieran se pueden analizar también las lluvias utilizando los quintiles, cuartiles o deciles; sea, la partición de toda la población (suma del número de observaciones o suma de las frecuencias) en 5, 4 o 10 partes iguales respectivamente.

Además de los valores medios de la lluvia se debe considerar cuáles son sus variaciones (coeficientes de variación) para determinar cuán confiable es el valor medio. Se puede considerar, entre otros, el análisis de la probabilidad de ocurrencia de lluvias para cantidades determinadas por ejemplo, probabilidad de recibir lluvia hasta 600, 800 mm, etc., si se trata de toda la estación lluviosa o valores adecuados para períodos más cortos. Asimismo puede ser necesario considerar la probabilidad de ocurrencia de 600 mm, por ejemplo, en un período de cuatro años, etc. Se podría elaborar así una tabla como la siguiente:

ANÁLISIS DE LLUVIA

Lugar:

Media mm	C.V.	Probabilidad de obtener los siguiente milímetros				
		600	800	+800	600 en 4 de 5 años	800 en cuatro de 5 años

Para determinar los quintiles, por ejemplo, se toma una serie de datos de lluvia, que puede ser mensual o para cualquier otro período de tiempo, de varios años y se le ordena de menor a mayor, anotándose su frecuencia. En base a ésta se obtienen los límites de los quintiles, pues se divide su suma (n) entre 5.

Así,

$$n/5 = \text{límite del quintil}$$

donde,

n = total de observaciones; sea, suma de las frecuencias.

Luego, para determinar las límites correspondientes en milímetros de lluvia, para cada quintil, se busca simplemente cuál es el que se halla donde está el límite del quintil calculado, en base a n.

Ejemplo:

Lugar: _____

Lluvia en milímetros de junio

1960-1979

Año	Milímetros
1960	202
1961	183
1962	384
1963	305
1964	396
1965	250
1966	295
1967	398
1968	293
1969	319
1970	205
1971	259
1972	144
1973	541
1974	264
1975	333
1976	234
1977	204
1978	247
1979	326

En este caso,

$$n/2 = 20/2 = 10$$

Sea que la mediana está en el punto cuando se han acumulado 10 observaciones, lo que corresponde al punto entre 264 y 293 mm. Esto quiere decir que la mediana estará entre estos dos valores, lo que es igual a 278,5. Si n fuera impar, el valor de la mediana sería aquel correspondiente al valor central. Por ejemplo, si n hubiera sido 21, la mediana hubiera correspondido al número de milímetros de $n = 11$.

Los límites de los quintiles están dados por las sumas acumulativas de $n/5$; así,

$$\text{límite del I quintil} = n/5 \times 1$$

$$\text{límite del II quintil} = n/5 \times 2$$

y así sucesivamente.

De acuerdo al ordenamiento anterior de los datos de lluvia, se puede deducir que los quintiles estarán donde,

$$n/5 = 20/5 = 4 \text{ y múltiplos de este número.}$$

Así,

- I Quintil = número de observaciones acumuladas = 4
- II Quintil = número de observaciones acumuladas = 8
- III Quintil = número de observaciones acumuladas = 12
- IV Quintil = número de observaciones acumuladas = 16
- V Quintil = número de observaciones acumuladas = 20

Esto quiere decir que los valores límites para cada quintil para los milímetros de lluvia, estarán en el centro de los valores ordenados. Obsérvese:

Límites en milímetros superior a los quintiles:

n 20

Valor medio 289 mm

Desviación estandar 92,43

Coefficiente de variación 32%

De inmediato se ordena la serie del valor menor hacia el mayor:

Lugar: _____

Lluvia en milímetros de junio
1960-1979

mm	frecuencia (f)
144	1
183	1
202	1
204	1
205	1
234	1
247	1
250	1
259	1
264	1
293	1
295	1
305	1
319	1
326	1
333	1
384	1
396	1
398	1
541	1
n	20

La mediana corresponde al valor que divide la población (n) en dos partes iguales. Sea,

$$n/2$$

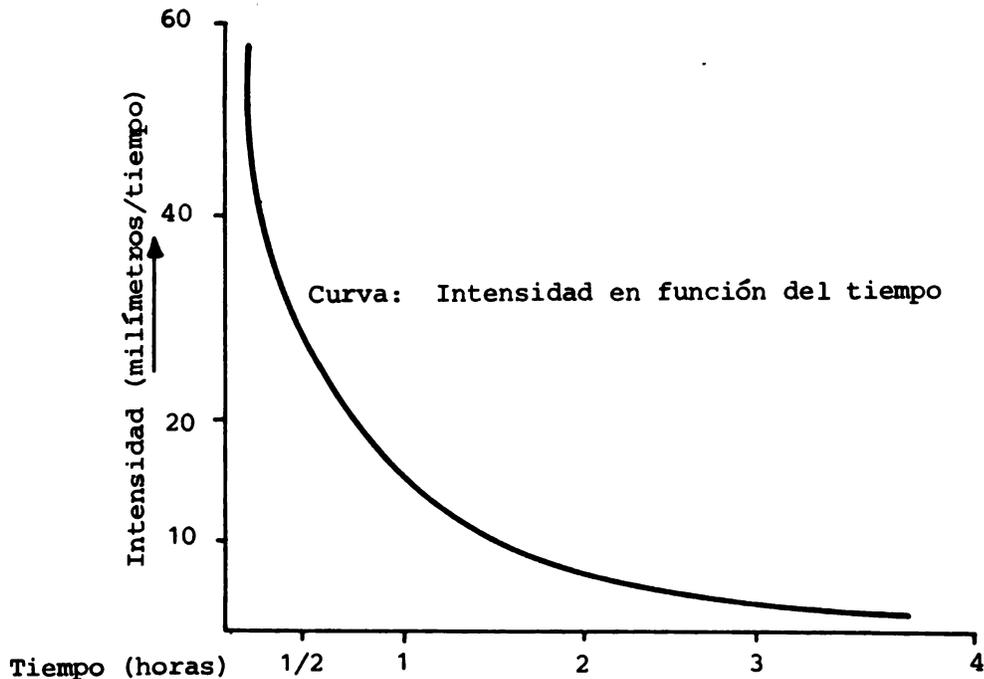
- I Quintil = 204,5 mm
- II Quintil = 254,5 mm
- III Quintil = 300 mm
- IV Quintil = 358,5 mm
- V Quintil = 541 mm

La lluvia presenta una considerable variabilidad año a año, lo cual influye directamente en la disponibilidad del agua y en consecuencia en la vida del hombre, su crecimiento y desarrollo.

Problemas resultantes de las variaciones temporales en cantidad son

aumentados significativamente por otras características de la lluvia. La intensidad tiende a ser alta en los trópicos, dando como consecuencia que un alto porcentaje de ella caiga en pocos aguaceros fuertes. Esto significa que mucha de la lluvia puede por lo tanto no ser efectiva en el sentido agrícola por cuanto ella nunca llega a estar disponible para las plantas. En lugar de contribuir a formar las reservas de agua del suelo, que podrían ser usadas en las sequías, la escorrentía es considerable, creando problemas de inundación y erosión.

Una de las características de la intensidad es que ella tiende a decrecer conforme se incrementa el tiempo, lo cual se puede apreciar en el esquema siguiente:



Es altamente recomendable analizar estas condiciones para la lluvia que se presenta durante la noche y el día por separado. Por día se define el período que va de las 06:01 a las 18:00 horas y por noche, de las 18:01 a las 06:00 horas. En esta forma se hace más clara y lógica la interpretación del comportamiento de plantas y animales ante la lluvia, radiación solar, brillo solar y humedad del aire, como un todo.

El analizar la lluvia, como el resto de los elementos meteorológicos y climáticos, durante el día y la noche, permite hacer una mejor interpretación de su efecto sobre plantas y animales, al agruparse ellos en condiciones más homogéneas. En el día, por ejemplo, la radiación solar y el brillo solar harán que los organismos vivos reaccionen diferente ante la lluvia, con relación a la noche.

Aguacero, significa la presencia de lluvia, independiente de su cantidad y duración; entre aguaceros debe existir un período sin lluvia mayor de 30 minutos.

Al estudiar la lluvia de una región se debe tener presente la influencia que la topografía ejerce sobre ella. Así, cuando los vientos húmedos encuentran una cadena montañosa, son obligados a elevarse, con lo cual entran en contacto con los niveles superiores de la atmósfera, que al ser más fríos provocan la saturación de esa masa de aire ascendente. Si el aire continúa subiendo, la lluvia empezará intensificándose de acuerdo a las características particulares de temperatura, altitud y grado de humedad. Es el caso del viento de la Región Atlántica (Costa Rica) al chocar con el sistema montañoso del centro del país.

Una vez que la corriente atmosférica alcanza una altura de 2.500 a 3 000 m, aunque el aire se mantenga saturado, una mayor elevación sólo producirá una pequeña lluvia, debido a que la humedad absoluta será muy pequeña a causa de la baja temperatura.

Las laderas expuestas a los vientos húmedos, por lo general, reciben lluvias muy abundantes, y las opuestas muy escasas.

Sequía es la ausencia de lluvia por un período prolongado; durante la estación seca ésta es la característica misma de ella. Pero durante la estación lluviosa la sequía representa para el agricultor una disminución de la disponibilidad de humedad para la producción de sus cultivos que puede llegar a ocasionar la marchitez permanente de ellos.

Cuando el agua comienza a agotarse, son factores importantes la clase de planta (especie o variedad), el tipo y profundidad del perfil de suelo, la estructura radicular y la fase de desarrollo de la planta. Estos factores pueden ser significativos positiva o negativamente para la supervivencia del cultivo, dependiendo de las características de cada uno de ellos.

Temporales, por el contrario, son períodos anormalmente largos de lluvia constante. La lluvia cae al suelo y en primer lugar compensa las pérdidas por la evapotranspiración; si queda más agua pasa a alimentar la reserva del suelo hasta completar la capacidad de campo. Luego el agua que sigue cayendo se escurre a través de los campos hasta llegar a los ríos. Durante un temporal hay un exceso de agua de escorrentía, lo que provoca el desbordamiento de los ríos y en consecuencia las inundaciones. Las plantaciones pueden perderse o afectarse seriamente por esta causa. Los temporales pueden durar hasta 4 semanas.

En general se puede establecer que el balance del agua en el suelo puede ser escrito así:

$$\begin{aligned} \text{Lluvia} + \text{irrigación} &= \text{cambios de humedad en el suelo} \\ + \text{evapotranspiración} + \text{percolación} &= \text{escorrentía.} \end{aligned}$$

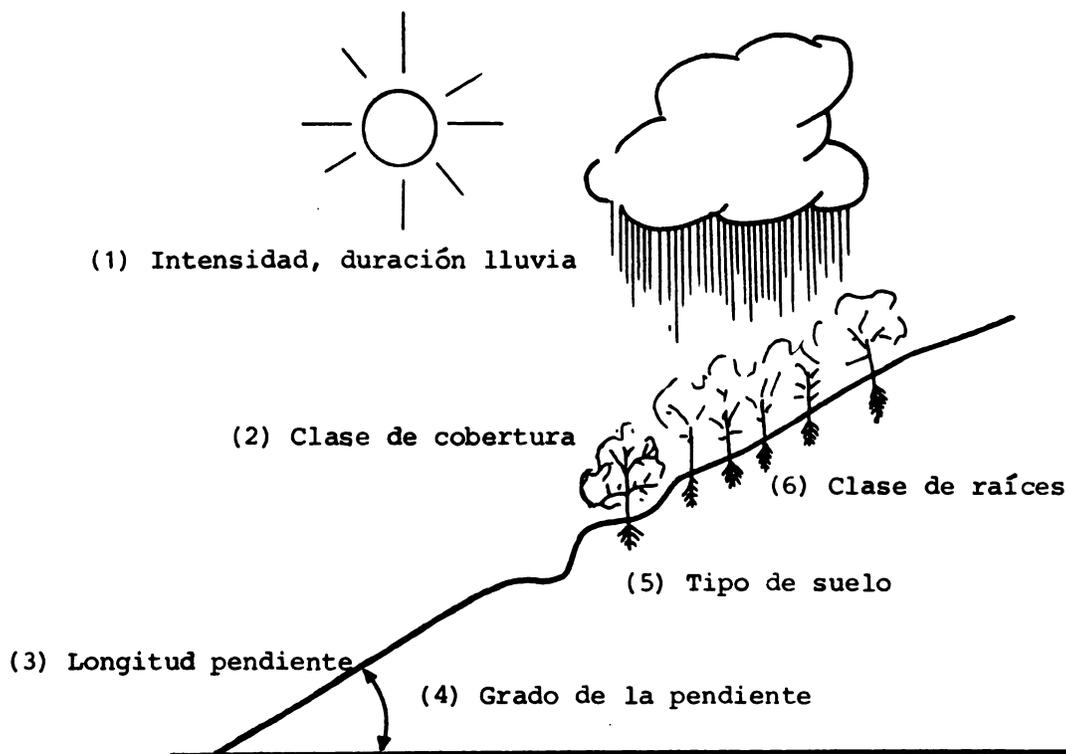
La lluvia cae más rápido de lo que puede ser absorbida por el suelo. Mientras que el coeficiente de infiltración de un suelo relativamente seco puede ser relativamente alto al inicio de la lluvia, este coeficiente tiende a decrecer con el tiempo hasta que se acerca a la conductibilidad

hidráulica promedio del perfil del suelo. La lluvia que no se infiltra puede quedar almacenada temporalmente en las depresiones del suelo o bien escurrir. La escorrentía total de cualquier aguacero dependerá de las características de éste y del suelo. Nuestro conocimiento de la relación del total de la lluvia y del total de la escorrentía es altamente empírico.

Los factores que inciden sobre la erosión del suelo, natural o fomentada por el hombre, son:

- 1) El clima. Dentro de éste los más importantes son la intensidad y duración de las lluvias, así como su cantidad. Se debe considerar, aunque en menor grado de importancia, la temperatura tanto del aire como del suelo.
- 2) La clase de cobertura del suelo.
- 3) La longitud de la pendiente.
- 4) El grado de la pendiente.
- 5) El tipo de suelo (textura, estructura).
- 6) Hábito de crecimiento de las raíces.

En forma gráfica esto puede resumirse así.



Granizos son granos de hielo de forma más o menos esférica que pueden tener mucho aire ocluido; o bien son acumulaciones concéntricas de hielo. El daño causado por el granizo se reconoce inmediatamente, pues las hojas están fragmentadas y cualgan en jirones. Las plantas pequeñas se quiebran con facilidad y en casos extremos ocurre lo mismo con plantas de gran tamaño. Si el punto de crecimiento no sufre daño las plantas se recuperan; en el maíz, por ejemplo, para decidir si se debe resembrar lo dañado por el granizo, debe considerarse el estado del punto de crecimiento más el de las hojas.

La escarcha se produce cuando el rocío se congela, por haberse depositado sobre superficie con temperatura igual o inferior a 0°C. Si la tensión de vapor es muy baja (inferior a 4,6 mm de mercurio) el vapor de agua se congela sin pasar por estado líquido (rocío). Este es el caso más frecuente en países alejados del ecuador.

Los órganos de las plantas o la planta en su totalidad mueren cuando son sometidos a la acción del frío intenso y prolongado. El perjuicio es más grave en suelos orgánicos, porque el calor específico en un volumen dado de suelo es menor que en un suelo con más contenido de minerales. El peligro de ocurrencia de escarcha es mayor en las áreas de bajo nivel, como lo son las llanuras y las ollas topográficas de las laderas, donde el aire frío, por ser más denso, se acumula. Esta escarcha produce efectos dañinos de carácter físico, como la quema de las hojas y yemas terminales; puede dañar también flores y frutos.

Cuando las plantas se secan, se nota en ellas zonas oscuras impregnadas con agua. Uno de los métodos más comunes para la prevención de la escarcha consiste en el uso de quemadores, como lo puede ser el quemar rastrojos o basura para calentar el aire frío que está en contacto con el suelo.

El rocío, depósito de gotitas de agua sobre el césped, vegetación baja y determinados objetos, es frecuente observarlo en las mañanas, posteriores a las noches de calma y despejadas. El rocío se forma cuando el aire que rodea la planta se enfría hasta llegar a su punto de rocío.

Es decir, el rocío no cae como la lluvia sino que se forma directamente en las hojas, flores, etc.

El rocío no se produce cuando el cielo está nublado, ni cuando el viento sopla a velocidades apreciables. La calma favorece su formación. La superficie de una planta se enfriará más intensamente cuanto más expuesta esté a la intemperie (enfriamiento por irradiación) y en consecuencia se recubrirá de una mayor cantidad de rocío; esto explica por qué bajo condiciones iguales, el césped expuesto al aire libre se cubre de rocío, mientras que el que está bajo una arboleda está libre de él. Además del aire frío se requiere una adecuada densidad; aire frío y poco denso no producirá rocío, como puede suceder en las copas de los árboles. Medir el agua que produce el rocío es muy difícil, ya que su cantidad depende de las características de los cuerpos sobre los cuales él se forma.

Los vegetales inferiores (algas, líquenes, bacterias, hongos, etc.) aprovechan perfectamente el agua de rocío; los superiores (epífitos como orquídeas) también lo aprovechan. Los árboles y arbustos de regiones secas demuestran capacidad para su utilización. Plantas como el tomate, han demostrado experimentalmente, ser capaces de absorber agua por las hojas. El rocío también puede significar la pérdida de horas de trabajo en la recolección de cosechas de cultivos como el algodón, trigo, etc. Esto quiere decir que el rocío puede ser útil o perjudicial a la labor agrícola, dependiendo de la época del ciclo vegetativo en que se presente, así como del cultivo mismo y de la influencia que pueda tener sobre otros factores (bacterias, etc.) que incidan también sobre el cultivo.

El rocío es de gran valor para la agricultura, ya que la planta lo asimila por las hojas; esto comprobado por Fowells y Kirk en plántulas de Pinus coulteri.

Slatyer, en un trabajo hecho con plántulas de Pinus echinata apoya la idea de que el rocío puede ser absorbido por la planta, aunque viva en suelos bastante húmedos.

La importancia del rocío ha sido discutida también por Angus, quien afirmó que en un área extensa el máximo de rocío no es superior al 10% del agua transpirada durante el día. Según Angus, el rocío juega dos papeles importantes para las plantas:

- a) De carácter pasivo, demorando al aumento de temperatura al día siguiente y también el comienzo de la tensión máxima de transpiración.
- b) Activo ya que es tomado por la planta e incorporado a su ciclo líquido dinámico.

EVAPORACION

La evaporación tiene lugar siempre que se comunica energía a una superficie capaz de evaporarse, si la presión de vapor de aire está por debajo del valor correspondiente a la saturación. El cambio de líquido a vapor requiere energía, que se emplea para vencer la atracción intermolecular de las partículas de agua. Esta energía se obtiene generalmente absorbiendo calor de los cuerpos situados en las proximidades, lo que origina una pérdida aparente de calor (calor latente) y el consiguiente descenso de temperatura. El calor latente de vaporización necesario para evaporar 1 gramo de agua a 0°C es de 600 calorías y a 100°C de 540. Por el contrario, durante la condensación se desprende este calor. La humedad del aire atenúa la oscilación diaria de la temperatura, porque durante el día se produce la evaporación y durante la noche condensación.

Considerada desde otro punto de vista, la evaporación implica un aumento de la energía cinética de cada una de las moléculas de agua y a medida que aumenta su velocidad, se hace mayor la posibilidad de que algunas moléculas de la superficie escapen hacia la atmósfera. Puesto que las moléculas más rápidas serán generalmente las primeras en escapar, la energía media de las que constituyen el líquido restante disminuirá y la cantidad de energía necesaria para que sigan escapando moléculas serán por consiguiente mayores. De este modo, la evaporación hace disminuir la temperatura del líquido restante en cantidad proporcional al calor latente de vaporización.

En esta forma la evaporación se distingue de la ebullición así:

- bajo una presión atmosférica dada, la evaporación se puede producir a cualquier temperatura, mientras que la ebullición se produce únicamente a los 100°C;
- en la ebullición el agua pasa al estado gaseoso en forma tumultosa pero en la evaporación lo hace tranquilamente.

En zonas secas o durante épocas secas, la medición y control de la evaporación adquiere gran importancia. El conocer la pérdida por evaporación es necesario para el planeamiento de sistemas de riego, diques, etc.

Los principales elementos meteorológicos que influyen sobre la evaporación son la radiación solar, la tensión de vapor del agua, la velocidad del viento. Sin embargo, los factores más importantes son la diferencia entre la presión de vapor de saturación en la superficie del agua y la presión de vapor del aire y el suministro continuo de energía hacia la superficie. La velocidad del viento puede afectar también a la velocidad de evaporación. La velocidad de la evaporación varía según las horas del día y la época del año.

La pérdida de agua que experimentan las superficies de las plantas,

principalmente las hojas, es el fenómeno que recibe el nombre de transpiración. En la actualidad se ha generalizado el término evapotranspiración para designar el proceso combinado de evaporación desde el suelo y transpiración de las plantas.

Las hojas de la planta, normalmente expuestas al aire, pierden agua por evaporación, salvo si la atmósfera está saturada de vapor. El calor del sol evapora el agua de las superficies de las células del mesófilo y el vapor de agua que resulta escapa por los estomas. Esta pérdida de agua, llamada transpiración, ocurre en todas las partes expuestas, pero el fenómeno es mayor en las hojas. La velocidad de transpiración es muy baja durante la noche, cuando los estomas suelen estar cerrados y la temperatura más baja reduce la velocidad de evaporación. Los estomas también tienden a cerrarse durante la última parte de la tarde en un día caluroso. Esto reduce grandemente la velocidad de transpiración y conserva el suministro de agua de la planta. Si las plantas disponen de bastante agua, los estomas siguen abiertos y pueden eliminar cantidades sorprendentes. Sólo una pequeña fracción, 1 ó 2%, de toda el agua absorbida por las raíces se emplea en la fotosíntesis; el resto pasa a través de los estomas como vapor de agua en el proceso de la transpiración. Si la planta no tiene bastante agua, las células de protección de sus estomas pierden turgencia, los estomas se cierran y se conserva el líquido.

Los numerosos y pequeños orificios de los estomas proporcionan una vía notablemente eficaz para la difusión de vapor de agua, oxígeno y bióxido de carbono. Aunque el área total de los poros es sólo 1 a 3% del área total de la hoja, la velocidad de difusión por los estomas es de 50 a 75% de la velocidad a través de una superficie abierta igual al área de la hoja. A la luz solar, una planta pierde como promedio unos 50 mililitros de agua por metro cuadrado de hoja por hora. Una planta ordinaria de maíz gasta casi 200 litros de agua en su período de crecimiento; un árbol de tamaño medio pierde esa cantidad en un solo día. La cantidad de agua perdida varía mucho según la planta; por ejemplo, se calcula que media hectárea de maíz pierde 1,400.000 litros de agua en su período de crecimiento mientras que los cactus no utilizan más de 1.100 litros por año.

La transpiración ayuda a enfriar las hojas, igual que la evaporación del sudor de los animales. Aunque la hoja absorbe casi el 75% de la luz solar que le llega, sólo se utiliza del 1 al 3% en la fotosíntesis; el resto se transforma en calor que debe eliminarse, pues de lo contrario mueren sus tejidos. La mayor parte de este calor se elimina por la transpiración y el resto por radiación y convección.

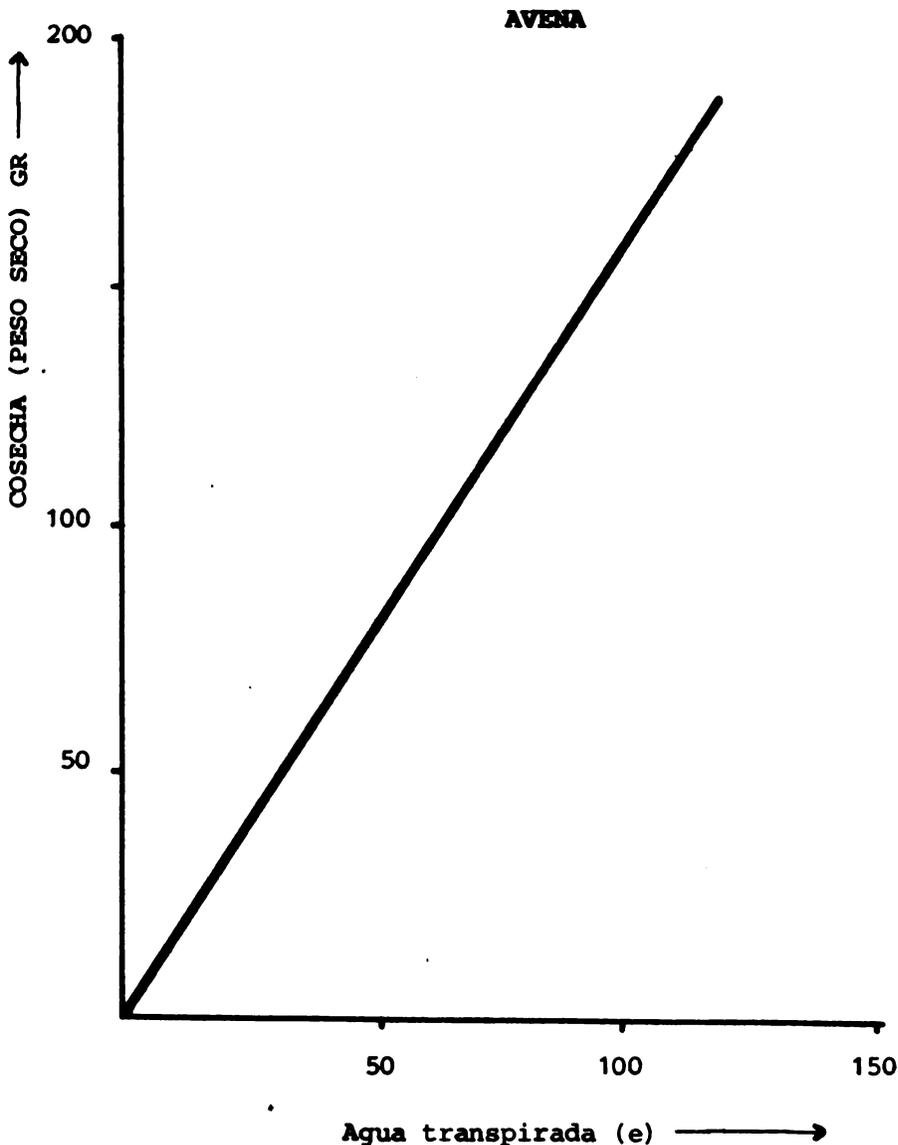
La evapotranspiración depende, además de las causas meteorológicas, de las características físico-químicas del suelo y la clase de cobertura vegetal, incluyendo la fase de desarrollo dentro del ciclo vegetativo del cultivo. El contenido de humedad del suelo condiciona la pérdida de agua por evapotranspiración; a medida que la humedad del suelo disminuye, también lo hace la evapotranspiración. La transpiración de las plantas varía según la especie.

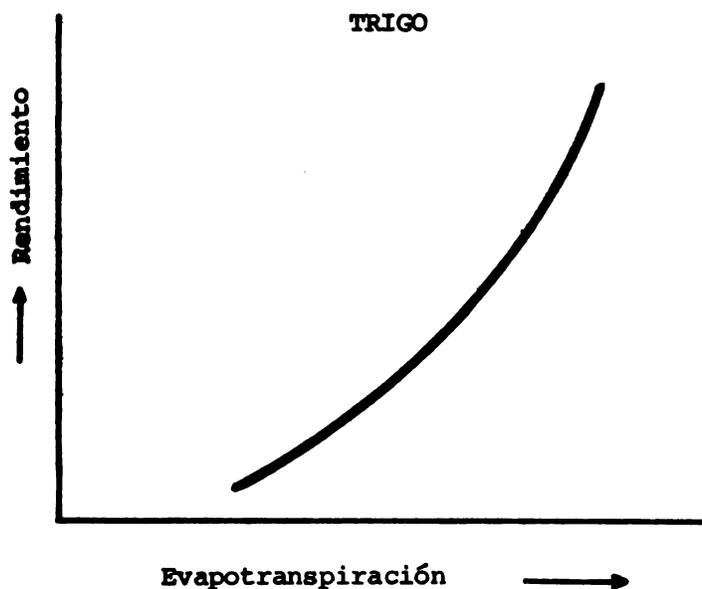
Tchman

Thornthwaite, estadounidense, introdujo el término de evapotranspiración potencial para designar a la cantidad de agua que el suelo puede evaporar y las plantas transpirar si él tuviese un contenido óptimo de humedad (capacidad de campo) y la cobertura vegetal fuese completa.

Evapotranspiración real es la cantidad de agua que realmente llega al estado de vapor a la atmósfera por la evaporación y transpiración, en circunstancias reales, como puede ser en un cultivo de maíz, en un tipo y cantidad de humedad de suelo dados, bajo condiciones meteorológicas también reales. De acuerdo a esto, la evapotranspiración real puede ser inferior o igual a la potencial, pero nunca superior a ésta.

Menos del 1% del agua que pasa por la planta es utilizada en la fotosíntesis; sin embargo, se ha encontrado experimentalmente una relación directa entre agua evapotranspirada y producción, como es el caso de la avena y del trigo, según puede observarse en los dos gráficos que siguen.





Se han propuesto varios métodos para determinar teóricamente la evaporación y la evapotranspiración. La evaporación se puede medir directamente de las superficies de agua, usando por ejemplo el tanque estandar de evaporación.

Se han hecho cálculos para determinar la relación entre evapotranspiración potencial y la evaporación leída en el tanque estandar. Algunos de estos resultados son los siguientes:

Relación: EVAPOTRANSPIRACION POTENCIAL

Tanque estandar

	X		JOVEN		MADURO	
Pasto	0,90					
Sorgo			0,3		1,15	
Algodón					1,00	
Maíz			0,27		0,90	
Caña de azúcar			0,40		1,00/1,40	
Arroz	1,10					
Café (Kenya)					0,8	
CAÑA AZUCAR:						
Edad Meses	1	2	4	6	18,5	22,5
Tasa	0,4	0,45	0,75	0,95	1,00	0,85

VIENTO

Las observaciones del viento son diferentes, por ejemplo de las de temperatura o presión, en cuanto a que dos cantidades deben ser observadas: dirección y velocidad. Es decir, el viento es el aire en movimiento y como tal tiene dirección y velocidad. La dirección se indica por el punto de donde procede; es decir, si el viento viene del norte se dice que es del "Norte"; a fin de simplificar el registro de la dirección se usan sólo los siguientes puntos de referencia:

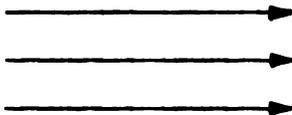
N = norte	SO = suroeste
NE = noreste	O = oeste
E = este	NO = noroeste
SE = sureste	

Para la velocidad se usan los metros por segundo, aunque se pueden expresar también en kilómetros por hora. Un metro por segundo es igual a 3,6 kilómetros por hora. Si el viento tiene una velocidad menor a 3,7 Km/hora se dice que hay calma y ésta se expresa con una C.

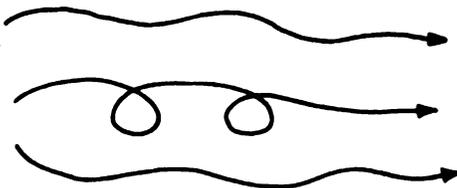
Su movimiento raras veces es ordenado, laminar; es más bien desordenado, turbulento, acompañado de fuertes oscilaciones en velocidad y dirección. Las ráfagas corresponden a los valores máximos registrados en cierto tiempo: 1 hora, 1 día, etc. Esto se puede representar en la siguiente forma.

FLUJO:

Laminar: Elementos del flujo uno encima del otro.



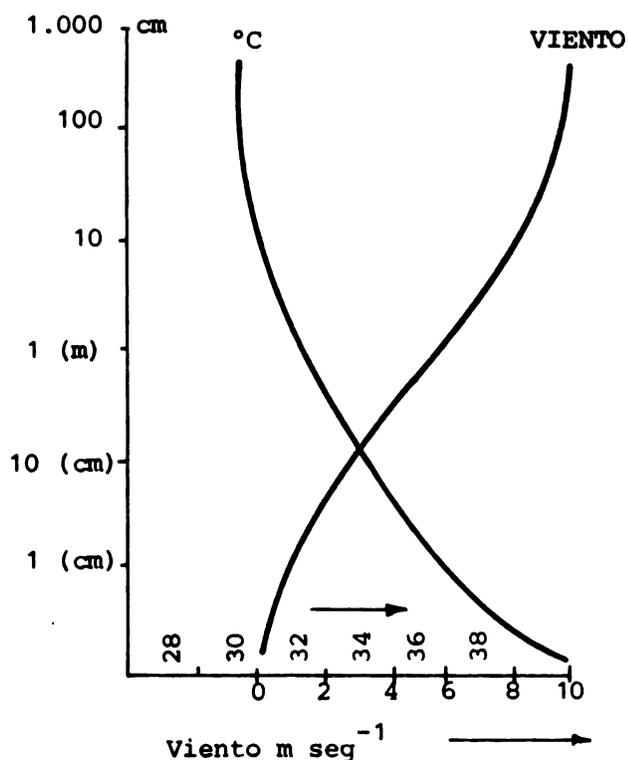
Turbulento: Elementos del flujo completamente al azar.



Dirección y velocidad son sensibles a la influencia de edificios, árboles y otros obstáculos. Es por lo tanto difícil obtener mediciones del viento representativas del flujo del aire a una distancia de varios Km del punto de observación.

La fricción entre el aire en movimiento y la superficie (suelo o cultivo), retarda el movimiento del aire cerca de esa superficie. La capa de aire cerca de esta superficie, sensible a esta influencia de fricción, se conoce como capa de fricción. La parte superior de esta capa se extiende a alturas desde varios cientos de metros hasta 1 o más Km dependiendo de las condiciones meteorológicas y topográficas. Sobre la parte superior de esta capa friccional, está la atmósfera libre; libre en el sentido de no estar directamente afectada por fuerzas de fricción originadas en la superficie de la tierra.

Cerca del suelo, la velocidad del viento aumenta rápidamente con la altura, conforme se indica en el siguiente esquema.



En general la velocidad del viento aumenta con la altura, en la capa de fricción, según la ecuación:

$$u = u_{10} \left[\frac{z}{z_{10}} \right]^{1/7}$$

la cual se puede usar bajo condiciones meteorológicas promedio.

Aquí u_{10} es la velocidad media a una altura estandar z_{10} de 10 m y u es la velocidad media a una altura mayor z .

Sobre un terreno con muchos obstáculos (áspero) la velocidad del viento

es mucho menor que sobre un terreno limpio de obstáculos o sobre el agua. Una relación aproximada de esto es la siguiente:

Terreno áspero	$u_s = 0,5 u_f$
Terreno promedio	$u_s = 0,8 u_f$
Terreno limpio o sobre agua	$u_s = 0,9 u_f$

Donde:

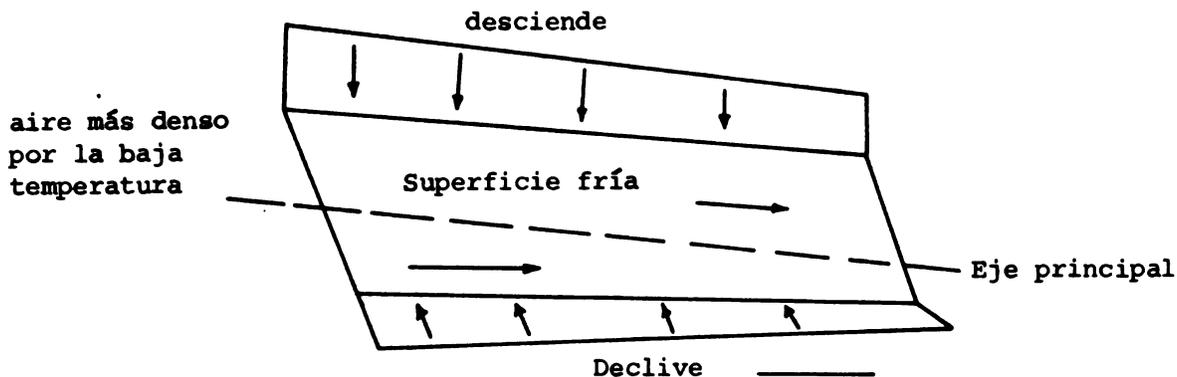
u_s = velocidad en la superficie

u_f = velocidad en la atmósfera libre

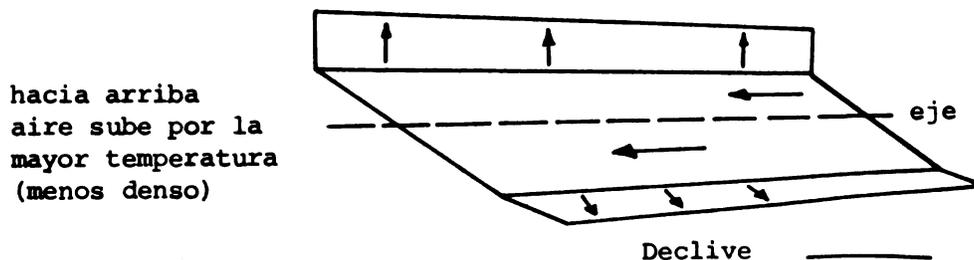
Durante el día el viento de superficie tiende a ser más grande en relación al de la noche.

Los vientos en un valle son aquellos que se mueven hacia abajo y hacia arriba sobre el eje mayor del valle. Se mueven en la siguiente manera:

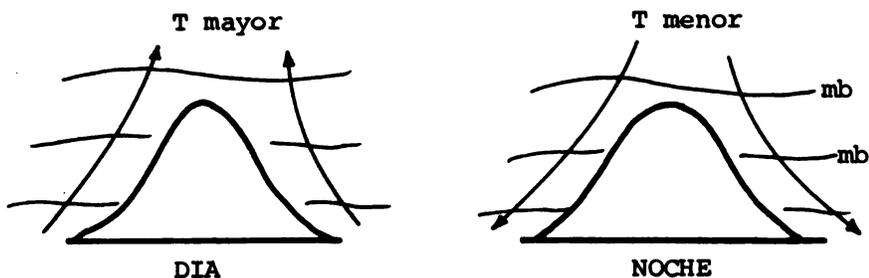
VIENTOS DEL VALLE DURANTE LA NOCHE (DESPEJADA)



VIENTOS DEL VALLE DURANTE EL DIA (DESPEJADO)



VIENTOS DEL VALLE VISTOS DE PERFIL
PARA EL DIA Y LA NOCHE

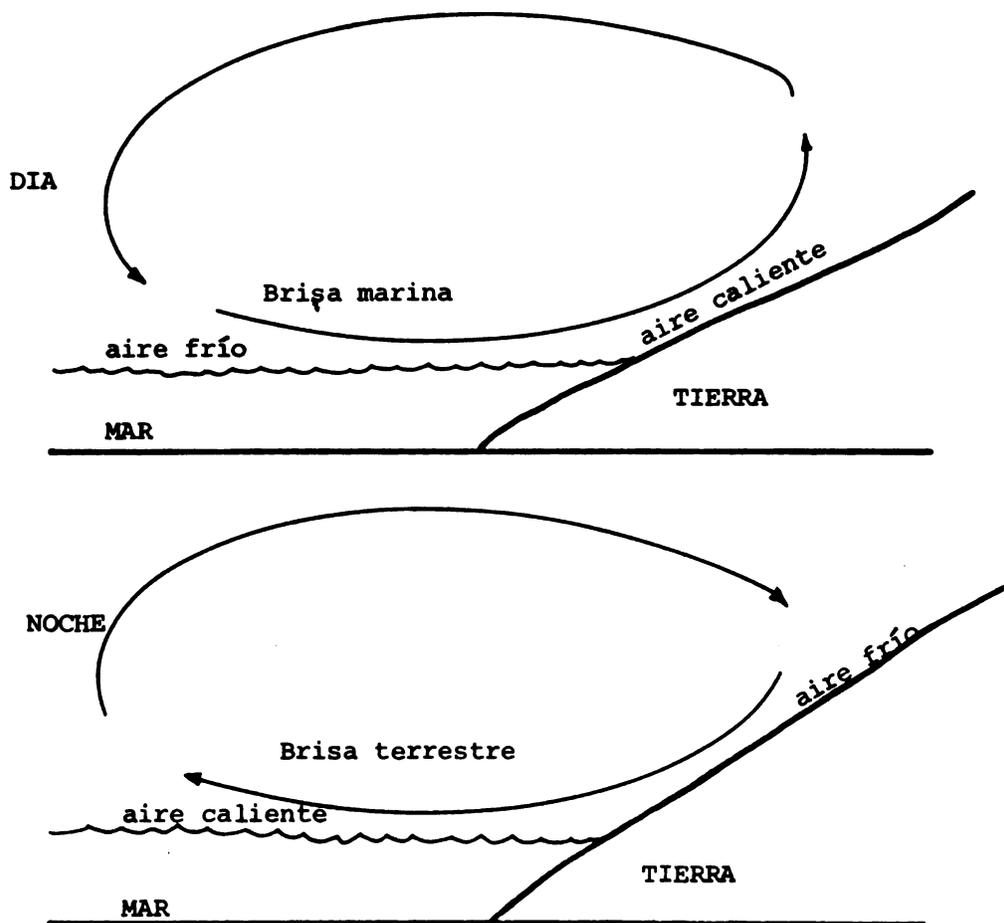


T = temperatura
mb = Milibarios = unidad de medida de la presión atmosférica
1 mb = 0,75 mm
1 mm = 1,33 mb

Llámense alisios los vientos sumamente regulares y constantes que soplan en las vecindades de las regiones ecuatoriales; provienen del noreste en el hemisferio norte. Si el alisio sopla del mar hacia la tierra las lluvias son abundantes, como sucede en la región Atlántica en Centro América. La presencia de la Cordillera Central hace disminuir las lluvias sensiblemente hacia el Valle Central. En Costa Rica los alisios se presentan en diciembre y llegan hasta abril; en general se puede decir que están presentes durante toda la estación seca del país, en el Valle Central y de la región Pacífica.

Los vientos locales de mar a tierra y de tierra a mar son regulares y su presencia depende del grado de calentamiento tanto de la masa sólida (tierra) como de la acuosa (agua) y de acuerdo a la diferencia de temperatura de las dos masas, se establece la corriente de aire. Si es de mar a tierra se conoce como brisa marina. Durante la noche y el amanecer, una brisa permanente y débil sopla de tierra a mar. Cerca de dos horas después de salir el sol, esta brisa desaparece y el aire es rápidamente calentado por el sol. Alrededor de 3 horas después de salir el sol se desarrolla una brisa fresca del mar, primero cerca de la costa y luego se va extendiendo en ambas direcciones y haciéndose más y más intensa hasta cerca de las 2 de la tarde. A esta hora su velocidad es corrientemente de 3 a 6 m/segundo (10,8 a 21,6 Km/hora respectivamente) y es mucho mayor que la velocidad máxima alcanzada durante la noche (1,5 m/seg., igual a 5,4 Km/h). Cerca o después de la puesta del sol, la brisa marina cesa y es reemplazada de nuevo durante la primera mitad de la noche por un sistema débil de brisa terrestre. Este sistema de brisas se presenta cada 24 horas regularmente. Esta regularidad se incrementa con la disminución de la nubosidad y con la

disminución de los disturbios a escala sinóptica (escala regional) o por los flujos (sistemas de vientos) de acción regional. Este sistema de brisas se puede ver esquemáticamente en la siguiente figura:



El viento constituye uno de los factores climáticos que afectan el desarrollo de las plantas, propagación de semillas, esporas, etc. Efectúa la polinización de las plantas anemófilas, para lo cual es importante considerar su dirección al tiempo en que se desprende el polen. Tanto el polen como las semillas pueden ser llevadas a grandes distancias del punto de origen. Los vientos fuertes interfieren con las actividades de los insectos durante la polinización.

La presión del viento ocasiona el doblamiento y la deformación de árboles y arbustos. El efecto de los vientos fuertes en los cultivos puede ser tan apreciable como que físicamente pueden ser destruidos en su totalidad cuando son mayores de 96 km h^{-1} ; a esta velocidad inclusive los árboles grandes son afectados, quebrándose total o parcialmente.

El aire en movimiento con una velocidad inferior a 24 Km/h (86,4 m/seg) es capaz de causar considerable daño mecánico a brotes de hojas por agitación o doblamiento hasta quebrarlas, doblarlas o constreñirles los tejidos vasculares de las venas principales, pecíolos y tallos; esto reduce mucho el transporte de agua en la planta. El viento hace que choquen violentamente las hojas pendientes entre sí y con el tallo, que rasgándolas en tiras o secciones reduce mucho su eficiencia fotosintética y por lo tanto, disminuye su intensidad de asimilación neta.

La magnitud de la presión del viento aumenta con el cuadrado de su velocidad, así es que un aumento ligero en su velocidad puede aumentar el daño causado cuando choca con la superficie de la planta, hasta llegar a la destrucción completa. El viento además tiene marcada influencia sobre el aumento en la evapotranspiración de la planta y en la erosión del suelo.

Para la prevención de los daños causados por el viento, debe primero tomarse en cuenta muchos factores antes de realizar la siembra, tales como:

- zona: debe conocerse cuánto es afectada por el viento y en qué épocas (velocidades medias, ráfagas, duración, presencia, etc.
- cultivo: altura y resistencia al viento.
- época de siembra y ciclo del cultivo: en relación a las épocas con vientos fuertes.

La evaporación y la evapotranspiración son afectadas por la velocidad del viento, de manera que altas velocidades incrementan estos fenómenos y las necesidades de agua disponible aumentan.

El perjuicio causado a los brotes y a las yemas de lado del viento, es a menudo acompañado por un aumento del crecimiento en el lado protegido (crecimiento en bandera).

Experimentos controlados han demostrado que la transpiración se incrementó con la velocidad del viento hasta cierto punto, más allá del cual no se incrementa, sino que decrece ligeramente con alta velocidad del viento. La relación exacta entre viento y transpiración, varía grandemente entre especies de plantas. Se encontró que el viento ejerce una mayor influencia sobre la transpiración cuticular que sobre la transpiración estomatal. Por consiguiente, sólo plantas con alta transpiración cuticular, (hidrófitas), muestran un apreciable incremento en la transpiración resultante de la acción del viento. Bajo condiciones naturales, el efecto del viento sobre la transpiración variará de acuerdo a la escabrosidad o aspereza determinada por la configuración de la superficie. Se ha reportado, por ejemplo, un incremento en la tasa de transpiración del "coco" a plena luz del sol, de cerca de un 100% con una velocidad de viento estimada en 8 Km/hora. En cambio, con la cobertura completa y la superficie de la cápsula más o menos uniforme y lisa, el efecto del viento sobre la transpiración es usualmente pequeña, siendo más importante la radiación solar en la transpiración. De estos estudios de la correlación entre factores del medio ambiente y tasa

de transpiración para el período de crecimiento, se concluye que sólo de 2 a 6% de la pérdida de agua puede ser atribuída al viento.

Por supuesto, el efecto del viento sobre la transpiración varía con la cantidad de calor y la humedad del aire, sobre la superficie de las plantas; en climas áridos, secos y de vientos calientes, frecuentemente causan rápido marchitamiento de las plantas.

La tasa de fotosíntesis aumenta con la suplenia de CO_2 , la cual se ve favorecida por la turbulencia.

Altas velocidades de viento son dañinas para el crecimiento de las plantas. La configuración peculiar de los árboles de las áreas de montañas es típico de esto (formación en bandera).

Hojas dañadas mecánicamente por el viento tienen una reducida capacidad de fotosintetizar y de traslocación (Hartt). En un estudio completo (Hartt) en caña de azúcar resumió: cuando solamente la vena media de la hoja de caña de azúcar (var. 50-7209) fue rota y la lámina se presentó intacta, la traslocación fue inhibida de 34 a 38%; la medida de la fotosíntesis sobre la lesión en una hoja similar fue inhibida un 30%. Cuando ambas venas medias y láminas, fueron quebradas, la traslocación fue inhibida de 99 a 100% y la fotosíntesis sobre la lesión en hoja similar fue inhibida 84%. La traslocación fue medida 6 horas después de presentada la lesión y la fotosíntesis el día siguiente de la lesión, usando diferentes hojas. Determinaciones de humedad en las hojas indicaron que la inhibición de la fotosíntesis no fue debido a pérdidas de agua. Cuando la hoja fue raída (var. 49-5) cerca de la rotura a lo largo de la lámina, la traslocación fue disminuyendo cerca de 54 a 60% y la fotosíntesis medida inmediatamente, de 38 a 54%.

Todas las plantas sin embargo, no reaccionan de igual manera a vientos fuertes. Whitehead ha clasificado las plantas en 3 grupos:

- Las que evaden la exposición. Estas son generalmente plantas pequeñas y como tal son menos afectadas por vientos fuertes.
- Plantas tolerantes a la exposición. Las plantas en este grupo (Ej.: cebada) muestran una marcada disminución de producción de materia seca, con el aumento en la velocidad del viento, pero a una tasa un poco menor que el próximo grupo.
- Plantas susceptibles a la exposición. Son afectadas por velocidades de viento fuerte a tal grado que ellas no sobreviven en áreas totalmente expuestas. La altura de la planta y la producción de materia seca decrecen rápidamente con el incremento de la velocidad del viento.

Plantas que deben estar creciendo en altas condiciones de viento desarrollan ciertas características fisiológicas. En general, tienen una gran

cantidad de raíz en comparación con su porte o tamaño y frecuentemente exhiben caracter xerofítico, tales como hoja ancha y gruesa y gran número de estomas por unidad de área de la hoja.

Como el viento fuerte aumenta la transpiración y disminuye la producción de materia seca, la eficiencia del uso de agua podría ser reducido. En un "lote" experimental, usando clavelón como representante de plantas que doblan sus ramas al crecer, Finnel (1928) encontró que el uso eficiente del agua de la planta expuesta a una constante velocidad de viento de 26 Km/hora fue solamente cerca de la mitad de otra planta creciendo en aire calmado.

En pepino, la cantidad de agua absorbida por la planta a una velocidad de viento de 1,15 m/seg. fue de 478 y 625 mgr/dm²/hora a intensidades de 0,6 y 0,15 cal/cm²/min respectivamente. Cuando la velocidad del viento fue reducida a 0,37 m/seg., la cantidad de agua absorbida decreció rápidamente a las altas intensidades de radiación, pero más gradualmente a baja intensidad. La temperatura de las hojas fue baja cuando la tasa de absorción de agua fue la más alta debido a los efectos de la transpiración.

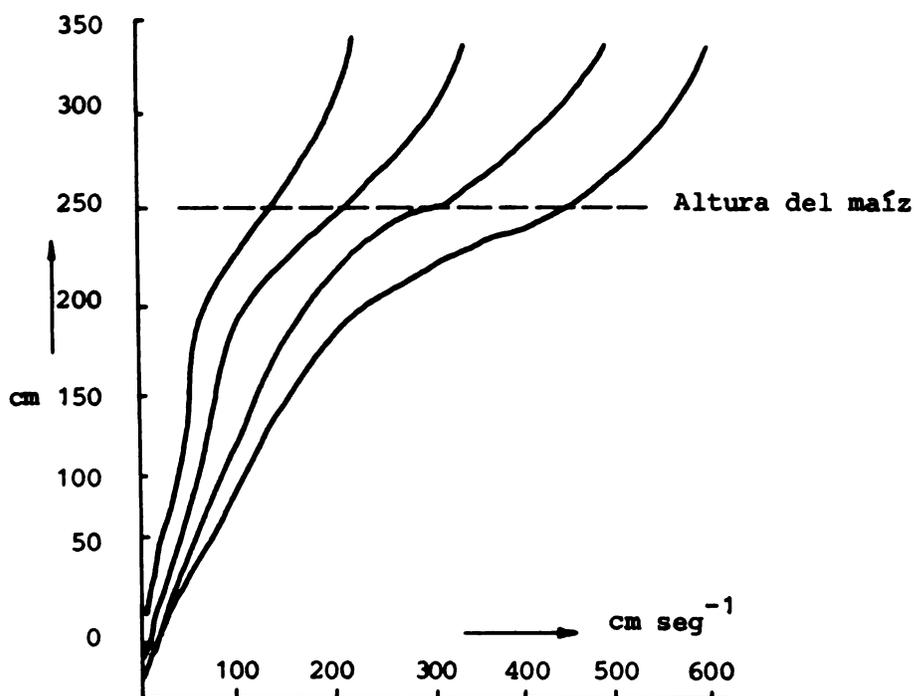
El aire que se halla junto a la hoja que transpira se va cargando más y más de vapor de agua en la zona inmediata a su superficie. En estas condiciones el gradiente de presión de vapor se va haciendo menos pronunciado y la velocidad de transpiración disminuye. Sin embargo, cuando el viento sopla y arrastra el vapor de agua concentrado en las proximidades de la superficie de la hoja, la transpiración vuelve a acentuarse.

El aumento de la transpiración provocado por el viento no es proporcional a su velocidad. Diversos investigadores han demostrado que cuando las plantas se exponen bruscamente al viento, se produce un acusado incremento de la velocidad de su transpiración, seguido por una disminución lenta de este incremento, lo cual pone de manifiesto que el efecto del viento sobre la transpiración debe ser bastante complejo.

Es fácil darse cuenta que al soplar el viento sobre una superficie donde tiene lugar una evaporación, producirá efecto refrigerante significativo lo cual podría disminuir el gradiente de presión de vapor y con él, la velocidad de transpiración. Además, los vientos de elevada velocidad pueden llegar a provocar el cierre de los estomas.

Puede concluirse entonces que los procesos de transpiración, intercambio de CO₂ y otros como rotura, pueden obviarse o mejorarse con movimientos moderados del viento. En otras palabras, velocidades adecuadas del viento son lo mejor para el crecimiento de las plantas. Naturalmente la óptima velocidad del viento varía con las especies y el medio.

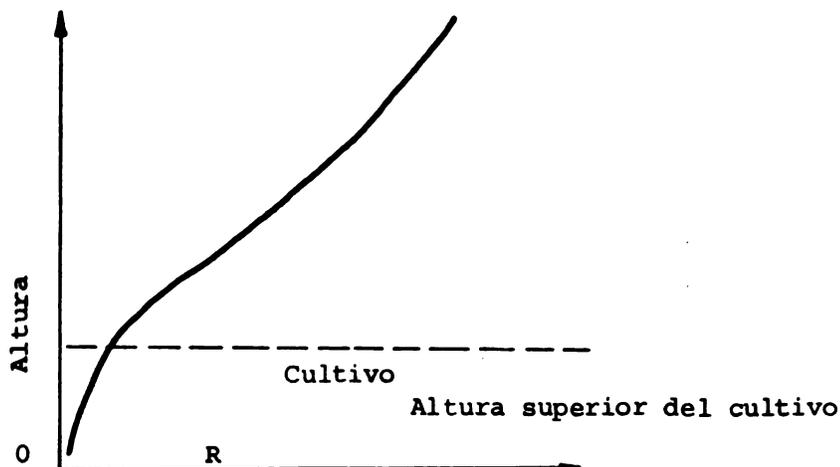
Estudios del viento y su velocidad en un cultivo de maíz han sido hechos, por ejemplo, por Stoller y Lennon, (1963). Ellos estudiaron la velocidad del viento dentro y sobre el follaje, habiendo encontrado el siguiente comportamiento.



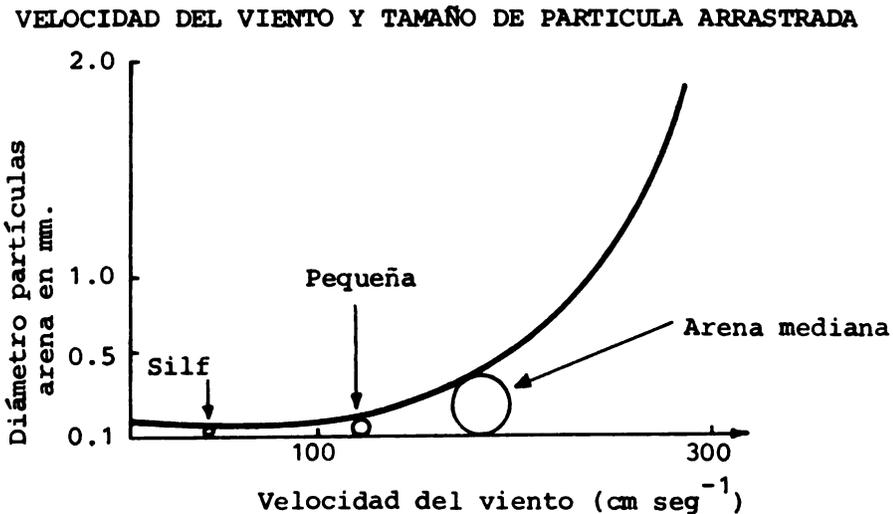
Se puede ver cómo la velocidad del viento aumenta sobre el follaje aún cuando hay también un incremento de la velocidad dentro del follaje, especialmente cerca de un límite exterior. Estos resultados son un poco diferentes que los obtenidos por Pennan y Long (1960), quienes observaron que el maíz tendía a "sellarse" con el aumento de la velocidad del viento.

En general, el comportamiento de la velocidad del viento se puede representar de la siguiente forma:

COMPORTAMIENTO GENERAL DEL PERFIL DEL VIENTO DENTRO Y FUERA DE UN CULTIVO



Estudios de erosión del suelo causada por el viento, concluyen que las primeras partículas que son arrastradas sobre la superficie del suelo mismo, son las partículas de arena. El tamaño de estas partículas que son arrastradas depende de la velocidad del viento, según se puede ver a continuación:



Desde luego que también la turbulencia levanta las partículas del suelo y las lleva así en "suspensión" a otros lugares.

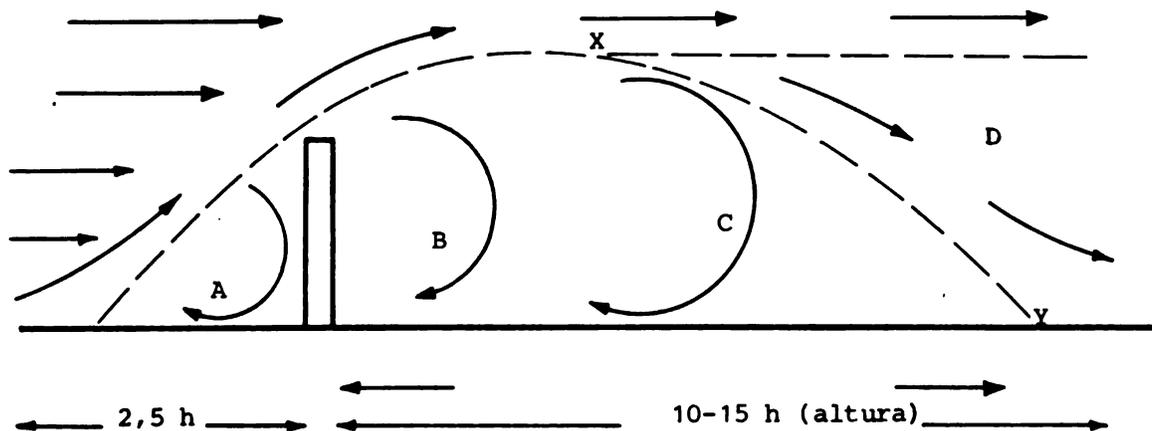
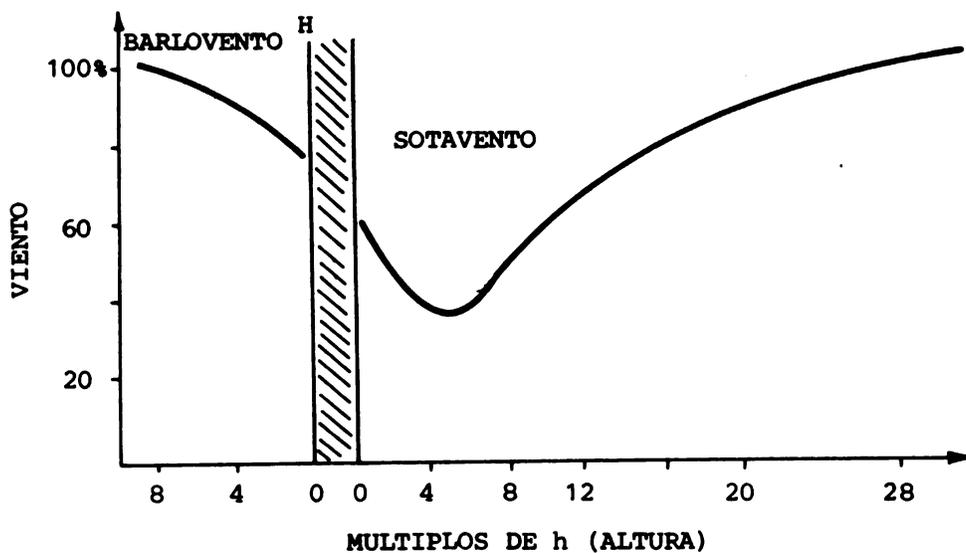
Rompevientos

Todo aquello que se opone al viento se llama rompeviento; está compuesto por una o varias filas de árboles y arbustos en dirección perpendicular al viento y dispuestos de tal manera que lo obliga a elevarse sobre sus copas.

Históricamente la construcción de rompevientos probablemente constituye uno de los primeros intentos por modificar el microclima.

Las cortinas tapavientos sirven fundamentalmente para evitar daños mecánicos a las plantas y la erosión eólica.

Ha sido demostrado en general que si la altura del rompeviento es (h), se logra una reducción significativa de la velocidad en una distancia de 30-40h, aunque dentro de los primeros 5-10 h se experimenta casi una calma, como aparece indicado en los dos esquemas que siguen. Se indica en detalle el comportamiento del viento antes y después de la barrera rompevientos,

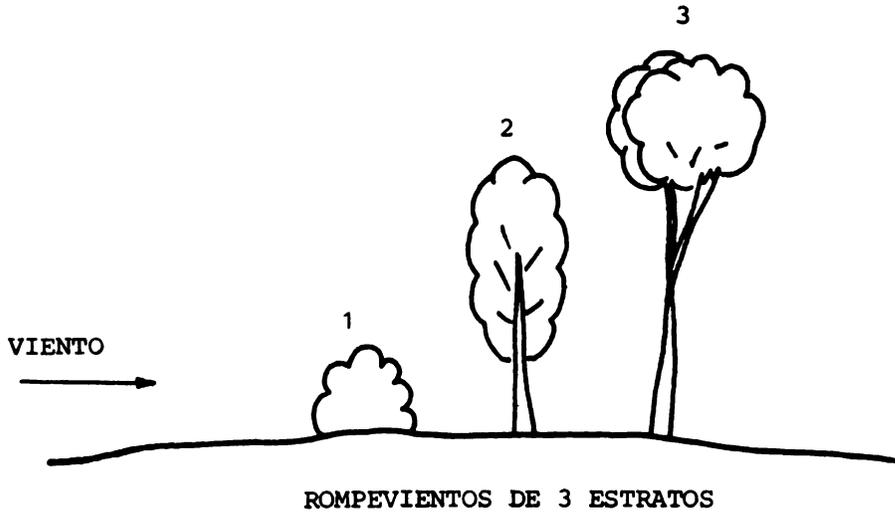


- A = Presión
- B = Succión
- C = Turbulencia
- D = Poca Turbulencia
- X-Y = Borde separador

Protección

ZONAS

Las cortinas rompeviento pueden estar formadas por 1, 2 ó 3 estratos protectores, correspondientes a especies vegetales que desarrollan su follaje a nivel de suelo, media altura o alturas mayores, así:

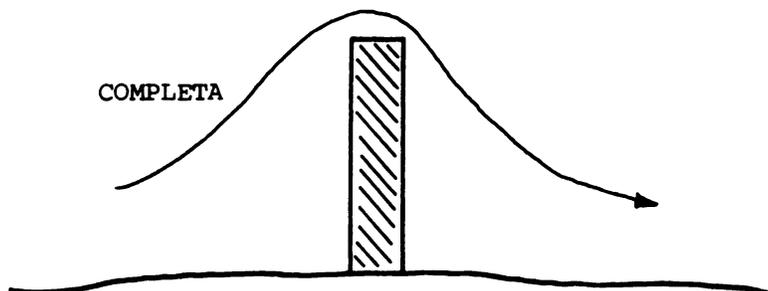


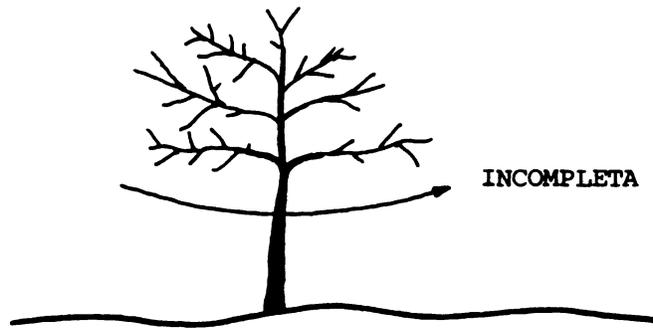
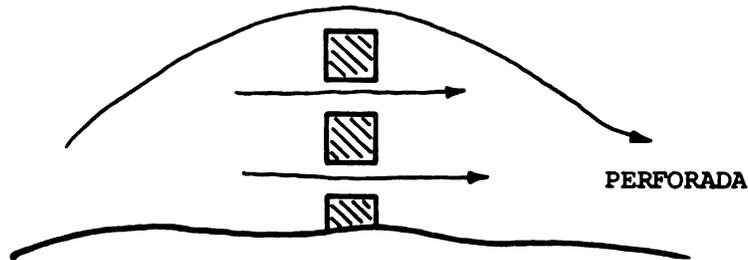
- 1 = puede ser una gramínea de gran crecimiento (ejemplo: zacate limón) o bien otra especie que crezca en esa forma (ejemplo, amapolas).
- 2 = arbusto
- 3 = árbol

El tipo de árbol que se use depende del grado de exposición del sitio, la velocidad del viento y la estatura del cultivo que debe ser protegido. Los árboles deben ser fuertes, no quebradizos, resistentes a plagas y enfermedades, de rápido desarrollo, frondosos y principalmente no deben significar una fuerte competencia para el cultivo, en lo que se refiere a nutrimentos, suelo y espacio radical.

Se establecen las siguientes 3 clases de barreras, de acuerdo al grado de protección que brindan.

CLASES DE BARRERAS:





Cualquier obstáculo que reduzca la turbulencia del aire entre el follaje de los árboles o cultivos, reduce la velocidad y la cantidad de transpiración. Los rompevientos contribuyen a disminuir la transpiración de las plantas al disminuir la remoción del aire sobre la superficie de las hojas, lo que provoca también un aumento en la temperatura y en la humedad relativa. Estos efectos son mayores a menor distancia del rompeviento.

Se ha observado en experimentos realizados que los rompevientos disminuyen $\frac{1}{3}$ la evaporación en relación con una parte plana sin protección y que la evaporación en trigales de ciclo corto, en las zonas protegidas, es dos veces inferior a las de las zonas sin proteger. Además se ha encontrado, en zonas secas, que las pérdidas de agua por evaporación se reducen en un 20% al abrigo de los rompevientos forestales.

El efecto de la sombra puede provocar un considerable aumento de la humedad relativa y una disminución en la intensidad fotosintética del cultivo, acercándose a la saturación durante parte del día y la noche. La diferencia de temperatura causada por la sombra, en los trópicos, puede alcanzar valores de hasta 20°C entre las hojas a plena exposición y las que están bajo sombra.

De acuerdo a su respuesta favorable a la protección del viento, se han agrupado algunos cultivos en las siguientes categorías.

- De baja respuesta: maíz y plantas de pequeños granos duros (sorgo).
- De mediana respuesta: arroz, alfalfa y trébol.
- De alta respuesta: papa, tomate, pepino, fresa, melón, citrus, tabaco, té, banano, café, etc.

Influencia del rompeviento en el régimen térmico. Respecto a la temperatura del aire durante el día, la influencia de los rompevientos es benéfica, puesto que en la época seca las temperaturas medias disminuyen en la zona protegida en comparación con la zona libre; en la época lluviosa aumentan. Cuanto más baja sean las temperaturas en la época lluviosa, más eficientes son los rompevientos, en lo que se refiere al aumento de la temperatura del aire. En cuanto al régimen térmico nocturno, se ha experimentado que la existencia de los rompevientos aumenta el peligro de heladas, ya que el enfriamiento nocturno depende del viento y los fenómenos de condensación y radiación neta.

Influencia de los rompevientos en la humedad del aire. La humedad absoluta depende del contenido de vapor de agua en el aire y del desplazamiento de ese vapor por efecto del viento, por lo que se puede deducir que los rompevientos tienden a aumentar la humedad absoluta del aire.

El efecto sobre la humedad relativa es más complejo ya que interviene la temperatura del aire. Según se cree el rompeviento aumenta la humedad relativa hasta en un 4%.

Influencia de los rompevientos en el clima del suelo. El régimen térmico en el suelo, protegido por rompevientos, es importante ya que influye en el crecimiento de la planta. En suelo desnudo se aumenta la temperatura del suelo al disminuir la pérdida de calor por evaporación y en suelo cubierto la temperatura del suelo disminuye.

Influencia de rompevientos en el rendimiento de cosecha: Privan en cierto grado de la radiación solar a los cultivos. La intensidad de este hecho varía con las condiciones locales y la clase de cultivo.

De acuerdo a las condiciones locales:

- Depende de la latitud; a mayor latitud, más tangentes son los rayos solares y a igual altura de rompevientos, mayor superficie de sombra.
- Depende de la época del año; en invierno los rayos se apartan más de la perpendicular.
- Depende de la orientación del rompevientos, resultando ser los más perjudiciales, los orientados en el sentido Este-Oeste.

Los agricultores argumentan que los rompevientos significan una competencia de las raíces de los árboles y del cultivo que puede disminuir la

producción, pero este fenómeno sin embargo no se manifiesta más que en una faja estrecha del terreno. Esta competencia puede hacerse mínima y anularse mediante las siguientes prácticas:

- Utilizar en la formación de rompevientos especies o variedades cuyo sistema radicular sea profundo y de escaso desarrollo lateral. Ejemplo: cupresáceas.
- Utilizar la faja mediante el rompevientos como camino, emplazamiento de acequias de riego, etc., o excavar una zanja estrecha a dos metros del rompeviento para cortar las raíces que la atraviesan, luego se rellena la zanja y cada 2 años se efectúa la operación. Ejemplo: rompevientos de eucaliptos.
- Regar y abonar los rompevientos para que sus raíces encuentren más humedad y alimento en su propio territorio y limiten su desarrollo.

Las ventajas e inconvenientes deben valorarse considerando las pérdidas o ganancias totales; o sea, admitiendo una disminución en la producción, en la faja próxima al rompeviento; la conveniencia debe valorarse sobre la base de si se obtiene más cantidad o mejor calidad del producto por unidad de superficie.

Los rompevientos permiten un mejor uso de las reservas de agua en el suelo. El aumento de la producción, en la zona protegida por los rompevientos, depende de su efecto sobre la evapotranspiración que difiere según las condiciones climáticas. Las principales ventajas ligadas a la reducción de la evapotranspiración son:

- Mejora las propiedades físicas y químicas del suelo.
- Aumento en la actividad fotosintética. Los estomas permanecen abiertos durante una mayor parte del día.

Diseño y formación de rompevientos. No es posible dar normas para formar rompevientos forestales ya que su diseño depende de la intensidad de los vientos, dirección dominante, fin por el cual se establecen y dimensión de la zona protegida.

La protección requiere el establecimiento de barreras principales colocadas en los bordes de donde se quiere iniciar la protección, que deberán constar de dos a cinco hileras y barreras secundarias intermedias que pueden constar de 3 filas.

La distancia del rompeviento depende del grado de protección requerido. Por ejemplo: supongamos que los vientos perjudiciales tienen una velocidad media máxima de 7 m/seg. y se desea reducir a 4 m/seg; en este caso la distancia entre la barrera principal y la primera secundaria podría ser de 15 H utilizando un rompevientos permeable en su tercio inferior para eliminar el peligro de heladas. O sea, el rompevientos principal puede ser uno bastante impermeable en sus dos tercios superiores lo que se lograría con un rompeviento de 2 filas.

Si los vientos perjudiciales soplan en dos direcciones, por ejemplo del Norte al Este, los rompevientos deberán tener forma de L, con los lados perpendiculares a estas direcciones.

Si se trata de proteger un cultivo con rotación de maíz-algodón-leguminosas, no interesa la permeabilidad en la parte inferior, sino todo lo contrario. Aquí debe tenderse a conseguir la mayor anchura posible entre los rompevientos. Puede usarse rompevientos de tres filas y los secundarios de dos filas. Así podemos observar que cada caso requiere un estudio particular.

Existen casos en que la protección sólo interesa en determinada época, ya sea porque los vientos son estacionales y el efecto de sombreo es importante. En este caso es que se introducen rompevientos formados por especies de hoja caduca.

Especies adecuadas para la formación de rompevientos. El rompeviento puede estar formado por especies arbóreas exclusivamente o asociado con otras arbustivas. La selección o relación de especies utilizables puede ser muy larga, pudiendo variar por las exigencias ecológicas de la especie en sí, por la estructura del rompeviento y su relación con las condiciones del ambiente y con el cultivo que se trata de proteger, además, por el régimen del viento.

El primer requisito en la formación de rompevientos debe ser la rapidez de crecimiento por el valor de los productos maderables que se obtengan de él. A veces se emplea transitoriamente una especie de crecimiento rápido.

Las especies en los rompevientos se clasifican en: principales que son las que proporcionan la altura máxima de rompevientos; secundarias las que contribuyen a obtener la permeabilidad deseada y el perfil transversal y accesorias, las que evitan la excesiva permeabilidad en las partes inferiores.

Especies principales

Eucaliptos

Pino carrasco (Pinus halepensis)

Pino piñonero (Pinus pinea)

Pino negral (Pinus pinaster)

Pino insigne (Pinus radiata)

Ciprés horizontal (Cupressus sempervirens var. horizontalis)

Ciprés de cementerio (Cupressus sempervirens var. piramidales)

Ciprés de fruto grande (Cupressus macrocarpa)

Ciprés de Arizona (Cupressus arizonica)

Casuarina (Casuarina tenuissima y C. stricta)

Especies secundarias

Ciprés de Portugal (Cupressus lusitanica)

Acacia negra (Acacia melanoxylon)

Acacia (Acacia dealbata)

Tuya (Thuja orientalis)

Especies accesorias

Hierba elefante (Pennisetum purpureum)

Acacia pinchuda (Acacia horrida)

Ventajas de los rompevientos arbóreos:

- Reducción de la erosión eólica.
- Modificación de las temperaturas del aire y del suelo.
- Reducción de la evapotranspiración.
- Mejor distribución de humedad del suelo.
- Reducción de daños mecánicos.
- Mejoramiento de la calidad.

En la ganadería

- Reduce la mortalidad durante los vientos fuertes.
- Mejor producción y calidad de forraje.
- Proporciona sombra.
- Los animales pastan con más tranquilidad.

Los vientos suaves presentan los siguientes beneficios agrícolas:

- Renovación del aire; aumenta la transpiración.
- Aumento de la dureza del tronco y ramas. Fuerte enraizamiento.
- Los vientos suaves, favorecen el encañamiento de los cereales.

Efectos perjudiciales:

- Deseccación y endurecimiento de los suelos después de las lluvias o riegos.
- Volcamiento de cereales. Deformación de copas de los árboles.
- Variaciones térmicas bruscas.
- Vientos violentos arrancan hojas, flores, etc.
- Transporte de semillas de malas hierbas, insectos dañinos.

- Vientos persistentes y fuertes "roban" del suelo la capa de tierra fértil produciendo "erosión eólica".

Los factores geográficos contribuyen a la distribución de los vientos impuesta por factores meteorológicos. Así por ejemplo, las montañas pueden actuar como freno del viento al oponerse a su paso.

EL CLIMA

Clasificación de Koppen

Ideada por Wladimir Koppen, de Austria y publicada por primera vez en 1918, esta clasificación se basa en la temperatura y precipitación media, anual y mensual. La vegetación nativa es considerada la mejor expresión del efecto general del clima. La efectividad de la precipitación depende en parte de la temperatura. Una determinada cantidad de lluvia es menos efectiva en un clima cálido que en uno frío. La serie de símbolos utilizados para representar los tipos climáticos hacen al sistema relativamente simple y fácilmente manejable. Cada tipo climático es descrito por una fórmula compuesta de letras, a las que corresponde, a su vez, una significación específica. Por ejemplo, Af es interpretada como A = constantemente caluroso, la temperatura media del mes más frío es superior a 18°C; f = constantemente húmedo, en ningún mes la precipitación es inferior a 6,1 cm.

La clasificación de Koppen ha sido criticada a causa de sus amplias generalizaciones. Sin embargo, según Trewartha, a pesar de sus limitaciones; este sistema ofrece un esquema simple y manejable para la representación de los tipos climáticos mundiales.

A continuación se presentan los símbolos utilizados por Koppen en su clasificación de los climas, agrupados por zonas mayores y subdivisiones donde las condiciones climáticas se presentan tanto en el Hemisferio Norte como en el Sur, excepto para el caso D.

- A. Faja lluviosa tropical sin invierno (el mes más frío promedia arriba de 18°C.
 - Af. Clima forestal lluvioso tropical.
 - Aw. Clima de sabana periódicamente seco.
- B. Faja no completamente seca.
 - BS. Clima de estepa.
 - BW. Clima desértico.

- C. Faja templada tibia sin cubierta invernal usual (el mes más frío promedia entre 18° y -3°C).
- Cw. Clima cálido con inviernos secos.
Cs. Clima cálido con veranos secos.
Cf. Clima templado húmedo con inviernos moderados.
- D. Faja boreal o subártica, con aguda distinción entre las condiciones de verano en invierno (el mes más frío promedió menos de -3°C y el más cálido es arriba de 10°C).
- Dw. Clima con inviernos secos y fríos.
Df. Clima con inviernos húmedos fríos.
- E. La capa polar más allá de los límites del crecimiento de árboles -el clima de tundra- (el mes más calido promedia menos de 10°C).
- F. Regiones de las nieves perpetuas (el mes más cálido promedia menos de 0°C).

Símbolos climáticos

- a. Temperatura media del mes más cálido es arriba de 22°C.
- b. Temperatura media del mes más cálido es abajo de 22°C, cuando menos 4 meses es arriba de 10°C.
- c. Solamente de 1 a 4 meses es arriba de 10°C, el mes más frío es arriba de menos 38°C.
- d. La temperatura del mes más frío es menor de 38°C.
- f. Constantemente húmedo (suficiente lluvia o nieve en todos los meses).
- g. La temperatura anual tiene tendencia al tipo ganges, con la máxima antes del cambio de la temporada de sol a la temporada lluviosa del verano.
- h. Caliente, con temperatura anual arriba de 18°C.
- i. Isotérmica, la diferente entre los meses extremos es menor de 5°C.
- k. Invierno frío, con temperatura anual abajo de 18°C, el mes más cálido es arriba de 18°C.
- k'. El mismo, pero el mes más cálido es menor de 18°C.
- l. Leve, todos los meses son de 10° a 22°C.
- m. Lluvias monzónicas, bosque primitivo, a pesar de un período seco.
- n. Nieblas frecuentes.
- n'. Nieblas poco frecuentes, pero tienen alta humedad acompañada por falta de lluvia y son relativamente frescas (el viento es bajo de 24°C)

- p. Lo mismo, con la temperatura de verano entre 24° hasta 28°C.
- p'. Lo mismo, con temperaturas muy elevadas (veranos arriba de 28°C).
- s. Período más seco en el verano.
- w. Período más seco en el invierno.
- s'w'. Lo mismo pero la temporada lluviosa cambiada al otoño.
- s"w". Lo mismo pero la temporada lluviosa dividida en dos partes, con un intervalo seco corto.
- u. (Invertido). Variación de temperatura tipo Sudán, con el mes más fresco después del solsticio de verano.
- v. Variación de temperatura tipo Cabo Verde, con la estación más cálida transferida al otoño.
- x. Tipo de transición con lluvias tempranas de verano.
- x'. La misma con lluvia poco frecuente pero intensa en todas las estaciones del año.
- S. Clima de estepa.
- W. Clima de desierto.

SISTEMA DE KOPPEN MODIFICADO POR TREWARTHA

GRUPOS	TIPOS
A. Climas tropicales húmedos	I) Latitudes bajas (trópicos) <ul style="list-style-type: none"> 1) Tropical húmedo (Af, constantemente húmedo) (Am, tipo monzónico) 2) Tropical húmedo y seco (Aw, sabana) 3) Climas secos de latitud baja <ul style="list-style-type: none"> a) Desérticos de latitud baja (BWh, árido) b) Esteparios de latitud baja (BSh, semiárido)
B. Climas secos	II) Latitudes medias (zonas intermedias) <ul style="list-style-type: none"> 4) Climas secos de latitud media <ul style="list-style-type: none"> a) Desértico de latitud media (Bwk, árido) b) Estepario de latitud media (BSk, semiárido)

GRUPOS	TIPOS
C. Climas mesotermiales húmedos	5) Subtropical de verano seco (Cs, mediterráneo) 6) Subtropical húmedo (Ca) 7) Marino (Cb, Cc)
D. Climas microtermales húmedos	8) Climas continentales húmedos a) Continental húmedo, verano cálido (Da). b) Continental húmedo, verano fresco (Db). 9) Subártico (Dc, Db)
E. Climas polares	III) Latitudes altas (capas polares) o altitudes altas 10) Tundra (ET) 11) Capa de hielo (EF)
H. Alturas indiferenciadas	

A = La temperatura del mes más fresco superior a 18°C.

B = La evaporación excede a la precipitación.

C = La temperatura del mes más frío entre 18°C y 0°C.

D = La temperatura del mes más frío inferior al 0°C; la del mes más cálido superior a 10°C.

E = La temperatura del mes más cálido inferior a 10°C.

a = La temperatura del mes más cálido superior a 22°C.

b = La temperatura del mes más cálido inferior a 22°C.

c = La temperatura del mes más cálido inferior a 22°C; menos de cuatro meses por encima de 10°C.

d = La temperatura del mes más frío inferior a -3°C.

Con climas A:

f = No hay estación seca; el mes más seco con precipitación superior a 6 centímetros (2'4 pulgadas).

s = Período seco a alta insolación, o verano; raro en climas A.

w = Período seco a baja insolación o invierno; el mes más seco con precipitación inferior a 6 cm (2'4 pulgadas).

Con climas C y D:

f = No hay estación seca; la diferencia entre el mes más lluvioso y el más seco es menor que en s y w; el mes más seco de verano con precipitación superior a 8 cm (1'2 pulgadas).

s = Verano seco; la precipitación es por lo menos tres veces mayor en el mes más húmedo de invierno que en el más seco de verano; en el mes más seco menos de 3 cm (1'2 pulgadas).

w = Invierno seco; la temperatura es por lo menos diez veces superior en el mes más húmedo de verano que en el más seco de invierno.

Clasificación de Strabler*

Grupo 1. Climas de las latitudes bajas, controladas por las masas de aire tropical y ecuatorial.

Nombre del clima	Símbolo de Koppen	Características generales del clima
1. Clima ecuatorial húmedo Lat. 10°N-10°S (Asia 10°-20°N)	Af Clima de selva tropical, y Am Clima de selva tropical, tipo monzónico	Los climas están controlados por masas de aire cálido, tropical marítimo húmedo (mT) y ecuatorial (mE) que producen intensa precipitación en forma de tormentas de convección. Las temperaturas son considerablemente uniformes a lo largo de todo el año
2. Clima del litoral de los alisios Lat. 10°-25°N y S	Af- Incluido en los Am climas	Los vientos tropicales del Este (alisios) aportan las masas de aire tropical marítimo (mT) que origina intensas lluvias y temperaturas uniformemente altas en estrechas zonas de la costa oriental. La precipitación presenta una variación a lo largo de las distintas estaciones.

* A.N. Strabler, 1969. Geografía física, 3a. edición, páginas 228-229, Copyright 1969, por John Wiley and Sons, Nueva York.

Nombre del clima	Símbolo de Koppen	Características generales del clima
3. Climas de desierto y estepa.tropicales Lat. 15°-45°N y S	BWh Clima de desierto cálido y BSh Clima de estepa, cálido	Climas que van del árido al semiárido. La temperatura presenta máximas muy elevadas, pero su oscilación anual es moderada.
4. Clima desértico de la costa occidental Lat. 15°-30°N y S	Bwk Clima de desierto, fresco y Bwk Clima de desierto, cálido (Bwn en versiones anteriores, donde <u>a</u> significa frecuencia de nieblas)	En estrechos cinturones costeros prevalecen climas de desierto extremadamente secos, pero relativamente frescos y con niebla. La oscilación anual de la temperatura es pequeña.
5. Clima tropical seco-húmedo Lat. 5°-25°N y S	Aw Clima tropical lluvioso; sabana y también Cwa Clima lluvioso templado (mesotérmico húmedo); inviernos secos y veranos calurosos.	Las masas de aire húmedo (mT) suceden a lo largo de las estaciones a las de aire seco (cT), lo que da lugar a un clima en el que la estación de las lluvias sobreviene cuando el sol está alto y la estación seca cuando está bajo.
Grupo 2. Climas de latitudes medias (controlados por masas de aire tropical y polar)		
6. Clima subtropical húmedo Lat. 20°-35°N y S	Cfa Clima templado lluvioso (mesotérmico húmedo) veranos cálidos	Propios de los márgenes orientales y subtropicales de los continentes, dominados por masa de aire marítimo húmedo (mT). En la estación en que el sol está alto, la precipitación es abundante y las temperaturas cálidas. Los inviernos son fríos y se producen frecuentes invasiones de masas de aire continental polar (cP).

Nombre del clima	Símbolo de Koppen	Características generales del clima
<p>7. Clima marino de la costa occidental Lat. 40°-50°N y S</p>	<p>Cfb Clima lluvioso templado (<u>meso</u> <u>térmico húmedo</u>) veranos cálidos Cfc igual al anterior, pero con veranos cortos y frescos</p>	<p>Las costas occidentales de las latitudes medias orientadas de cara al viento sufren frecuentes tormentas, con masas de aire polar marítimo (mP), fresco y húmedo, que aportan abundante nubosidad y precipitación bien distribuida, pero con un máximo en invierno. La oscilación anual de la temperatura es pequeña en las latitudes medias.</p>
<p>8. Clima mediterráneo Lat. 30°-45°N y S</p>	<p>Csa Clima lluvioso templado (<u>meso</u> <u>térmico húmedo</u>); veranos cálidos y secos Csb igual al anterior, pero con veranos cálidos y secos</p>	<p>Este clima de invierno lluvioso y veranos secos es consecuencia de la variación estacional de las condiciones que originan los climas 4 y 7; predominan en invierno las masas de aire mP, con borrascas y abundante precipitación. En verano predominan las masas de aire (mT), que producen grandes sequías. La oscilación anual de temperaturas es moderada.</p>
<p>9. Climas de desierto y estepas de las latitudes medias Lat. 35°-50°N y S</p>	<p>BWk Clima de desierto, fresco BWk' igual al anterior, pero frío Bsk Clima de estepa, fresco Bsk' igual al anterior, pero frío</p>	<p>Corresponde a los desiertos y estepas interiores de las latitudes medias, protegidos por las montañas contra las invasiones de las masas de aire marítimo (mT o mP), pero dominadas por masas de aire tropical continental (cT) en verano y polar continental (cP) en invierno. Amplia oscilación anual de temperatura: veranos cálidos e inviernos fríos.</p>

Nombre del clima	Símbolo de Koppen	Características generales del clima
10. Clima continental húmedo	<p>Dfa Clima frío propio de selvas cubiertas de nieve (microtérnico húmedo); húmedo todo el año; veranos calurosos</p> <p>Dfb igual al anterior pero con veranos cálidos; también</p> <p>Dwa Clima frío propio de selvas cubiertas de nieve (microtérnico húmedo) inviernos secos y veranos calurosos,</p> <p>Dwb igual al anterior, pero con veranos cálidos</p>	<p>Situados en la parte central y oriental de los continentes de las latitudes medias. Los contrastes estacionales son muy marcados y el tiempo es muy variable. La precipitación, considerable durante todo el año, aumenta en verano por la invasión de las masas de aire tropical marítimo (mT). Los inviernos fríos están dominados por las masas de aire tropical marítimo (mT). Los inviernos fríos están dominados por las masas de aire polar continental (cP) que las invaden con frecuencia, procedentes de los manantiales septentrionales.</p>

Grupo 3. Climas de las latitudes altas (controladas por masas de aire polar y ártico)

11. Clima continental subártico Lat. 50°-70°N	<p>Dfc Clima frío propio de selvas cubiertas de nieve (microtérnico húmedo); húmedo todo el año; veranos frescos</p> <p>Dfd igual al anterior pero con inviernos muy fríos</p> <p>Dwc Clima frío propio de selvas cubiertas de nieves perpetuas; inviernos secos, veranos frescos</p> <p>Dwd igual al anterior, pero con inviernos</p>	<p>Este clima se encuentra localizado en la región de los manantiales de las masas de aire polar continental (cP), que son en invierno estables y muy frías. Los veranos son cortos y frescos. La oscilación anual de temperaturas es enorme. Las borrascas hacia las que es arrastrado el aire polar marítimo (mP) proporcionan una precipitación ligera pero la evaporación es poco intensa, por lo que el clima es efectivamente húmedo.</p>
--	--	---

Nombre del clima	Símbolo de Koppen	Características generales del clima
12. Clima subártico marítimo Lat. 50°-60°N y 45-60°S.	ET Clima polar, de tundra	La precipitación es relativamente abundante y la oscilación anual de temperatura pequeña, teniendo en cuenta la elevada latitud.
13. Clima de tundra Al Norte de 55°N y al Sur de 50°S	Clima polar, de tundra	El clima es húmedo y frío y carece de estación cálida. La influencia moderada del agua del océano evita que los inviernos sean estrechamente fríos, como ocurre en los climas del tipo 11.
14. Clima del casquete de hielo (Groenlandia, Antártida)	EF Clima polar de hielos perpetuos	Las regiones de los manantiales de las masas de aire ártico (A) y antártico (AA) situadas en los grandes casquetes de hielo de los continentes tienen un clima cuya temperatura media anual es considerablemente inferior a la de otros climas y no hay ningún mes del año en que la temperatura media sea superior a 0°C. La gran altura de la plataforma de hielo intensifica el frío de las masas de aire.
Climas montañosos		Son climas húmedos, que oscilan entre frescos y fríos; se encuentran localizados en la parte más elevada de las grandes cadenas montañosas; su extensión es limitada y no están incluidos en el sistema general de clasificación.

Clasificación de Thornthwaite

Thornthwaite (1931-1948) publicó dos clasificaciones climáticas. En la primera, la planta fue considerada como una medida de todos los elementos integrados del clima. La delimitación en provincias, según el grado de humedad fue trazada de acuerdo con la efectividad de la precipitación. Un punto débil del sistema, sin embargo, era debido a que los datos de evaporación solamente eran leídos en pocas de las estaciones meteorológicas, dificultando la elaboración de mapas de efectividad de la humedad.

En la clasificación de 1948, fue introducido el concepto de evapotranspiración potencial. Los límites climáticos fueron determinados por comparación de la precipitación con el potencial de evapotranspiración, dos medidas enteramente meteorológicas. Por consiguiente, la vegetación no fue por más tiempo el criterio determinante; los límites fueron establecidos solamente por antecedentes climáticos. La falta de datos adecuados sobre evapotranspiración retardó durante muchos años la aceptación y uso de este sistema; últimamente se ha extendido bastante su aplicación.

A continuación se presentan los símbolos utilizados por Thornthwaite en su clasificación de los climas.

I. Provincias hídricas	Vegetación característica	Índice de eficiencia hídrica (P/E)
A. Mojado	Bosque lluvioso	128 y más
B. Húmedo	Bosque	64-127
C. Subhúmedo	Pastizal	32-63
D. Semiárido	Estepa	16-31
E. Árido	Desierto	menos de 16

II. Provincias térmicas	Índice de eficiencia térmica (T/E)
A' Tropical	128 y más
B' Mesotérmico	64-127
C' Microtérmico	32-63
D' Taiga	16-31
E' Tundra	1-15
F' Heladas	0

III. Distribución estacional de la precipitación efectiva

- r Precipitación en todas las estaciones
- s Lluvia escasa en el verano (abundante en el invierno)
- w Lluvia escasa en el invierno (abundante en el verano)
- d Precipitación escasa en todas las estaciones
- (w' Lluvia escasa en la primavera temporada lluviosa en el otoño, reconocida en ciertas áreas tropicales)

IV. Subprovincias de temperatura
Subprovincia

Porcentaje de concentración
de verano

a	25-34
b	35-49
c	50-69
d	70-99
e	100

Indice P/E = $\sum_1^{12} 115 \left(\frac{P}{T-10} \right)^{10/9}$, donde la precipitación mensual media se da en pulgadas y las temperaturas en grados Fahrenheit.

El índice T/E = $\sum_1^{12} \frac{(T-32)}{4}$

EQUIVALENCIAS

LONGITUD

1	Angstrom	(Å) = 10^{-10} m
1	Micra	(μ) = 10^{-6} m
1	Pulgada	= 25,4 m
1	Pie	= 30,48 cm.
1	Yarda	= 0,9144 m
1	Milla Náutica (EEUU)	= 1,853248 Km
1	Milla Inglesa	= 1,853184 Km
1	Milla Internacional	= 1,852 Km
1	Milla	= 1,609 Km

AREA

1	Pulgada Cuadrada	= 6,4516 cm ²
1	Pie Cuadrado	= 929,0304 cm ²
1	Yarda Cuadrada	= 0,83612736 m ²
1	Acre	= 4046,8564 m ²
1	Ha	= 2,471054 acres

VOLUMEN

1 Pulgada Cúbica	= 16,3871 cm ³ (= 16,3866 ml)
1 Pie Cúbico	= 28316,8 cm ³
1 Onza líquida (EEUU)	= 29,5735 cm ³
1 Onza líquida Inglesa	= 28,413 cm ³
1 Cuarto líquido (EEUU) (= 32 onzas líquidas de (EEUU))	= 946,353 cm ³ = 0,946326 l
1 Galón (EEUU)	= 3785,41 cm ³ = 3,78531 l
1 Galón (Inglés)	= 4546,1 cm ³ = 4,5460 l

VELOCIDAD

1 Nudo	= 0,514791 m/seg = 1,85325 Km/h
1 Milla/hora	= 1,609344 Km/h

PESO

1 Onza avoirdupois (oz)	= 437,5 g
1 Libra avoirdupois (lb)	= 7000 g = 16 oz = 0,4535923 Kg
1 Tonelada corta (EEUU)	= 2000 lb. = 907,1846 Kg
1 Tonelada larga (Inglesa)	= 2240 lb. = 1016,047 Kg
1 Tonelada Métrica	= 1000 Kg
1 Onza Troy	= 31,10348 g = 0,03110348 Kg

PRESION

1 Dina/cm ²	= 10 ⁻⁶ bar
1 Milibar (mb)	= 0,750062 mm de Hg (estandar)
1 Atmósfera estandar	= 1013,250 mb = 760 mm de Hg.

ENERGIA

1 Ergio (erg)	= 1 Dina-centímetro
	= 10 ⁻⁷ abs. joule

	= $2,38844 \times 10^{-8}$ Cal Internacional
	= 2.3892×10^{-8} Cal
1 Unidad Termal Inglesa (Btu)	= 251,996 Cal Internacional
	= 252,08 Cal
	= 1055,056 joule
	= 0,00029302 Kw/h Internacional
1 Candela pie	= 1,35582 abs. joule
1 Cal	= 4,1 joule
1 Watl-hora	= 3600 joule

ENERGIA/AREA

1 Langley (ly)	1 cal/cm^2
	= $3,6855 \text{ Btu/pie}^2$

CONSTANTES FISICAS

Velocidad de la luz	= $2,998 \times 10^8 \text{ m seg}^{-1}$
Constante de Planck	= $6,625 \times 10^{-27} \text{ erg seg}$
	= $6,625 \times 10^{-34} \text{ joule}$
Constante de Boltzmann	= $1,3805 \times 10^{-16} \text{ erg grado}^{-1}$
Constante de Stefan-Boltzmann	= $5,670 \times 10^{-5} \text{ erg cm}^{-2}$ $\text{grado}^{-4} \text{ seg}^{-1}$

LONGITUD

Pulgada (USA)	2,54 centímetros
Pie (USA)	30,48 centímetros
Vara	83,60 centímetros
Yarda	91,44 centímetros
Milla terrestre	1,609 kilómetros

(kilómetro=1.000 metros; 1 metro = 100 centímetros)

SUPERFICIE

Pulgada cuadrada (USA)	6,452 centímetros cuadrados
Pie cuadrado (USA)	929,03 centímetros cuadrados
Vara cuadrada	0,699 metros cuadrados
Yarda cuadrada	0,836 metros cuadrados
Manzana	6.988,90 metros cuadrados
Milla cuadrada	2,59 kilómetros cuadrados

(Kilómetro cuadrado = 1.000.000 M2; hectárea = 100 áreas; hectárea = 10.000 M2; área 100 M2. = 10.000 cm2)

VOLUMEN

Pulgada cúbica (USA)	16,39 centímetros cúbicos
Onza fluída	29,57 centímetros cúbicos
Pinta (USA)	0,47 litros cúbicos
Botella	0,67 litros cúbicos
Cuarto (USA)	0,946 litros cúbicos
Galón (USA)	3,785 litros
Cuartillo	4,25 litros
Cajuela	17,00 litros
Cajuela de café	20,00 litros
Pie cúbico	28,31 litros
Fanega de café	400,00 litros
Fanega	408,00 litros

Metro cúbico = 1.000 litros = 1.000 cm3)

PESO

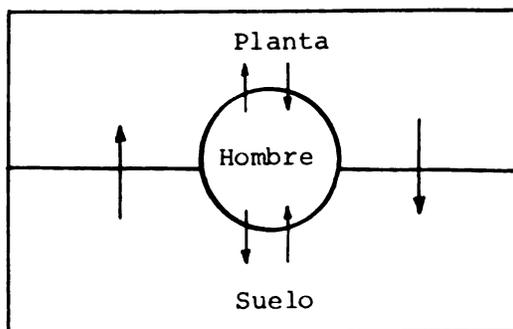
Onza (1/16 libra española)	28,75 gramos
Libra española	460 gramos
Arroba	11,34 Kilogramos
Quintal	46 Kilogramos

SIMBOLOGIA

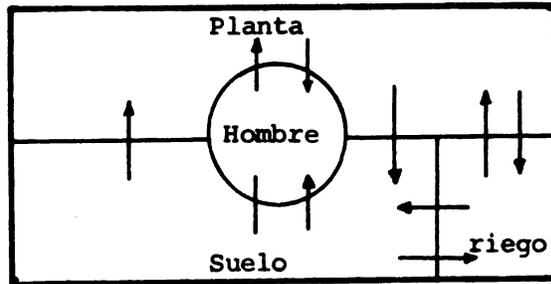
<u>MEDIDA</u>	<u>SIMBOLO</u>	<u>MEDIDA</u>	<u>SIMBOLO</u>
Kilómetro	Km	Decigramo	Dg
Hectómetro	Hm	Centigramo	Cg
Decámetro	Dm	Miligramo	Mg
Metro	m	Kilolitro	Kl
Decímetro	dm	Hectolitro	Hl
Centímetro	cm	Decalitro	Dl
Milímetro	mm	Litro	l
Kilogramo	Kg	Decilitro	Dl
Hectogramo	Hg	Centilitro	Cl
Decagramo	Dg	Mililitro	Ml
Gramo	g		

LA AGROMETEOROLOGIA Y EL RIEGO

El hombre, en su proceso histórico, inventó la agricultura hará unos 10.000 años. El hombre debe haber llegado a ella paulatinamente a través de la observación y domesticación de las plantas. La agricultura en su nacimiento era simple y se puede representar así:

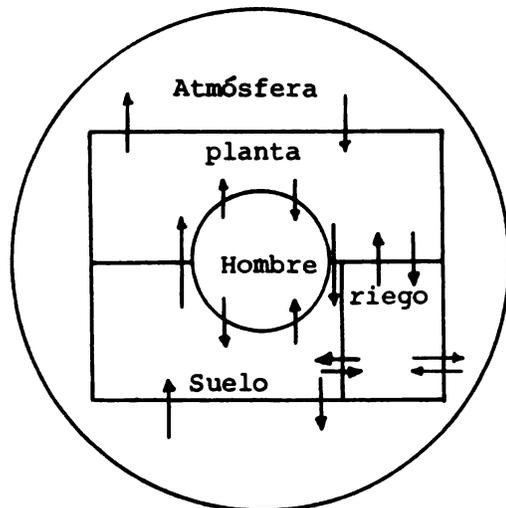
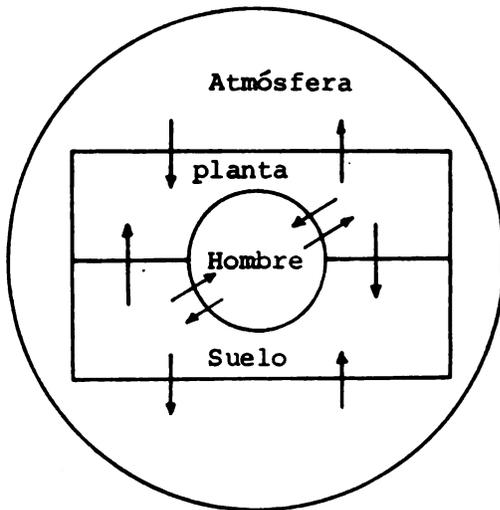


Por simple debe haber tenido muchas limitaciones; entre ellas la falta de agua, ya fuese permanente u ocasional. Y así nace el riego; se inventa el riego unos 4.000 años después de aparecer la agricultura y con él la agricultura presenta una nueva relación, que puede ser vista de la siguiente manera:



El riego viene a aumentar la posibilidad de obtener la cosecha y consecuentemente los pueblos que lo usan logran un mayor desarrollo con relación a los que siguen en la agricultura sin riego.

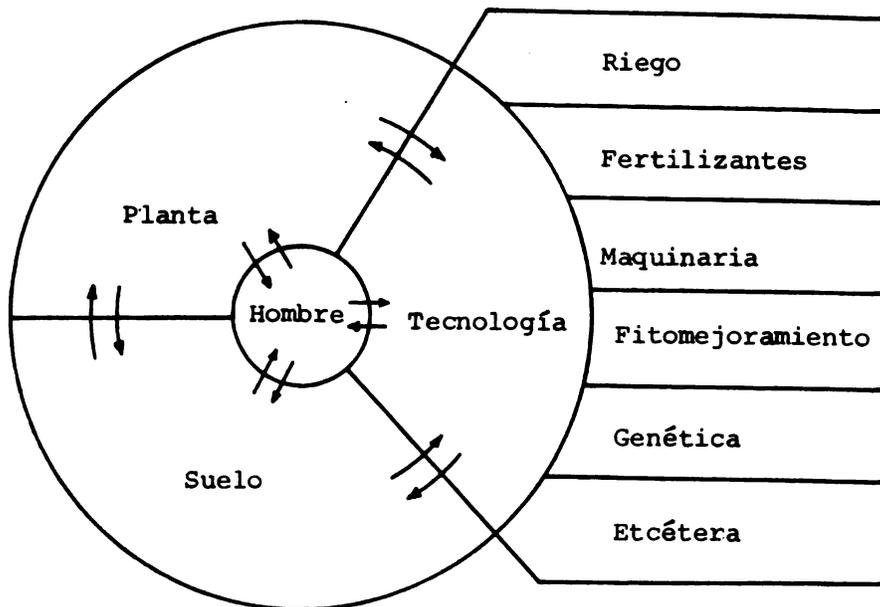
Aún cuando la atmósfera ni se ve ni se siente, el hombre de esa época estaba muy consciente del efecto de ella sobre las plantas. El comportamiento de la atmósfera era su principal preocupación pues de ella dependía en alto grado la cosecha. De tal manera que a la agricultura de ese entonces hay que agregarle el medio atmosférico, quedando en definitiva de la siguiente manera:



Desde luego que en las relaciones anteriores el hombre también es influenciado por la atmósfera y él la afecta también a ella, aunque en menor escala. En esos esquemas anteriores no se han puesto esas relaciones para que se destaquen las relaciones entre los componentes básicos de la agricultura.

El riego vino a suplir las deficiencias de agua. Hay que recordar que la distribución de la lluvia es pocas veces más que aproximadamente uniforme en el espacio y nunca uniforme en tiempo. Para compensar esta desigualdad en la distribución de la lluvia es cuando se usa la irrigación, para lograr el crecimiento óptimo de los vegetales.

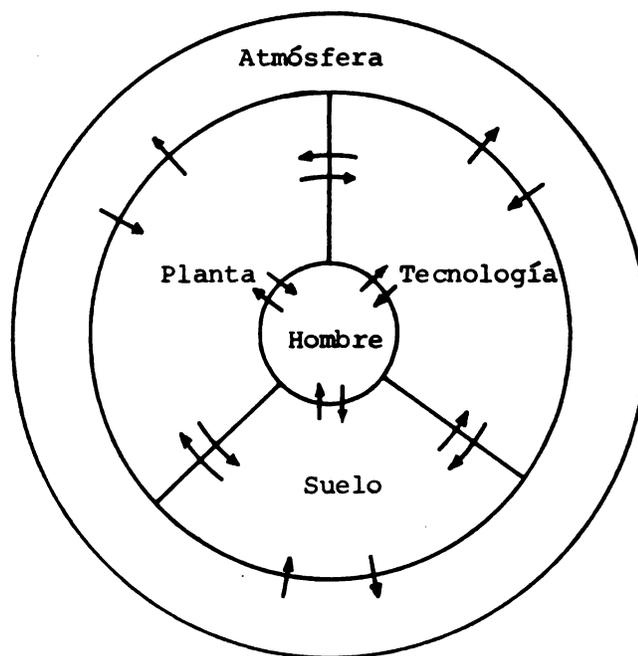
La agricultura sigue avanzando y en años recientes aparece el avance tecnológico y con ello se dispone de fertilizantes, productos químicos para el control de enfermedades y plagas, la maquinaria agrícola y nuevos conocimientos en la agronomía. Esto da una agricultura tecnificada que puede ser vista así:



Si "falla" la atmósfera se obtiene poco o cero incremento por la aplicación de tecnología, hasta llegar al fracaso para el hombre (producción a "nivel mínimo") pero que no lo es para la planta.

En consecuencia, el incremento tecnológico también está en función directa con el comportamiento de la atmósfera.

Basado en lo anterior, se ve claramente que se requiere llegar a la agricultura científica, en sustitución de la actual o tecnológica. Y la agricultura científica, al considerar la atmósfera, puede esquematizarse así:

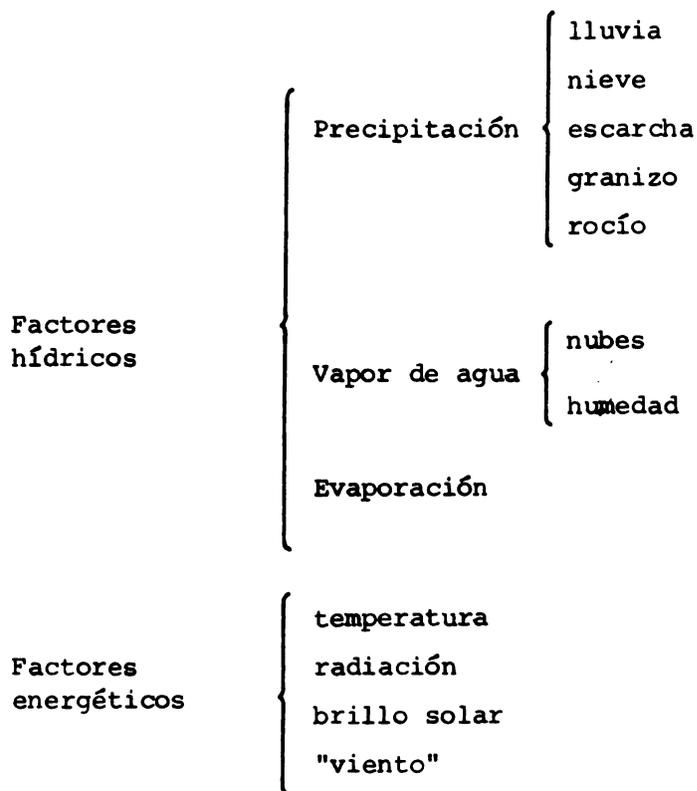


La agricultura científica desde luego que incluye el uso de tecnología. En el esquema anterior no se establece la influencia de la atmósfera sobre el hombre y viceversa, simplemente para no complicarlo mucho, pero de hecho existe tal influencia.

En la agricultura científica se tiene la participación de la agrometeorología. Y es responsabilidad de la agrometeorología entender y ajustar la acción de la atmósfera a las plantas.

No hay que confundir el trabajo de la agrometeorología con los pronósticos de "tiempo" ni con cambiar el "tiempo". Confundir esto sólo significa desconocimiento de lo que es agrometeorología.

Para poder entender el efecto de la atmósfera, el hombre desde el pasado la ha dividido en varios elementos. Los meteorólogos y climatólogos la han dividido así:

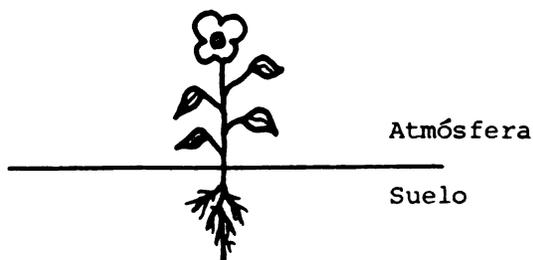


Pero, para la planta, sólo existe la atmósfera.

Esta división fue hecha con criterio climatológico que es necesario corregir. Se necesita un "criterio de planta", un enfoque bio-climático.

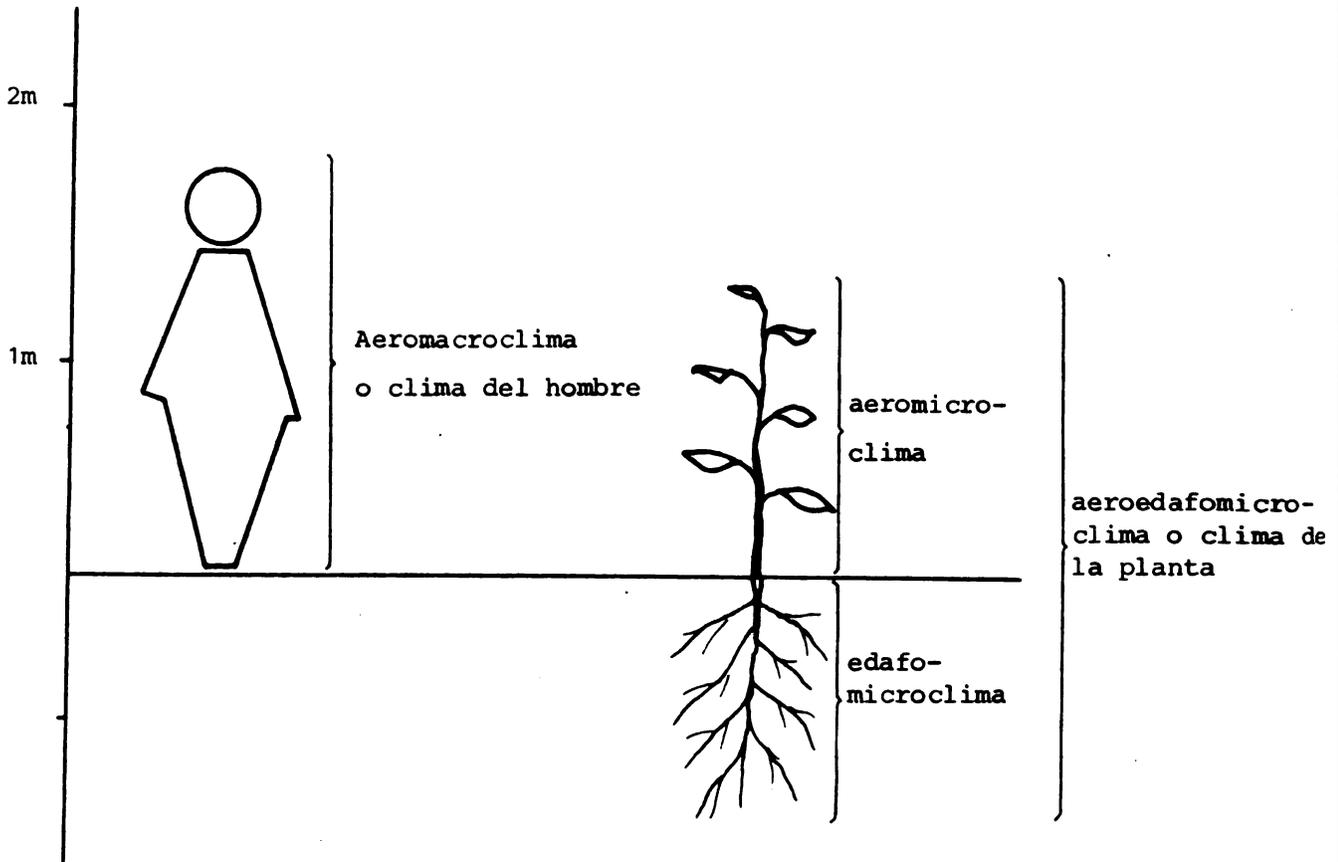
El dividir la atmósfera confunde, pues pueden existir para el hombre pero no para la planta. Caso de la temperatura y humedad relativa que el hombre las puede idealizar pero que no existen para la planta.

El clima de la planta se caracteriza por ser dual y complejo. Se puede representar así:



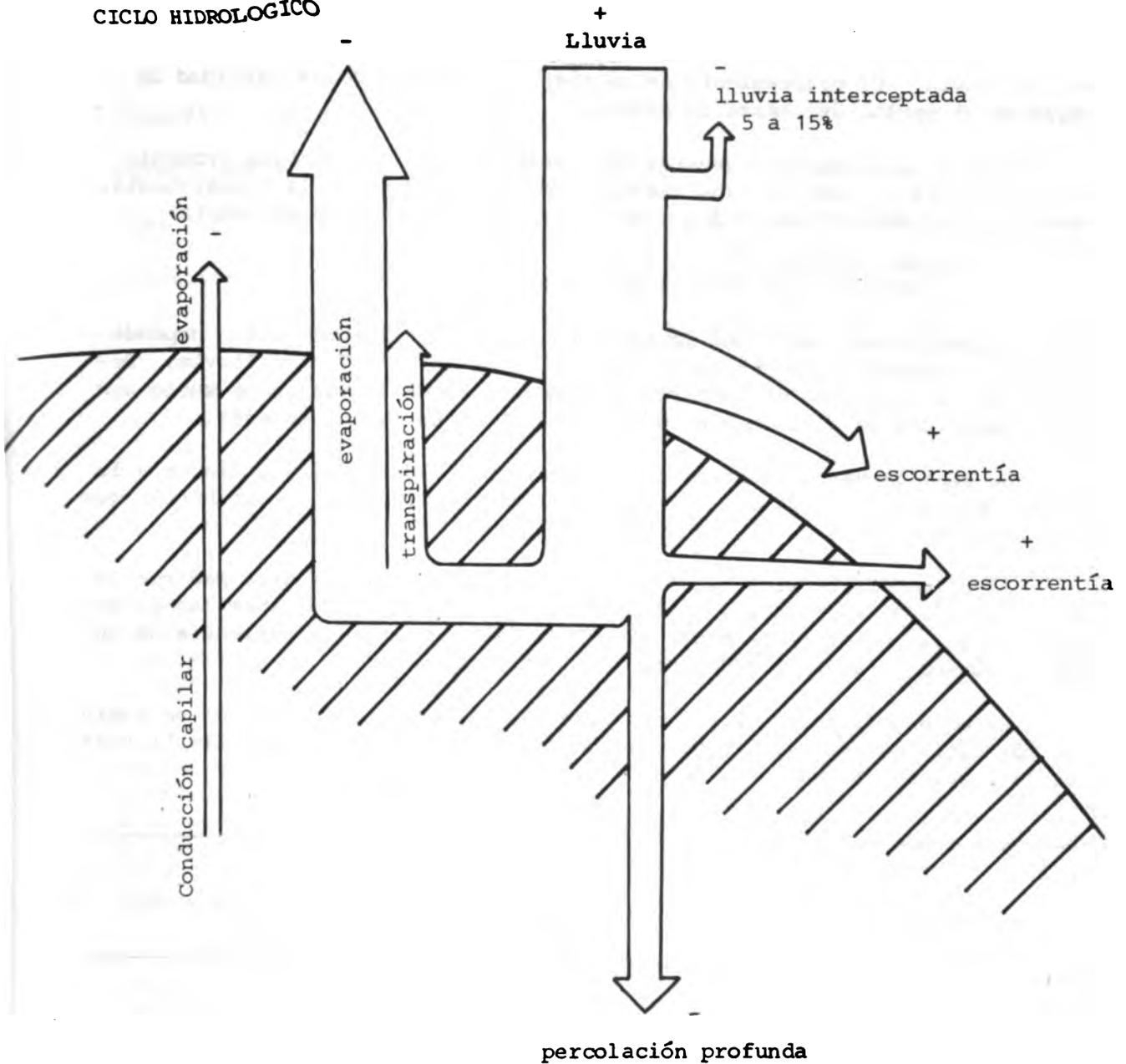
Como se ve, es dual porque tiene una parte aérea y otra subterránea, lo que origina la existencia de un clima que es diferente en cada una de esas dos partes pero el cual debe tener cierta relación para que la planta pueda sobrevivir y producir. Su clima es complejo pues la parte sobre el suelo es gaseosa y lógicamente es una masa en movimiento; el suelo, por el contrario, es una mezcla de sólidos, gas, agua, etc. y sólo hay movimiento limitado por los componentes gaseosos y agua, sin considerar lavados de minerales, etc.

Esto quiere decir que el clima del hombre es diferente al de la planta y no se ve la necesidad de gastar energías para establecer relaciones entre los dos. Hacerlo es alejarse más de poder entender el clima de la planta.



La función del riego es la de suministrar la falta de agua para la planta, de acuerdo a sus necesidades, que son función de la etapa en que se halla dentro de su ciclo de vida. Hay factores positivos y negativos en el riego. Dentro de los primeros está el suministro de agua al sistema y dentro de los negativos están las pérdidas, como la evaporación y la percolación.

CICLO HIDROLOGICO



Factores positivos y negativos del sistema de riego. La transpiración se podría considerar un factor negativo pero parece más indicado que sea neutro pues en realidad ese es el fin del riego, ya que transpiración significa vida vegetal.

Los factores positivos dependen de la CANTIDAD de lluvia y de las características de la cuenca hidrográfica.

El planeamiento general del riego es función del comportamiento general

de la lluvia. El planeamiento de un riego es función de la cantidad de agua en el suelo, útil para la planta.

Para el planeamiento general del riego se usan los totales promedio de lluvia, tal y como son analizados tradicionalmente por la climatología, pero para la determinación del riego de un cultivo se toma en cuenta:

- consumo de agua del cultivo
- cantidad de agua útil en el suelo

Es importante saber que la cantidad de agua útil en el suelo depende de las características del suelo mismo y no de la cantidad de lluvia. Depende de la capacidad de "ahorro" del suelo. Mucha lluvia en un suelo con poca capacidad de almacenamiento (retención) es un suelo sediento.

Se debe llevar un control de la distribución de la lluvia diaria a lo largo del ciclo de vida del cultivo. Es más importante la distribución que la cantidad.

La climatología mide la cantidad pero para los riegos debe medirse la distribución de esa cantidad. Inclusive un suelo con poca capacidad de retención de agua, presenta menos necesidad de riego ante la presencia de un mayor número de aguaceros de poca cantidad cada uno.

Conociendo, inclusive por experiencia, las características de un suelo, es más fácil determinar las necesidades de riego si se analizan las lluvias en la siguiente forma:

Día	A G U A C E R O			
	empieza hr min	termina hr min	duración hr min	cantidad mm
2	06 : 50	07 : 30	40	20
2	14 ; 10	15 ; 10	1	10

Total por
períodos

La longitud de los períodos dependerá de cada cultivo.

Este análisis permite acumular la información para la futura programación de los posibles riegos por cultivo, sugiriéndose agrupar la información con el siguiente sentido de planta:

Cultivo YX:

Siembra a germinación	15 hr 30 minutos de lluvia	60 mm
Germinación a fase m	20 hr	20 mm
Fase m a floración	5 hr 10 minutos de lluvia	10 mm
Floración a maduración de fruto	1 hr 50 minutos de lluvia	8 mm
Maduración a cosecha	20 minutos de lluvia	2 mm
<hr/>		
Totales del ciclo de vida del cultivo YX	42 hr 50 minutos	100 mm

Cada mm equivale a un litro por metro cuadrado.

Este análisis lógicamente debe incluir la determinación de la variación de esos valores medios, partiendo que eso es lo que representan. Se aconseja entonces calcular sus respectivos coeficientes de variación, ya que ellos indicarán cuán confiables pueden ser los valores medios obtenidos y consecuentemente el grado de cuidado que se debe tener al usarlos.

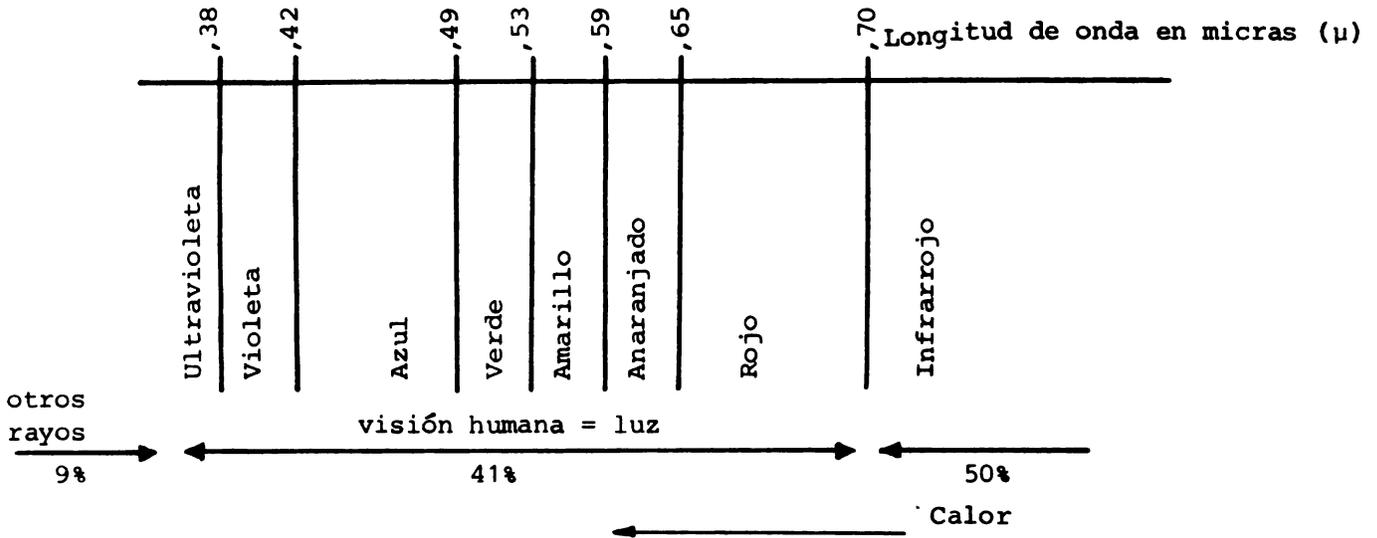
Según la Organización Meteorológica Mundial, de las Naciones Unidas, define que la evaporación es la emisión de vapor de agua por una superficie libre de agua líquida, a una temperatura debajo de su punto de ebullición. Sea, que la evaporación es la cantidad de agua que pasa al estado de vapor a través de una superficie libre de agua líquida, en un período comprendido entre dos observaciones sucesivas y la cual se mide por el espesor perdido, indicado en milímetros.

Para medir la evaporación se usa el tanque estandar de evaporación que es un estanque circular con un diámetro de 1,21 m y 25,2 cm de profundidad, colocado sobre una plataforma de madera enrejada de aproximadamente 15 cm de alto. Está construido de hierro galvanizado y su lectura se hace con un tornillo micrométrico.

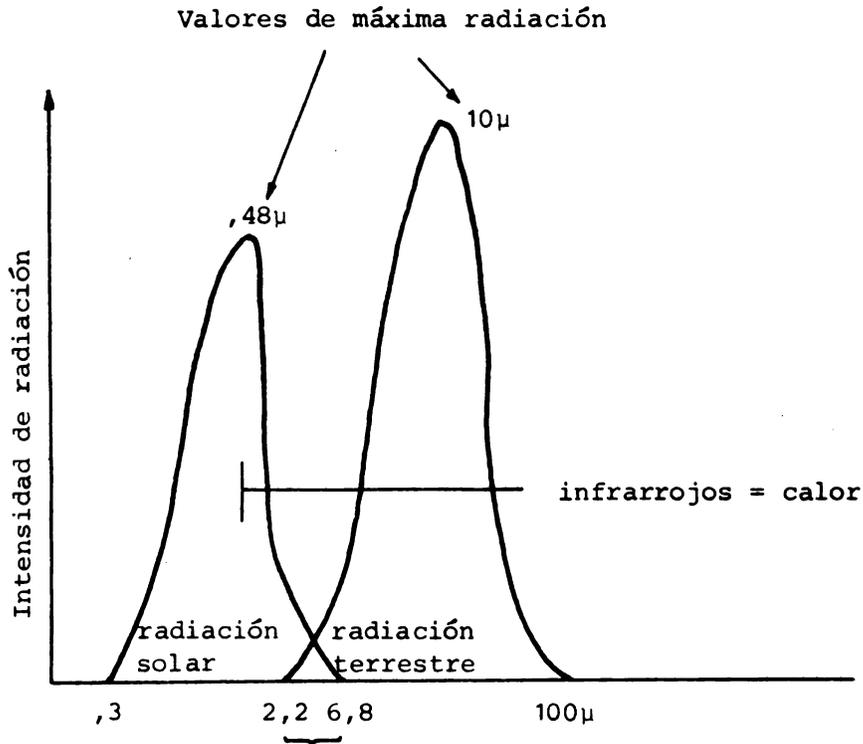
Existe también otros evaporímetros como el piché recto que consiste en un tubo de 22,5 cm de largo con un extremo cerrado, con 1,4 cm de diámetro exterior y uno interior de 1,1 cm. En el extremo libre se coloca un disco de papel secante de 3,2 cm de diámetro. Así la superficie de evaporación es de 13 cm². Se puede colocar a la sombra o al sol pero dependiendo donde se instale así será la evaporación. No hay acuerdo mundial de dónde instalarlo. No hay relación entre lecturas de diferentes evaporímetros, salvo entre los de la misma clase.

La radiación solar es la propagación de energía a través del espacio.

Incluye la luz, el calor y otros rayos, según se aprecia a continuación:



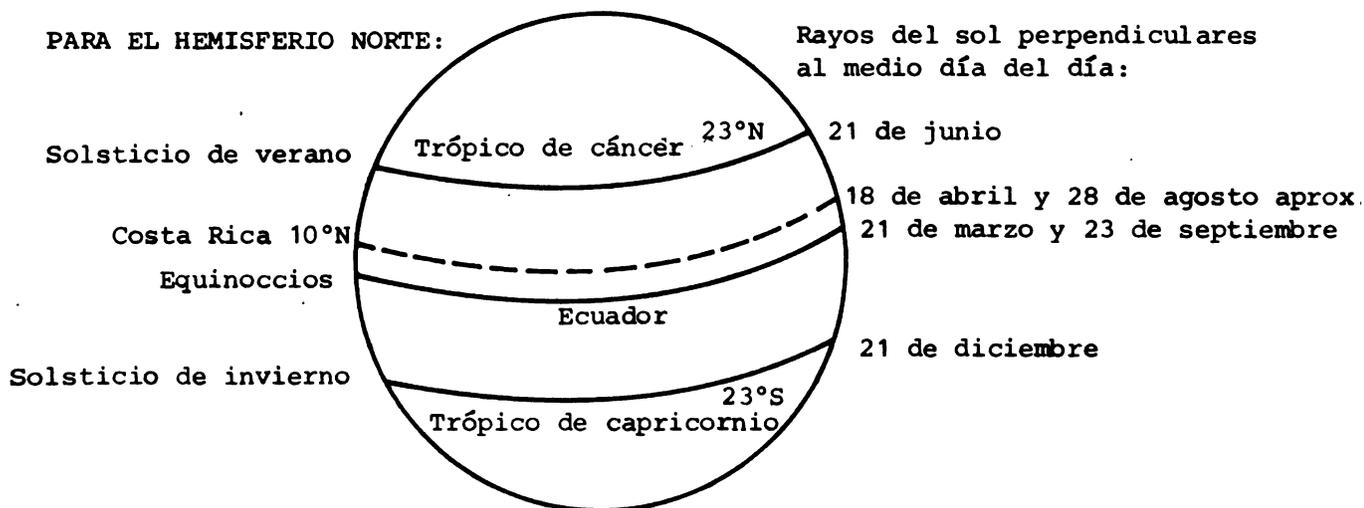
La radiación solar es de onda corta. En el balance energético la tierra pierde energía en longitud de onda larga. En el siguiente esquema se pueden ver la radiación solar y terrestre, indicándose los puntos de máxima radiación.



usado por ambas, solar y terrestre, pero representan menos del 5%.

La evaporación depende del calor y no de la luz. El calor es absorbido en la atmósfera por el vapor de agua, el CO_2 y las partículas sólidas. La tierra irradia básicamente calor. La cantidad de calor recibida por el suelo depende de:

- el estado de la atmósfera. A más vapor de agua, por ejemplo, más calor se queda en la atmósfera;
- hora del día. Lo que da el ángulo "horario". La máxima radiación será recibida cuando los rayos solares inciden verticalmente, sea, cuando el sol está en el cenit;
- ángulo de incidencia de los rayos. Se tendrá más radiación cuando los rayos incidan verticalmente sobre el lugar, a medio día; este ángulo depende del lugar en que los rayos del sol están cayendo verticalmente con relación al lugar considerado. Para la latitud de 10 grados norte, Costa Rica, los rayos se encuentran incidiendo verticalmente durante dos fechas del año, como puede apreciarse a continuación:



Por eso los días más largos en Costa Rica ocurren a finales de junio y los más cortos a mediados de diciembre (12:43 y 11:32 horas respectivamente).

En conclusión se puede apreciar que lo que hay que medir, para efectos

de cálculo de evaporación, debería ser la radiación infrarroja. Actualmente lo que se registra es la radiación solar total, es decir, todo el espectro solar que incluye la infrarroja pero también la luz y otros rayos.

Se ha querido medir el calor con escalas de dilatación de diferentes metales y sustancias, como mercurio, alcohol, etc. y ellas han sido divididas en unidades llamadas grados, como los centígrados (Celsius), etc. Por eso se puede afirmar que la temperatura no existe. La escala de dilatación es la temperatura; que esté en función del calor es otra cosa. Calor es cantidad y se mide en calorías por centímetro cuadrado por minuto. La temperatura es la intensidad del calor pero no su cantidad.

Así, dos cuerpos diferentes pueden tener la misma temperatura (caso de un vaso de agua y un volumen igual de hierro) pero diferente cantidad de calor (tendrá más calor el hierro en este ejemplo).

Y la evaporación depende de la cantidad de calor y no de la temperatura.

Como no todos los suelos son iguales, no todos tienen la misma cantidad de calor aunque tengan igual temperatura. Por esto las fórmulas de cálculo de riego no pueden ser exactas, ya que usan temperatura (y cantidad de lluvia). Son empíricas; son aproximaciones. Las fórmulas empíricas sólo se acercan a la realidad en los lugares que fueron obtenidas.

La radiación se mide con los actinógrafos. El brillo solar mide "luz" directa y no tiene uso racional en el cálculo de la evaporación por más que se le utilice. Brillo solar, que no ha sido definido, podría decirse que es equivalente a cielo despejado para el lugar en donde está instalado el instrumento que lo mide, que es el heliógrafo, y sus unidades de medida son las horas y décimos de ella.

Entonces se tiene que la evaporación es función de la cantidad de calor y afectada además por:

- la humedad relativa, y
- la velocidad del viento.

La humedad del aire expresada en porcentaje es lo que se conoce como humedad relativa. Es la relación de la humedad existente, en condiciones de temperatura y presión dadas, y la que podría haber si hubiese saturación. Es usada por la climatología pero no es útil para la agricultura pues humedades relativas iguales, a diferentes temperaturas, representan cantidades (gr/m^3 de aire) diferentes. El aire caliente puede tener más vapor de agua (humedad) que el frío.

En general, la capacidad de la atmósfera de tener vapor de agua se aumenta al doble por cada aumento de 11 grados centígrados. Por eso al enfriarse el aire se llega a la saturación, pudiendo alcanzar el punto de rocío.

Por esto la humedad del aire debería medirse en valores absolutos; es decir, cantidad y no valores relativos que por estar en función de otros fácilmente se confunde su significado. La humedad podría medirse en gramos de vapor de agua por metro cúbico de aire o bien en partes por millón por volumen (ppmv).

La capacidad de evaporación se aumenta con:

- altas temperaturas del aire (debería ser en función del calor);
- altos contenidos de calor en el suelo;
- vientos veloces;
- baja humedad absoluta en el aire;
- alto contenido de calor en el agua.

La evaporación implica una pérdida de calor en el suelo y el consiguiente descenso de la temperatura. En consecuencia, el riego produce un descenso en la temperatura del suelo, especialmente rápido en los primeros 5 cm de profundidad, siendo más marcado en la superficie.

Los factores que deben tomarse en cuenta para los cálculos respectivos de riego, en cuanto al factor clima se refiere, son:

- calor. Utilizar actinógrafo que registre infrarrojos y medirlo en $\text{cal cm}^{-2} \text{ min}^{-1}$
- humedad del aire. En ppmv o gr m^{-3}
- viento. Su velocidad
- distribución de la lluvia
- contenido de agua del suelo, que a la vez determina la evaporación.

EQUIPO METEOROLOGICO

Todo instrumento que sea utilizado para medir los diferentes fenómenos de la atmósfera como la lluvia, temperatura, etc., se define como instrumento meteorológico. El conjunto de ellos forma el equipo meteorológico.

Muchos instrumentos se pueden conseguir bajo diferentes diseños o forma, de acuerdo a la firma que los produce. Aquí no se hará mención de instrumentos complejos.

Cualquiera sea la forma y su uso, todo instrumento meteorológico debe reunir las siguientes características:

Exactitud o precisión. El material con que es construído no debe presentar mucho cambio con el tiempo de servicio, de manera que las medidas sean normalmente exactas, al grado requerido y esperado. La exactitud depende de la calibración y de los ajustes periódicos del instrumento. Siempre se debe esperar una diferencia -error-, la cual a la vez establece el grado de exactitud.

Sensibilidad. Es la capacidad de medir los cambios del elemento sometido a medición. El grado de sensibilidad requerido en un instrumento depende de lo que se defina como mínimo cambio significativo, el cual es en otras palabras, el mínimo cambio en el elemento climático que siendo significativo es necesario medir. Así, para ciertos casos se requiere un mínimo de lectura de 0,2 °C y en cambio para otras situaciones puede ser de 0,5°C o más. Se puede confundir sensibilidad con precisión, pero se debe recordar que un instrumento medidor puede registrar pequeños cambios debido a su fina sensibilidad, pero la lectura de esos cambios puede ser poco precisa, ya sea por defectos de construcción del instrumento o por errores en la escala.

Fortaleza. Como la gran mayoría de los instrumentos deben ser colocados a la intemperie con poca o ninguna protección contra los elementos climáticos, es que deben ser fabricados suficientemente fuertes, de tal manera que resistan las condiciones severas del medio, con el mínimo de pérdida en precisión y sensibilidad, lográndose así un buen uso por el máximo de tiempo posible.

Diseño simple. Todo aquello que le sea agregado al instrumento con el fin de darle mejor apariencia es innecesario para los fines de medición y eso no significa ni más precisión ni mayor sensibilidad, sino más dinero.

Bajo costo. Está muy relacionado con lo anterior. No siempre el instrumento más bonito y más caro es el mejor. Se recomienda sacrificar bonita forma con el fin de abaratar los costos de estudio, pero nunca se debe tratar de ahorrar dinero comprando equipo de poca precisión y poca sensibilidad.

Clasificación del equipo meteorológico

Una vez que están en contacto con la atmósfera, todos los instrumentos meteorológicos miden los diferentes estados de ella. Parte del equipo está diseñado para marcar en papel las observaciones hechas, caracterizándose su nombre por terminar con el calificativo "grafos", como en pluviógrafo, termógrafo, etc. Cuando no hay registro escrito se dice que el instrumento es de lectura directa, como sucede con los pluviómetros, termómetros, etc. Basándose en estas características de lectura, el equipo meteorológico se puede agrupar en dos categorías:

De lectura directa. Formada por aquellos instrumentos que no dejan ninguna lectura escrita o grabada.

De lectura gráfica. Formada por todos los instrumentos que dejan las observaciones grabadas o "escritas" sobre papel, cartón o cualquier otro material.

También se pueden leer directamente, pero nunca se justificaría usarlos, por su mayor costo.

Se utilizan varias clases de gráficas para obtener sobre ellas un rastro o registro "escrito" de las observaciones hechas por el equipo meteorológico de lectura en gráfica. Las clases más comunes usadas en Costa Rica se pueden agrupar en dos categorías.

Impresiones en tinta o material similar: Son todas las gráficas impresas en papel que permiten el uso de tinta, quedando un trazo nítido de las observaciones continuas realizadas. Estas gráficas comúnmente presentan dos ejes, el de las X donde están las divisiones horarias y sus fracciones y el de las Y, con las unidades y sus fracciones correspondientes a las utilizadas para medir el elemento climático.

Impresión lumínica. Esta clase de gráficos en realidad está formada por los usados en los heliopirógrafos. Aquí los rayos del sol son concentrados en un punto y éstos, en contacto con el papel especial producen el quemado del mismo; este quemado constituye una línea que luego permite ver durante qué número de horas hubo sol.

Instrumento con equipo de relojería

Aún cuando se puede hacer uso de cualquier clase de energía, gran cantidad del equipo meteorológico de lectura en gráfica usa relojes de cuerda. El reloj puede estar fuera del cilindro al cual va colocado la gráfica o dentro de él, lo que es más frecuente.

Estos cilindros dan una vuelta completa cada día, cuatro o siete días. Lo más corriente es una vuelta cada día ó semana. Es necesario darle cuerda al reloj cada cierto número de horas o días, según las especificaciones del equipo.

La posición del reloj, así como la forma en que éste hace girar el cilindro y la gráfica puede y varía según los distintos instrumentos y diseños del productor. Todos los relojes exigen las mismas atenciones de mantenimiento, las cuales deben ser realizadas sólo por personas especializadas como lo son los relojeros; los relojes tienen un regulador para ajustar la velocidad de rotación del cilindro, lográndose con éste lecturas horarias exactas; este regulador es fácil de mover y así el reloj puede ser ajustado por el observador.

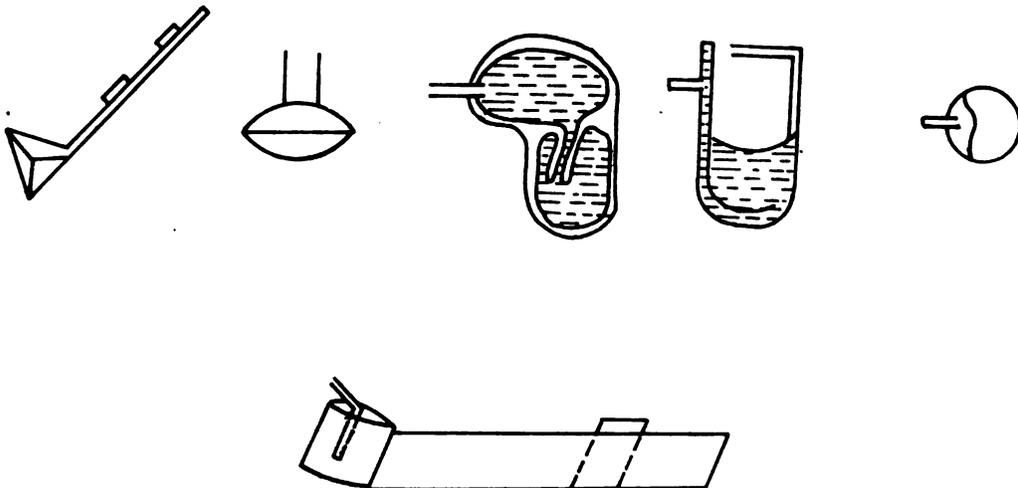
Teniendo bien definido que los instrumentos contruídos para un mismo propósito varían en diseño, se puede decir que el de lectura en gráficas está constituido de las siguientes partes fundamentales:

Elemento medidor. Puede ser un elemento sensible como los usados para el registro de la temperatura, anillo bimetálico, la humedad relativa, haz de cabellos, etc., o bien un simple receptáculo como los usados para medir la precipitación.

Parte intermedia. Constituída por un "brazo" adherido al elemento medidor por su base y por una plumilla en su otro extremo. Incluye un sistema de palancas y engranajes que no sólo une el "brazo" a la parte medidora, sino que aumenta la escala de los cambios sufridos por el elemento medidor; con el fin de lograr una lectura fácil y más correcta. Esta es una parte muy importante del instrumento y requiere lubricación y limpieza; no se debe usar mucho aceite ni aceite muy pesado, pues ocasionaría efectos no deseados al adherirse el polvo; en ciertos casos se recomienda mejor usar lubricantes en polvo.

Registro. Consta de una gráfica en la cual queda grabado el trazo dejado por la plumilla que está adherida al brazo anteriormente mencionado.

Las plumillas usadas varían en forma, pero todas tienen como finalidad hacer un trazo escrito de las variaciones del fenómeno en observación. Si la tinta está expuesta al aire, debe tener una composición especial de tal forma que no se evapore, ni se seque y que una vez que ha escrito seque rápidamente en el papel.



TIPOS DE PLUMAS DE APARATOS MEDIDORES

El instrumento también tiene un soporte para el montaje de la gráfica. Este puede ser de diferente forma y mecanismo. Un reloj o cualquier otro sistema que mueva el mecanismo sobre el cual está colocada la gráfica. Por último, casi todos presentan una caja cobertora. Está constituída en parte

por la estructura del instrumento y debe ser construída para resistir las condiciones severas de la intemperie.

Cambio de la gráfica. Se hace a la hora que se fije de antemano dependiendo de si es para 1, 4, 7 o 30 días de duración. Cada vez que ésta se cambia se deben seguir los siguientes pasos:

- Aliste en la oficina la nueva gráfica en la cual debe indicar con claridad y al dorso los siguientes datos:
Fecha y hora en que se coloca (indicando día de la semana, mes y año). Lugar (y su código si existe).
El nombre de la "Estación", población, cantón, provincia, con el fin de lograr una identificación exacta del lugar.
Nombre de la persona que hace el cambio y cualquier otro dato de interés particular.
- Abra con cuidado el instrumento, sin golpes, recordando que es delicado. Antes de abrirlo separe la plumilla de la banda, para lo cual existe algún sistema manual.
- Quite la tuerca de seguridad que tiene el cilindro en la parte de arriba. Saque éste lo más suave posible para no torcer el eje en que está metido.
- Cambie la gráfica. Al quitar la gráfica usada vea que tenga anotados todos los datos requeridos, agregándole fecha y hora en que fue quemada; no la doble ni la arrugue, para no dificultar su lectura. Coloque la nueva gráfica. Se debe poner especial atención en que la gráfica quede pegada a la parte inferior o anillo del cilindro y bien ajustada a él.
- Dé cuerda al reloj. Esto se puede hacer después de haber quitado la gráfica usada y antes de colocar la nueva. El momento en que se haga no tiene importancia, pero se debe hacer.
- Limpie la plumilla. Usando papel fino, absorbente y húmedo se debe limpiar la plumilla todas las veces que sea necesario. No se debe exceder en limpieza ni usar papel grueso pues daña las plumillas. La plumilla estará bien siempre que deje un trazo continuo y fino. Si es necesario quite y lave la plumilla con agua.
- Coloque en su lugar el cilindro y ajuste la tuerca de seguridad. Eche tinta a la plumilla, sin sobrecargarla. Para la mayoría de los instrumentos es necesario hacer girar el cilindro unos 30 minutos hacia atrás, al tiempo exacto en que se está haciendo el cambio. Deje caer la plumilla sobre la gráfica, si no marca, ayúdela haciendo que la tinta alcance la punta de la plumilla y empiece a fluir y escribir; logrado esto haga girar el cilindro en el sentido indicado hasta llegar a la hora exacta, quedando así en la gráfica un trazo pequeño que indica que se está logrando la escritura. Si al hacer esto se pasa de la hora de colocación, gire de nuevo hacia atrás unos 30 minutos y trate otra vez de alcanzar con la plumilla

la hora exacta en la gráfica. Esto se hace también para evitar la pérdida de observación por 15 ó 20 minutos iniciales, causada por el juego sin rotación que normalmente tienen los cilindros; además, si se pierden esos minutos, todas las observaciones posteriores llevarán un error en la lectura horaria, lo cual se debe evitar. Minutos después revise el instrumento para ver si está trabajando bien.

DESCRIPCION DE ALGUNOS INSTRUMENTOS

El equipo a la disposición de la meteorología está formado por un gran número de instrumentos científicos, dedicados a registrar los distintos estados o variaciones de los elementos o fenómenos climatológicos o meteorológicos. Aquí se resumen las generalidades de todos aquellos usados en climatología en nuestro medio.

Con el fin de familiarizarse con el uso y nombre de los principales instrumentos necesarios, se presenta la siguiente distribución, agrupados por elementos climáticos.

Nombre y usos de los instrumentos meteorológicos

Elemento climático	Instrumento Meteorológico de:	
	Lectura gráfica	Lectura directa
Lluvia	Pluviógrafos	Pluviómetros
Temperatura	Termógrafos	Termómetros
"Brillo solar"	Heliopirógrafos	
Radiación o Intensidad solar	Actinógrafos	Actinómetros
Humedad relativa	Higrógrafos	Higrómetros
Evaporación	Evaporígrafos	Evaporímetros
Rocío	Rociógrafos	
Viento	Anemógrafos	Anemómetros
Presión atmosférica	Barógrafos	Barómetros

Es corriente encontrar un instrumento construido para medir a la vez más de un elemento climático; en este caso se conocen por sus nombres compuestos, siendo los más comunes los higrótermógrafos o termohigrógrafos que miden temperatura y humedad relativa. Si miden además otros elementos como presión atmosférica, etc., se les conoce como "estaciones observadoras" indicando qué es lo que miden.

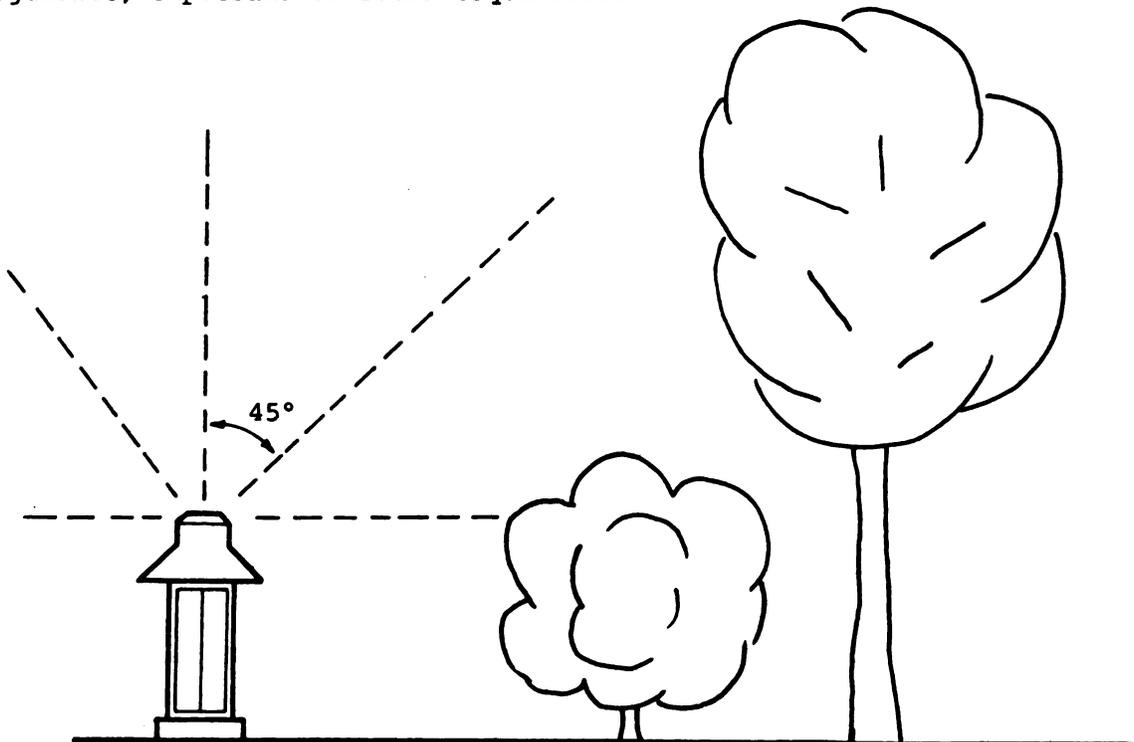
También a veces es necesario usar instrumentos de mucha sensibilidad para medir pequeños cambios en la temperatura, presión atmosférica, etc.; en este caso se les conoce por el calificativo de micro, por ejemplo microtermógrafo, microbarógrafo, etc.

Pluviógrafo

Descripción. Hay varios sistemas usados en los pluviógrafos para medir el agua de lluvia y es por esto que se clasifican según el principio de medición que empleen. El más usado en Costa Rica, es el pluviógrafo de flotador con sifón.

Unidad de medida. Se usa el milímetro, lo que corresponde en volumen a igual número de litros por metro cuadrado. Corrientemente las gráficas, vienen con divisiones de 1 mm. y subdivisiones de 0,1 mm.

Instalación. Ya sea como instrumento solo o dentro de una estación osbervadora, éste debe estar situado de tal forma que no haya obstáculos sobre él que afecten la entrada normal de la lluvia en la superficie receptora. Se aconseja que haya un espacio libre no menor de 45 grados en la vertical. Por espacio no menor de cuarenta y cinco grados se endiende lo siguiente, expresado en forma esquemática.



El pluviógrafo se debe fijar con tornillos al suelo, sobre una pequeña base de cemento, o bien simplemente se coloca y amarra con 3 alambres, para lo cual el instrumento trae en la parte superior 3 agarraderas.

Montaje. Al momento de armar un pluviógrafo se deben seguir cuidadosamente las instrucciones de montaje, ya que cada casa productora tiene sus propias ideas en cuanto al diseño y montaje. Se recomienda armar el pluviógrafo en el propio lugar en que va a ser usado, para evitar cualquier posible daño del instrumento en el transporte.

En general para armar y poner a trabajar un pluviógrafo se deben seguir los siguientes pasos:

- Fije al "suelo" la caja cobertosa.
- Instale el cilindro recolector, que es el que contiene el flotador.
- Coloque una gráfica en el cilindro o tambor, dentro del cual usualmente está el reloj.
- Dele cuerda al reloj e instale el cilindro en el eje respectivo.
- Agregue tinta a la plumilla.
- Afloje el anillo guía que tiene el sifón en la parte superior. Coloque el sifón y eche agua libremente por la superficie recolectora, para ver si la plumilla está pintando y para dejar así en la base del cilindro colector una reserva de agua que siempre debe quedar.
- Mida 10 mm en la probeta que trae el instrumento. Vierta 8 mm rápidamente y los dos últimos poco a poco. Para observar la marca en el papel, mueva el cilindro de la gráfica cada vez que sea necesario.
- Si la plumilla no está en 0, cuando baja, hágala llegar a 0 usando un tornillo calibrador que normalmente está en la base del brazo marcador. Para hacer que la plumilla llegue a los 10 mm, mueva el sifón haciéndolo entrar o salir en el cilindro recolector. Cuando el codo del sifón alcanza la altura deseada, el agua depositada se descarga del cilindro recolector, entonces fíjelo con su tornillo.
- Revise la calibración de nuevo.
- Cambie la gráfica, revise la tinta y la cuerda del reloj. Ya el pluviógrafo está listo para operar.

Mantenimiento. Lo mínimo aconsejable antes de empezar la época lluviosa es limpiar el sifón y el cilindro recolector, así como verificar que toda la tubería esté limpia, pues normalmente los insectos hacen de las tuberías sus refugios. Para limpiar el cilindro recolector lo único que hay que tener cuidado es no torcer el eje que está unido al flotador, lo cual se logra haciendo que el flotador esté totalmente en la parte superior del

cilindro. Esto se consigue fácil si se pone el cilindro recolector con la parte superior hacia abajo; normalmente la tapa de éste no es de rosca sino de presión. Lave el cilindro bien y séquelo. Se aconseja aceitar ligeramente el flotador, su eje y la tapa; esto último facilita mucho cuando se tenga que volver a abrir el cilindro. Se deben aceitar las piezas en fricción pero sin usar excesos. En general mantenga el instrumento en buenas condiciones y no lo olvide en la época seca, pues siempre debe estar listo para medir la primera lluvia.

Otras notas. Es frecuente observar que el pluviógrafo se va descalibrando conforme pasan los meses, o sea, la plumilla no alcanza ni el 0 ni el 10. Esto no afecta en nada la información, ya que se leen apenas los milímetros marcados entre la lectura inferior y la superior. La ventaja que marque en 0 y en 10 es que hace más fácil la lectura. Es conveniente dejar establecido que estos pluviógrafos dan un pequeño error, el cual es especialmente importante en los aguaceros muy intensos. El error está en que cuando el agua es deshalojada del cilindro colector por el sifón, toda el agua que entra durante ese momento no es marcada, ya que entra y sale sin hacer que el flotador suba de nuevo. El error sólo ocurre durante el período de tiempo que el sifón está trabajando.

Pluviómetro

El pluviómetro puede ser usado sólo y debe ser empleado como complemento del pluviógrafo. Sirve para calcular el error en el total de lluvia dado el pluviógrafo, mencionado en el párrafo anterior, y como sustituto para evitar que se pierdan los datos de lluvia en caso de cualquier daño en el pluviógrafo, el cual, como todo equipo mecánico, pueda fallar en cualquier momento, especialmente en su parte de relojería.

Los pluviómetros se pueden clasificar como de probeta, de reglilla y de pared.

En los pluviómetros de probeta lo único que hay que hacer es medir el agua colectada en una probeta, la cual en la mayoría de los modelos tiene una capacidad de 10 mm. Se debe tener el cuidado de no olvidar cuantas veces se miden 10 mm., pues es frecuente en aguaceros fuertes medir 4 ó más probetas. Un error de este tipo es muy significativo, no sólo en el dato en sí, sino en la poca confiabilidad de los datos tomados por un observador poco atento. En los de reglilla se mide la profundidad del agua colectada en el cilindro mediante una reglilla marcada en pulgadas. Tanto la probeta como la reglilla deben ser las correspondientes para cada modelo. Los llamados aquí de pared son todos aquellos que tienen un cilindro colector transparente y el agua se mide directamente en el cilindro colector, en su escala grabada en mm., por lo general son pequeños, vendidos y obsequiados especialmente a los aficionados; por el tamaño de la superficie colectora son poco exactos; no son recomendables.

Unidad de medida, el milímetro.

Instalación. El pluviómetro se debe fijar bien en alguna base, ya sea inferior o lateral. Si es lateral, la superficie recolectora debe quedar unos 10 cm. sobre el extremo de la base o poste y este extremo debe tener un corte de 45 grados siendo la cara de la parte alta para unir el pluviómetro.

Mantenimiento. Este es mínimo, pues el pluviómetro no tiene ningún mecanismo complicado. Las probetas o las reglillas deben estar a la sombra.

Pluviómetro de Hellmann

La cantidad de precipitación que cae sobre una superficie se determina por la altura medida en mm, en que dicha precipitación en forma líquida hubiese cubierto el suelo si no se hubiese infiltrado, escurrido o evaporado. Para llevar a cabo la determinación de la altura de la precipitación, se recoge sobre una pequeña parte de la superficie correspondiente la precipitación y se mide a intervalos determinados. El valor resultante de la observación se estima como valor promedio para la totalidad del campo bajo observación.

Ya que por razón de comparación de las observaciones el sitio de medición no deberá cambiarse, habrá que tomar en consideración el posible crecimiento futuro, en el sitio escogido, de árboles, arbustos, etc. La instalación sobre tejados o en campo abierto, especialmente sobre montículos, no es aconsejable ya que la influencia del viento puede afectar desfavorablemente las mediciones y por ello hacer que sólo excepcionalmente las mediciones sean realmente representativas particularmente en grandes extensiones de observación. La superficie recolectora deberá estar a un metro de altura sobre el suelo.

Los pluviómetros de Hellmann consisten fundamentalmente en un cilindro recolector con una superficie recolectora de 200 cm², una base, un recipiente colector y una probeta. La probeta cuenta con una graduación en "mm. de precipitación", de tal manera que la lectura de la altura de precipitación puede hacerse directamente. Para efectuar la lectura, viértase en la probeta la precipitación acumulada en el recipiente y efectúese la lectura manteniendo el menisco o superficie del agua en la probeta a la altura de los ojos. Léase el menisco inferior. En precipitaciones mayores de 10 mm habrá que llenar la probeta en repetidas ocasiones. La suma de las medidas parciales dará el resultado de la altura total de precipitación pluvial acumulada en el recipiente.

Con objeto de tener una mayor exactitud de lectura en pequeñas precipitaciones, el fondo de la probeta ha sido diseñado en forma cónica, de tal manera que facilite la lectura de precipitaciones inferiores a 1 mm.

A pesar de los pocos problemas de mantenimiento, los pluviómetros no dejan de requerir ciertos cuidados. Entre estos se puede mencionar la limpieza periódica del recipiente recolector, eliminando de él follaje o

pequeñas basuras que pudieran obstruir el paso al recipiente recolector.

Termógrafos

Todos los sistemas para medir la temperatura hacen uso de las propiedades térmicas de diferentes sustancias. Uno de estos sistemas consiste de un anillo bimetalico cortado, que tiende a abrirse con el calor y cerrarse al enfriarse. Un extremo del anillo está fijo y el otro libre, lo que permite registrar las variaciones térmicas. El extremo libre está unido por una serie de piezas y uniones al brazo marcador y a la plumilla, la cual imprime sobre la gráfica las variaciones térmicas.

Unidad de medida. Conviene comprar termógrafos con gráficas o bandas en grados centígrados. Al pedir estos instrumentos a la casa productora se deben especificar los márgenes o límites de lectura necesarios para la región en que se van a usar. Un margen de medida desde 0 hasta +50°C es bueno para ser usado en Costa Rica.

Instalación. Los termógrafos deben ser instalados dentro de "casetas" protectoras, a una altura no menor de 1,50 metros ni mayor de 2,00 metros, para fines climatológicos. Debe estar ubicado dentro del lugar que se desea medir pero en un punto representativo, evitando la cercanía a lugares calientes, corrientes de aire motivados por edificios o cualquier otra causa que motive la alteración de la temperatura local.

Montaje. Esta clase de instrumento comúnmente viene totalmente armado de fábrica y lo único que hay que hacer es soltar las piezas que vienen amarradas.

Para calibrarlo lo mejor es disponer de una cámara térmica de control; otro método es dejarlo trabajando y ajustarlo con las temperaturas extremas (máxima o mínima); lo cual no es del todo exacto ya que los termómetros son más sensibles y reaccionan más rápido ante los cambios de temperatura que los termógrafos.

Mantenimiento. El termógrafo exige poco mantenimiento, especialmente si se tiene bien instalado y protegido contra la acción de animales, personas, etc. Las partes en movimiento se deben limpiar de polvo y aceitar al menos una vez por año, sin usar aceite pesado ni en exceso.

Higrógrafo

Mide la humedad relativa. Entre los más corrientes están los que usan sustancias higroscópicas, como el "cabello"

Unidad de medida. La humedad relativa es expresada en términos de porcentaje.

Instalación. Para los fines climatológicos normalmente se le debe colocar en una "caseta protectora", cuyo piso debe estar a una altura de 1,50 metros sobre el suelo.

Montaje. Los higrógrafos de cabello vienen de la fábrica casi listos para empezar a funcionar y lo único que hay que hacer con anterioridad a su utilización es soltar todas las amarras que están fijando las piezas que tienen movimiento y colocar el haz de "cabellos". Estos vienen en una caja separada para evitar el contacto con el polvo, grasa, etc.; se les debe colocar de acuerdo a las instrucciones del instrumento, y nunca se debe tocar el haz de "cabellos" con los dedos, ni se les debe colocar en sitios con mucho polvo o grasosos. Durante el montaje de éstos se les debe agarrar por los extremos metálicos que los vienen uniendo.

Una vez hecho lo anterior, se debe echar tinta a la plumilla y proceder a calibrarlo. Para esto se pueden usar varios métodos, entre los cuales los más comunes son:

- Colocarlos dentro de una cámara de calibración, en la cual se conoce temperatura y humedad relativa.
- Colocarlos en un cuarto sin corrientes de viento y con temperatura constante. Una vez colocado dentro del cuarto envuélvase con un paño bien húmedo, para lo cual conviene usar un marco para evitar que el paño toque el higrógrafo, déjese así cubierto hasta que alcance una medición de 100%. Luego quítese el paño y déjese expuesto a la acción del medio del cuarto. Cuando el higrógrafo alcanza una medición más o menos constante, compárese con mediciones del psicrómetro de ventilación artificial y procédase a hacer los ajustes del caso, para lo cual el instrumento trae sus tornillos que hacen que el brazo suba o baje hasta que la plumilla marque el porcentaje deseado. Déjese unos 15 minutos y compárese de nuevo con el psicrómetro; ajústese si es necesario. Repita toda la operación por segunda vez y por las veces que sea necesario hasta que las lecturas de ambos, higrógrafo y psicrómetro coincidan.
- Colocar el higrógrafo a la par de otro que esté en funcionamiento. Usando este método es muy difícil obtener calibración, además de que se requiere mucho tiempo.

Mantenimiento. El mantenimiento necesario mencionado para el higrógrafo, es el mismo requerido para el termógrafo.

Este instrumento necesita estar comparando periódicamente las mediciones hechas con las de un psicrómetro, lo que preferiblemente debe ser llevado a cabo durante días de temperatura constante, días nublados o cerca de la hora del día en que en el lugar se alcanza la temperatura mínima.

En condiciones normales y bajo un buen sistema de mantenimiento, el haz de "cabellos" puede servir por varios años. Se debe recordar que en lugares con contaminación atmosférica de gases ácidos (amonio, etc.) la duración de éstos es menor. En todo caso, cada vez que los "cabellos" se dañen deben reemplazarse por unos nuevos, haciéndose necesario todo el proceso de calibración. Para limpiar periódicamente el haz de cabellos se debe sacudir de arriba hacia abajo con un pincel limpio, de pelos de camello o cualquier otro que sea fino y que fundamentalmente no sea grasoso. Cuando se observe que esta limpieza no es suficiente, se debe proceder inmediatamente a lavarlos, para lo cual se debe usar solamente agua destilada. Nunca use pinceles sucios ni toque los "cabellos" con la mano, pues la suciedad en ellos significa pérdida de sensibilidad y precisión en las mediciones. Otro cuidado especial que hay que tener con los "cabellos" es el de no aplicarles ninguna fuerza que tienda a estirarlos. Si se necesita hacer marcas en las gráficas usando la plumilla del instrumento, nunca mueva el brazo del mismo en el sentido de resistencia, es decir, en el sentido que obliga a los cabellos a estirarse. Observe primero antes de hacer la primera marca y luego hágala de tal forma que al mover el brazo del instrumento el haz de "cabellos más bien se afloje". El aplicar cualquier fuerza que dilate los "cabellos" así como la exposición de ellos a un ambiente seco por mucho tiempo, entre otros factores, tiende a restar precisión en las mediciones.

Termo-higrógrafos

Los termógrafos y los higrógrafos se construyen corrientemente en una sola unidad, que se conoce como higrótermógrafo o termo-higrógrafo.

Los termo-higrógrafos sirven para la medición y el continuo registro de la temperatura y de la humedad relativa del aire. Las unidades de medida, así como el mantenimiento, son las mismas que aparecen en las secciones dedicadas para los higrógrafos y los termógrafos por separado.

Como protección antes del transporte del elemento medidor de la humedad, del dispositivo de transmisión y del dispositivo de registro, se fija el brazo porta-plumillas por medio de una grapa metálica elástica, y se asegura la varilla de abajo con una calza de cartón.

Después de desembalar el instrumento y de haber elegido un sitio apropiado para las mediciones (véase las instrucciones para el uso "Aparatos Registradores Lambrecht," Tipo Tambor) para poner en servicio el instrumento, primeramente hay que tirar hacia adelante la grapa metálica sirviendo de detención del brazo portaplumillas y luego el cartón asegurando la palanca ajustadora de la varilla. Entonces se coloca el arpa de pelos embalada eventualmente por separado, evitando estirarla. En el extremo alto de la columna soportando los elementos medidores y partes del dispositivo de registro, hay dos ganchos pequeños. La montura del arpa de pelos provista de dos agujeros se cuelga en estos ganchos. En la montura baja sólo hay un agujero para colgar aquel gancho que está arreglado fácilmente movable

en el cigueñal del dispositivo bajo de registro. Con esto, hay que levantar un poco el brazo portaplumillas,

Después hay que regenerar el elemento medidor de la humedad. Así se evitan errores causados por haber quedado seco el elemento medidor durante mucho tiempo en el transporte. Se hace la regeneración mojando bien el arpa de pelos con agua pluvial limpia usando un pulverizador o una pluma. Hay que repetirlo con frecuencia, para que el arpa esté mojada durante 30 minutos. Luego el instrumento debe indicar el 95% de humedad relativa. En caso contrario, se puede corregir la desviación regulando el tornillo de ajuste marcado de rojo que se encuentra en el extremo alto de la columna. Hay que prestar especial atención que se efectúe el ajuste al 95 solamente cuando el elemento medidor todavía quede bien mojado y cuando ya no se observa más movimiento de la plumilla registradora en dirección vertical. Una vez evaporadas -después de la regeneración y en caso dado del reajuste- las últimas gotitas de agua que se queden en el arpa de pelos respectivamente en el instrumento, la plumilla se ajusta a la humedad efectivamente existente. Tomando en consideración las instrucciones para el uso "Aparatos Registradores Lambrecht" (Tipo Tambor) , se puede dar cuerda al mecanismo de relojería, poner el tambor en la posición correcta y llenar de tinta las plumillas. Entonces el termo-higrógrafo está listo para el servicio.

Todo termo-higrógrafo que se usa continuamente en aire seco o que se guarda durante un tiempo prolongado en cuartos donde el aire nunca esté saturado de humedad, indica valores de humedad demasiado altos. Por esto se recomienda hacer la regeneración del elemento medidor de la humedad cada dos semanas, existiendo la posibilidad de comprobar la indicación correcta del instrumento. El instrumento ajustado correctamente en 95% indicará después correctamente en todas las condiciones de humedad. En caso de mediciones en aire relativamente seco con temperaturas elevadas es recomendable hacer la regeneración con frecuencia (por ejemplo usando los termo-higrógrafos e instalaciones secadoras antes de cada proceso de secar). En cambio, si la humedad en el sitio de la medición llega a menudo a 95% de humedad relativa, el elemento medidor se regenera automáticamente. Elementos medidores deteriorados por la influencia del calor siempre registran valores de la humedad demasiado elevados. Si registros erróneos tienen esta causa, tampoco tendrán éxito las regeneraciones. En este caso hay que reemplazar el arpa de pelos.

Como se ha prestado mucha atención al elegir los elementos medidores en cuanto a sus cambios de longitud dependientes de la humedad, pueden cambiarse ahí mismo las arpas de pelos. A continuación sólo hay que regenerar el arpa de repuesto de la manera arriba descrita y reajustar el punto 95%.

Las desviaciones de indicación en diversos instrumentos de medida higrométricas no significan de ningún modo una manera defectuosa de trabajo. En la mayoría de los casos la causa es una diferencia en la distribución de la humedad en el espacio. Una comparación de instrumentos solamente es posible bajo la condición de que los higrómetros respecto a los higrógrafos

recién regenerados estén colocados directamente uno al lado del otro, protegidos contra radiaciones térmicas y expuestos a la moderada corriente de aire de un ventilador de mesa. En caso de duda es recomendable emplear como instrumento de control el psicrómetro de aspiración según Assmann.

Se recomienda comprobar de vez en cuando también la exactitud de registro del termógrafo. Para este fin se pone un termómetro exacto de mercurio en cercanía inmediata del bimetálico. Si se notan desviaciones en la indicación se hace la corrección moviendo el tornillo moleteado marcado de rojo que hay en el bimetálico.

Si ocasionalmente debe transportarse el termo-hidrógrafo sobre distancias más largas, hay que limpiar las plumillas, descolgar en caso dado el arpa de pelos y sujetar el brazo portaplumillas bajo en la varilla. Si el elemento medidor de la humedad se queda en el instrumento entonces hay que sujetar el brazo portaplumillas bajo de tal forma que su plumilla indique aproximadamente 0% de humedad relativa. De esta manera se evitan con toda seguridad las distensiones del elemento medidor durante el transporte. Finalmente hay que levantar del tambor los brazos portaplumillas y asegurar la palanca ajustadora de la varilla por medio de una calza de cartón.

Termómetros

Existen termómetros específicos, con diseños especiales, para medir la temperatura del suelo, del agua o del aire. En general ellos varían en forma pero no en principio.

Termómetros de máxima

Emplean mercurio como elemento térmico y son los que usan para medir la temperatura máxima. Presentan una constricción en el conducto capilar, el cual permite que salga el mercurio del bulbo pero no que regrese; al ocurrir la máxima el mercurio en la constricción se rompe, no pudiendo regresar al bulbo. Este sistema permite saber cuál es el punto máximo a que alcanza la dilatación de él, sabiéndose en esta forma la temperatura máxima. Una vez que se ha leído la temperatura por movimientos centrífugos se logra el retorno del mercurio al bulbo. Para lograr esto se toma el termómetro por el extremo opuesto al bulbo y se agita de arriba hacia abajo, con el cuidado de no golpearlo contra ningún obstáculo y sobre todo de hacerlo con ritmo, suave y sin sacudidas violentas; cuando no se tiene cuidado con lo anterior, la constricción se agrieta y el mercurio puede regresar hasta 1 grado centígrado y esto constituye un significativo error. Por este medio es que a veces se sugiere colocar el termómetro de máxima con el bulbo ligeramente hacia arriba, teniendo solo el cuidado de regresar la barra de mercurio suavemente hasta que tope la constricción y luego leer inmediatamente. Este método es bueno pero normalmente se prefiere instalarlo con el bulbo más bien en un nivel o plano inferior, observando con detalle el termómetro cada cierto tiempo, con el fin de notar cualquier defecto, ya sea en la constricción o en el capilar.

Termómetro de mínima

El líquido termométrico es alguna sustancia orgánica como $C_6H_5CH_3$ (tolueno), C_5H_{12} (pentano), C_2H_5OH (Alcohol etílico) etc. Estas sustancias, a pesar de ser menos exactas que el mercurio, se prefieren por tener un punto de congelación cercano a los 100 grados centígrados.

Durante el transporte o al estar expuesto al sol, es frecuente observar que la columna del capilar se rompe en pequeñas secciones. Si este accidente no es notado a tiempo se incurre en un error en la lectura, ya que los espacios entre la columna afectan el resultado exacto. Cuando el rompimiento de la columna sucede se debe proceder inmediatamente a unirla para lo cual hay varios métodos: cogiendo el termómetro por la parte superior (bulbo hacia abajo), golpearlo en movimiento vibratorio, suavemente y contra la mano o algún objeto de hule, por espacio de 5 minutos. La posición del termómetro es a veces mejor si se le tiene 45 grados de inclinación cuando se le está golpeando, en lugar de la posición vertical. Cuando la columna se ha unido se le debe dejar en posición vertical, con el bulbo hacia abajo, por una hora al menos.

Si el método anterior no da resultado, se debe sumergir el bulbo en hielo seco (CO_2), dejando el resto del termómetro a la temperatura ambiente. Déjese en el hielo seco hasta que se una la columna. Si no se tiene hielo seco, una mezcla de hielo y sal da el mismo resultado, pero se tiene que dejar por más tiempo.

El termómetro de mínima se debe instalar horizontalmente para que el marcador indique la temperatura mínima alcanzada. El marcador o índice es un pequeño filamento de color que se halla dentro del líquido del termómetro y por efecto de la tensión superficial del menisco es arrastrado hacia el bulbo hasta el punto más bajo que se registre; al subir la temperatura, la columna de líquido se dilata y se aleja del marcador, el cual queda indicando la temperatura mínima en su extremo más alejado al bulbo. El índice queda fijo cuando la columna de líquido se dilata; y cuando se contrae, ejerce presión sobre el marcador, haciéndolo descender hasta la temperatura mínima.

Luego que se ha leído la temperatura mínima, se debe mover el marcador, hasta alcanzar de nuevo el menisco, para lo cual se usa un imán o se le hace descender colocando el bulbo hacia arriba, operación que debe ser hecha con suavidad.

Unidad de medida. La unidad utilizada es el grado centígrado ($^{\circ}C$); en algunos países emplean el grado Fahrenheit ($^{\circ}F$). En Costa Rica se pueden emplear termómetros con los siguientes límites:

Termómetros de máxima: desde $- 30^{\circ}C$ hasta $50^{\circ}C$.

Termómetros de mínima: desde $- 40^{\circ}C$ hasta $40^{\circ}C$.

Las escalas deben estar subdivididas al menos cada medio grado centígrado.

Instalación. Los termómetros se deben instalar siguiendo las mismas instrucciones dadas para los termógrafos.

Heliopirógrafo

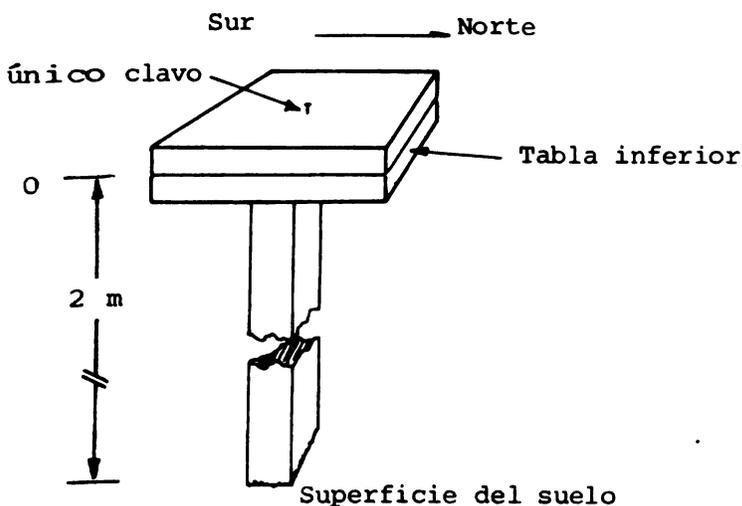
Este instrumento también conocido como piroheliógrafo o heliógrafo, mide la duración diaria del "brillo" solar. Si bien existen varios modelos, el más usado es el de Campbell Stokes, el cual no es sensible a la energía difusa.

Este heliopirógrafo está constituido de dos partes:

- Una esfera de vidrio, que concentra los rayos del sol sobre un punto de la gráfica, lográndose así el registro de la duración de "brillo" solar.
- El cuerpo o resto del instrumento, no sólo soporta la esfera de vidrio sino que tiene una serie de piezas que deben ser ajustadas a la hora de su instalación

Instalación. Se debe instalar en un lugar sin sombra. En otras palabras, debe escogerse un punto en el cual los rayos del sol puedan llegar directamente, cualquiera sea la hora del día. El heliopirógrafo debe ser montado en una columna, preferible de cemento, de dos metros de altura, la cual debe tener en la parte superior una área de 25 cm de lado. Esta columna puede tener la siguiente forma y dimensiones:

Columna de cemento para el heliopirógrafo



"Mesa"

Dos tablas de 1 pulgada de grueso por 25 cm. de lado; una inferior, fija en la estructura de cemento; una superior fijada por su centro con un clavo, de tal manera que pueda girar libremente para facilitar la orientación del instrumento.

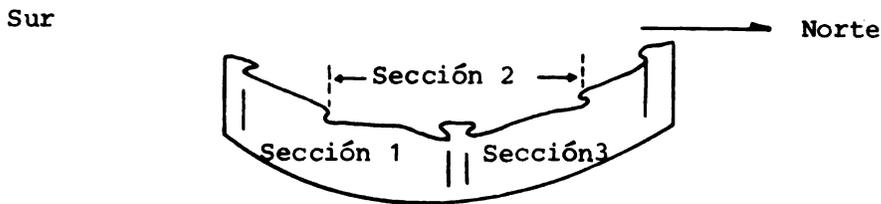
Al fijar la columna al suelo se debe tratar de que sus lados, en la parte superior, queden orientados Norte-Sur y que la "mesa" quede nivelada.

Montaje. El instrumento debe ser para una latitud de 10 grados norte. Para su montaje se deben seguir los siguientes pasos:

- Coloque la base de la columna de cemento en el suelo dejándola bien fija, sin movimiento oscilatorio, a plomo y con la "mesa" nivelada.
- Coloque la esfera de vidrio en el resto del instrumento. Sóluela haciendo uso de las tuercas especiales, pero no use ninguna herramienta.

El heliopirotógrafo usa tres clases diferentes de gráficas de acuerdo a la época del año, con el fin de lograr que los rayos del sol siempre alcancen la gráfica. En un corte transversal Sur - Norte del soporte de las gráficas se observan las siguientes partes.

Corte transversal Sur-Norte del soporte de las gráficas



Con el fin de simplificar, en el cuadro que aparece a continuación, se dan las distintas clases de gráficos que se deben usar, tabuladas por secciones.

Sección No.	Clase de gráfica	Fechas de uso			
		desde	hasta	desde	hasta
1	Curva larga	15 abr.	10 set.		
2	Recta	10 set.	20 oct.	marzo	15 abr.
3	Curva corta	20 oct.	feb.		

Separe la parte inferior del instrumento y fíjela a la tabla de la "mesa" en la columna, tratando de que al montar el resto del equipo la parte

que va hacia el Norte ya quede orientada hacia ese punto. Monte el resto del instrumento a la parte ya fija. Nótese que la "mesa" está constituida de dos tablas de iguales dimensiones y que ellas deben estar coincidiendo en sus bordes. En la base y en uno de los lados del instrumento hay una escala de latitudes; usando la guía coloque el heliopirógrafo a los 10 grados. Fije los tornillos respectivos.

Nivele el instrumento. Haga uso de las tuercas que hay entre la base inferior y la superior del instrumento.

En un día preferiblemente despejado coloque la gráfica correspondiente. La marca de las 12 horas debe coincidir con la marca guía que existe en el centro de soporte de la gráfica. Apenas el sol empieza a quemar la gráfica, haga que el trazo quemado sea paralelo con la división longitudinal de la misma. Si no existe ese paralelismo, haga girar la tabla superior de la "mesa", hasta que haya paralelismo entre la línea quemada y la línea central de la gráfica.

Logrado lo anterior, fije la tabla superior usando clavos pero dejándoles la cabeza fuera, para posibles nuevas calibraciones. Revise el nivel del instrumento y deje que la burbuja descansa en el centro, indicando que el heliopirógrafo está nivelado. Pequeños ajustes para lograr una orientación exacta se puede lograr moviendo la base superior del instrumento, para lo cual se tiene que aflojar los 3 tornillos que la fijan.

Observación. Como la hora civil y la hora solar no coinciden al minuto, se observará que siempre hay una diferencia de minutos, siendo aproximadamente de 30.

Mantenimiento. Este instrumento no tiene piezas en movimiento, de tal forma que su mantenimiento es mínimo, teniéndose sólo que estar limpiando los canalitos donde se introduce o se monta la gráfica y dependiendo de la zona, se debe estar limpiando la esfera de vidrio las veces que sea necesario.

Unidad de medida. En este instrumento el registro de la gráfica se interpreta en términos de horas y décimos de "brillo" solar. La hora equivale a 1,0, lo que significa que media hora será 0,5.

Actinógrafo

Este instrumento mide la energía solar en caloría $\text{cm}^{-2} \text{min}^{-1}$. El elemento medidor está constituido normalmente de una superficie blanca y otra negra, las cuales al exponerse a la acción de la energía calórica absorben diferentes cantidades de radiación solar.

Actinógrafo de Robizch

Fue descrito en 1932. Está basado en principios físicos, pero los problemas que presenta no han sido superados, por lo que solo se recomienda

para lecturas diarias totales, con lo cual se obtiene una exactitud de ± 5 a 10%.

La parte sensible del actinógrafo consta de tres placas bimetálicas colocadas horizontalmente, una al lado de la otra. La placa central es negra y las laterales blancas, para evitar que la negra absorba la radiación difusa. Las placas están colocadas de tal forma, que una diferencia en temperatura entre ellas produce un movimiento proporcional al de la pluma.

El lugar donde se halla la parte sensible (placas) es hermética y de no serlo, debe usarse un deshumectante (normalmente sílica) que debe ser cambiado cada vez que sea necesario. La sílica seca es de color azul y cuando se humedece se vuelve rosada, es entonces cuando debe ser cambiada y extrayéndole la humedad puede ser reutilizada.

La medida de la radiación solar se hace con planímetro (instrumento utilizado para leer figuras planas).

El actinógrafo está calibrado con un instrumento patrón, a una determinada latitud; entonces cuando este ha de trabajar a una latitud diferente a la de calibración, necesita de un factor de corrección para aplicar a las lecturas. Cada actinógrafo lleva un certificado de contraste que da el valor del factor por el cual hay que multiplicar las lecturas de acuerdo a la latitud y declinación aparente del sol. Para el actinógrafo "Fuess", de registro semanal, un milímetro cuadrado de la banda corresponde a 0,962 cal gr/cm². Se multiplica el área comprendida por la curva, la línea cero y las ordenadas extremas por el número de minutos del intervalo (semana, día), considerado, obtendremos la radiación total recibida.

La cúpula de vidrio protege la parte sensible de la humedad, viento y de la pérdida de la radiación de onda larga, además no permite la entrada de la radiación terrestre.

Para calibrar al actinógrafo de Robitzch el instrumento se puede colocar en un lugar oscuro en donde se supone que la diferencia térmica entre las dos barras o placas debe ser mínima y con ello la plumilla debe marcar cero. El cero se logra moviendo el brazo y por lo tanto la plumilla, haciendo uso de los tornillos respectivos, de acuerdo al modelo.

Unidad de medida. Es la caloría cm⁻² minuto⁻¹, pudiendo obtenerse totales, diarios, etc. en calorías cm⁻².

Instalación. Se debe fijar a una base de cemento quedando a una altura no menor de 2 metros, de tal manera que los rayos del sol puedan llegar hasta él sin obstáculos a cualquier hora del día durante todo el año.

Montaje. El instrumento viene generalmente casi armado de fábrica y lo único que hay que hacer es soltar todos aquellos amarres que están asegurando las partes móviles. El instrumento debe fijarse a la columna, pues

tiene que quedar sin movimiento y nivelado.

Mantenimiento. Requiere mucho cuidado y tantas veces como sea necesario se deben aceitar las piezas en movimiento y limpiar la cápsula de vidrio. Cuando el color negro del elemento medidor se descolora se debe volver a pintar, teniendo el cuidado de usar la pintura que para ese efecto vende la casa que fabrica el instrumento.

Atención especial se debe tener con las sustancias deshumectantes que vienen dentro del equipo y que tienen como finalidad evitar el vapor de agua dentro de la cápsula de vidrio, que es donde se hallan los elementos medidores. Esta sustancia (sílica) empieza a perder su propiedad deshumectante conforme va absorbiendo la humedad ambiente y cuando está saturada se debe cambiar por otra no saturada. El número de veces por semana o por mes que sea necesario cambiar esta sustancia depende de la zona.

Casi siempre el material saturado se puede volver a usar si se le coloca en una estufa en donde pierde el agua absorbida; no se debe usar temperaturas altas porque se quema el material deshumectante, perdiéndose definitivamente. Para el cambio de esta sustancia no es necesario desmontar todo el instrumento ya que es frecuente que el tubo de cedazo en que se halla esta sustancia se pueda sacar del instrumento, pues están dotados de una rosca que los une al mismo. Estas rocas deben aceitarse con el fin de facilitar el montaje y desmontaje de tales tubos y nunca se debe usar ningún instrumento para socarlas, siendo suficiente la acción dada por la fuerza de la mano.

Si por algún motivo se quiebra la cápsula de vidrio, el instrumento, debe ser retirado hasta tanto no sea reparado el daño, pues ésta se necesita para aislar los elementos medidores de la acción de la humedad y del viento.

Psicrómetros (termómetro de bulbo seco y húmedo)

Formado por dos termómetros que están colocados uno a la par del otro. La diferencia entre ambos consiste en que el del bulbo húmedo está forrado con una tela higroscópica, algodón, la cual tiene que estar húmeda al momento de hacer la medición. Hay unos que tienen ventilación artificial, conocidos como psicrómetros de Assmann y otros sin ventilación artificial, los que hay que hacer girar con la mano para su ventilación, llamados de honda.

Unidad de medida. Los termómetros pueden tener sus escalas desde -35 hasta 50 grados centígrados, con divisiones de 1/10 de grado. La humedad relativa se da en por ciento en las tablas respectivas que traen los instrumentos.

Montaje. Lo único que hay que hacer es instalar los termómetros en el resto del instrumento. Una vez armados no requieren calibración.

Mantenimiento. Los de Honda se deben tener guardados en su caja para proteger los termómetros y en el caso de los de ventilación artificial se debe dar especial cuidado al abanico, el cual debe conservar la velocidad original para que no varíe la velocidad de la corriente de aire, factor que es significativo. Los portátiles conviene tenerlos en la oficina o en cualquier otro lado donde no sean maltratados. Se debe tener bien protegidos contra la brisa marina.

Los errores de este instrumento se presentan por los errores en los termómetros en sí o por los siguientes errores posibles del termómetro de bulbo húmedo causados a su vez, por los siguientes factores:

- Excesiva o escasa ventilación.
- Tela delgada o poco higroscópica.
- Tela sucia.
- Agua contaminada por cualquier sustancia.
- Bulbo sucio (precipitado)

La tela cobertora del bulbo húmedo debe ser cambiada una vez cada dos semanas o cada vez que sea necesario dependiendo esto de la cantidad de polvo, humo, etc. en la atmósfera, de acuerdo a la época y a la región. Se debe limpiar la parte sensible del termómetro de bulbo húmedo, cada vez que lo amerite.

Evaporímetro

Los evaporímetros se utilizan para medir la evaporación. Los hay de varias clases entre los cuales se pueden citar los siguientes:

Evaporímetro de Tanque

El tanque mide 1,22 m de diámetro y 25 cm de profundidad. Dentro del tanque se coloca un cilindro guía que sirve de soporte a un tornillo graduado y su micrómetro. Haciendo la diferencia entre la lectura del micrómetro anterior y la siguiente, se obtiene el número de mm evaporados. El tanque debe ser colocado a nivel sobre una base de madera para evitar que la humedad lo oxide.

El aparato medidor de la evaporación consta de dos partes fundamentales: cilindro de apoyo y medidor propiamente dicho, instalado dentro del agua del tanque. El extremo del tornillo micrométrico que queda dentro del agua, termina en gancho, el cual debe moverse de modo que el extremo del gancho quede exactamente tocando el nivel del agua, rompiendo apenas la tensión superficial.

Al extraer el tornillo micrométrico dentro del cilindro y entrar el agua a éste por la parte inferior hay posibilidad de realizar la medida aunque sople viento fuerte y se mueva la superficie libre del agua en el tanque.

Los tanques de evaporación varían en cuanto al medidor y donde está ubicado; unos lo tienen en el centro, otros en el borde, pero el principio siempre será el mismo.

Es conveniente que el nivel del agua no baje mucho del borde; totalmente unos 5 cm del borde es suficiente y se debe volver a echar agua, cuando este nivel descienda a 7 cm aproximadamente.

Para evitar el crecimiento de algas en el agua es aconsejable echar dentro del tanque unos fragmentos de alambre de cobre. Además se debe tener limpio de polvo, pajas, etc., para lo cual debe limpiarse periódicamente.

Evaporímetro de superficie porosa

El representante de esta categoría y el más usado es el evaporímetro piché recto, que consiste en un tubo de vidrio marcado en mililitros que va desde 0,1 hasta 30,0 m. En el extremo abierto tiene un sujetapapel para sostener el disco de papel absorbente. Para su instalación tiene un agujero en el extremo superior, de donde se cuelga a un soporte, dentro de la caseta meteorológica. Debe usarse agua destilada. El disco absorbente se coloca bien centrado en medio del sujetapapel y el extremo abierto del tubo, luego esperar unos minutos hasta que el disco esté totalmente húmedo y las burbujas dentro del tubo dejen de salir; en ese momento se lee al nivel del agua. La nueva observación se hace normalmente a las 24 horas.

Cuando el disco se dañe, o se recubra de polvo, debe cambiarse. El diámetro externo del tubo es igual al disco metálico del sujetapapel; el diámetro del disco de papel es de 3 cm.; sus dos superficies contribuyen a la evaporación, siendo el área útil de 11 cm². En este caso caml. equivale a 0,83 cm.

Existen varias formas en las cuales las lecturas de la evaporación pueden ser usadas, pero debido a la gran influencia del viento, exposición y temperatura del bulbo seco, no existe fórmula aplicable para relacionar con precisión estas lecturas con la evaporación real del agua de superficie libre (lagos, etc.) o del suelo.

Otro evaporímetro de esta categoría es el de esfera de Livingston. Consiste de una esfera porosa de porcelana que mide aproximadamente 5 cm. de diámetro y su grueso es de 3 mm. unida a un tubo delgado de sustancia no porosa para evitar la evaporación a través de él. Se ha usado mucho en investigaciones forestales y botánicas, porque su porosidad se acerca más a las condiciones del suelo y de las plantas. Convendría su investigación para ver si da resultado en nuestras condiciones climáticas. La esfera se une a una botella y todo el conjunto se llena de agua destilada.

Resumiendo se puede observar que cualquiera sea la forma y principio, todos ellos tienden a medir la evaporación como columna de agua perdida.

Se sabe que los resultados son diferentes de acuerdo al sistema usado, lo que establece que la información no sea precisa y que datos de evaporación solo son comparables si han sido medidos con los mismos instrumentos bajo las mismas condiciones de instalación.

Unidad de medida. Es el milímetro. La lectura en mililitros obliga casi siempre a su conversión a milímetros para poder relacionar evaporación con lluvia.

Instalación. Los tanques de evaporación sobre suelo, deben estar alejados de la acción de los animales y en un punto que no sea afectado por ninguna sombra o corriente de viento provocada por condiciones artificiales. Los evaporímetros de Piché y de esfera de porcelana, no requieren protección contra los animales, pero deben ser instalados en un lugar representativo de donde se quieren instalar y deben estar a la sombra; en la mayoría de los casos se les halla dentro del abrigo meteorológico.

Montaje. No requieren ninguna atención especial, siendo únicamente el tanque de evaporación el que exige un poco más de trabajo, ya que para ello debe hacerse una base para nivelarlo, montar la guía medidora en el centro del tanque o al lado, de acuerdo al modelo, y darle toda la protección contra todo riesgo de pérdida de agua causada por factores ajenos a la evaporación.

Mantenimiento. Se debe tener libre de polvo y en el caso del Piché se debe cambiar el filtro todos los días. No hay nada que aceitar. Hay que usar y tratar con mucho cuidado los instrumentos frágiles.

Anemómetro

El anemómetro mide la velocidad del viento. El más usado es el llamado molinete de Robinson que se compone de 3 brazos horizontales que forman ángulos de 120° y fijos sobre un eje vertical que puede girar libremente. En los extremos de estos brazos existen unas mitades de esfera que están orientados hacia un mismo lado.

Estos anemómetros generalmente están contruídos de tal forma que cuando el viento recorre cinco metros, el molinete da una vuelta.

Lo más frecuente es que el aparato de Robinson registre continuamente la velocidad del viento, es decir, que sea un anemógrafo. En este caso el eje vertical del molinete, por medio de tornillos sin fin y engranajes, hace girar una rueda dentada grande sobre la que se ha insertado un número conveniente de agujas, los cuales cierran o abren un circuito eléctrico por cada 1000 metros (0 kilómetros) recorridos.

Existen varios sistemas y los distintos modelos pueden ser eléctricos o mecánicos. Por esta razón, cuando se necesita comprar uno de estos instrumentos se debe escoger aquel que llene los requisitos de tal manera que se pueda obtener la información deseada al más bajo costo, sin sacrificar la precisión ni la sensibilidad deseada.

Las casas productoras suministran catálogos con toda clase de datos sobre principios de funcionamiento, montaje, precio, etc.

Para medir la dirección se han venido usando las veletas, de las cuales hay una gran variedad de diseños; para medir la velocidad, los más usados en nuestro país son los anemómetros de cazos.

Unidad de medida. Como hay dos componentes en las mediciones del viento se necesitan dos unidades para su anotación:

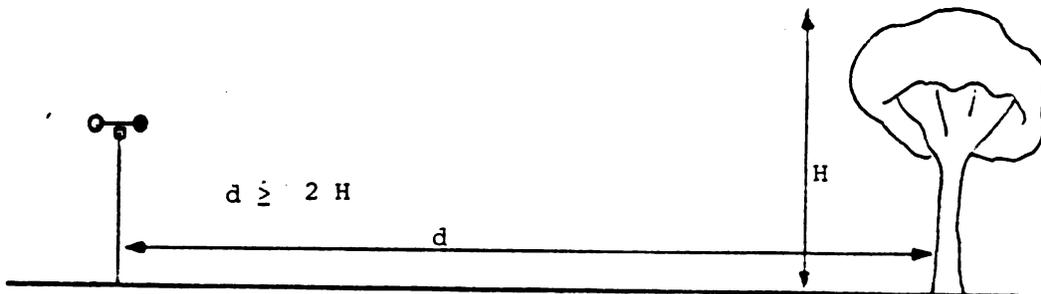
Velocidad: m/seg ó km/hora

Dirección: Es suficiente para los fines de la climatología considerar sólo las direcciones N-NE-E-SE-S-SW-W-NW y calmas. La dirección es aquel punto que indica de donde sopla el viento; o sea, que cuando el viento viene del norte y va para el sur se dice que su dirección es Norte.

Instalación. Hay que colocarlos sobre una estructura especial, la cual tiene que estar diseñada y calculada de acuerdo a la altura a que se desee colocar los elementos medidores. Corrientemente en climatología se aconseja instalar los elementos medidores a una altura de 8 a 10 metros sobre el suelo, en un punto representativo de la zona, sin corrientes de aire ni obstáculos producidos por condiciones ajenas al área vecina en que el instrumento se instala.

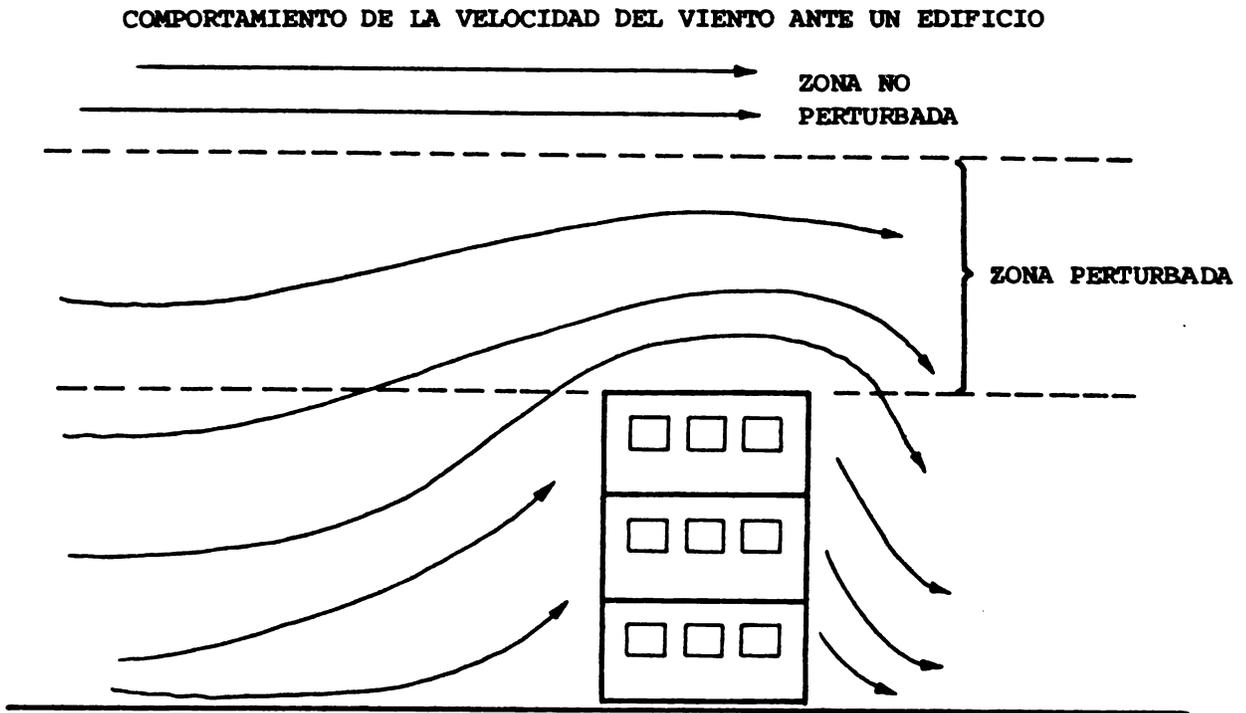
Cuando hay árboles o edificios, éstos deben quedar a una distancia no menor de dos veces la altura de ellos mismos al sitio del instrumento. Por ejemplo, véase la figura que sigue que demuestra esta relación.

DISTANCIA HORIZONTAL MINIMA EXIGIDA ENTRE EL
ANEMOGRAFO Y LOS ARBOLES .



A veces estos instrumentos por comodidad o a propósito se instalan en las terrazas de los edificios. En este caso se tiene que tener cuidado con el comportamiento del viento ante el edificio, recordando que éste adquiere aquí no solo una mayor velocidad en la cumbre del edificio, como resultado

de la mayor presión que ejerce el mismo en ese punto, sino que también hay turbulencia provocada por la componente vertical que le imprime el obstáculo. Este fenómeno se presenta gráficamente a continuación.



Cuando se tenga que usar la terraza de un edificio, se debe tener una torre que alcance la zona no perturbada por el edificio, es decir, que alcance la zona de velocidad "normal" del viento; además la torre misma no debe ofrecer mucha resistencia al viento.

Montaje. Debido a la variedad de sistemas y diseños disponibles sería muy extenso decir como armar cada modelo; sin embargo, cada uno de ellos viene de la fábrica con sus respectivas instrucciones. Se recomienda leer, estudiar y seguir bien las instrucciones al proceder a su montaje, que en general es fácil.

Mantenimiento. Depende del equipo en uso, pero en general se recomienda revisar el instrumento en forma periódica con el fin de limpiarlo, aceitar las partes que lo requieren y fundamentalmente cambiar toda aquella pieza que se note que va a fallar. Nunca se debe esperar a que una pieza falle totalmente porque eso implica pérdida de observaciones, además del posible error que puede haber ocurrido en las observaciones a causa del desajuste de la pieza, error que es difícil de corregir. En general y hasta donde sea posible conviene cambiar todas aquellas piezas que sea necesario, pero antes de su agotamiento total.

Barógrafos y barómetros

Ambos miden la presión atmosférica. Los barógrafos tienen la ventaja de dejar un registro gráfico de las variaciones de la presión atmosférica. Para medir variaciones pequeñas de la presión atmosférica, se usan los microbarógrafos. Los microbarógrafos son los que se deben usar en este país, donde apenas ocurren microvariaciones. Hasta donde sea posible, todo barógrafo o microbarógrafo instalado debe estar a la par de un barómetro de mercurio, para efectos de su calibración.

Unidad de medida. Pulgadas de mercurio, milímetros de mercurio y milibarios (mb) son las tres unidades más empleadas para la presión atmosférica. Las dos primeras representan el peso de la columna de mercurio y en este caso se debe especificar una serie de variables para poder interpretar correctamente esta unidad. En cambio, el milibario es una cantidad absoluta que no depende de las propiedades de ninguna sustancia.

La relación de estas tres unidades es la siguiente:

$$\begin{array}{ll} 1 \text{ mb} = 0,750099 \text{ mm Hg (45 } ^\circ\text{C)} & 1 \text{ mm Hg} = 0,03937 \text{ pulgadas} \\ & = 0,0295315 \text{ pulgadas Hg (45} ^\circ\text{C)} & = 1,3332 \text{ mb} \end{array}$$

Instalación. En general se recomienda instalarlo en un lugar fijo, ausente de movimiento o vibraciones y que además no esté afectado por corrientes directas de viento. No se debe tener cerca de aparatos que produzcan calentamiento, ni en cuartos con ventanas abiertas o puertas que produzcan corrientes de aire. Nunca debe ser alcanzado por los rayos del sol. Resumiendo, el mejor sitio para su instalación es un cuarto sin ventanas, casi hermético, que no se caliente y equipado con un abanico para evitar la estratificación de la temperatura, lográndose con esto una distribución uniforme de la misma.

Montaje. Tanto los barógrafos como los microbarógrafos están listos para ser usados apenas son recibidos de fábrica, siendo solo necesario soltar algunos amarres de las partes movibles y desde luego su ajuste, para lo cual se le debe comparar con el barómetro de mercurio.

Los barómetros presentan un poco más de trabajo en su instalación, dependiendo del modelo y la casa que los produce.

Mantenimiento. Los de registro gráfico hay que limpiarlos al menos una vez por año, aceitando las partes necesarias cada vez que sea oportuno. Estos deben ser comparados con un barómetro periódicamente, procediéndose a su ajuste si hay diferencia entre las lecturas.

Caseta protectora (abrigo meteorológico)

Son aquellas construcciones que además de ofrecer protección física a ciertos instrumentos aseguran uniformidad en las observaciones de ciertos

elementos climáticos, al presentar una "atmósfera" sin corrientes de viento y libre de efectos de radiación. Varían en forma y sistema de instalación, pero el Programa de Investigación Agrometeorológica de la Universidad de Costa Rica ha venido usando últimamente una forma de caseta que presenta suficiente espacio para los instrumentos y es muy satisfactoria.

La estructura sobre la cual se pone la caseta puede ser de madera y debe estar fija al suelo por medio de bases de cemento; en esta forma se logra que la caseta esté firme, evitándose los movimientos bruscos de ella que afecta a los instrumentos. También para evitar movimientos bruscos en la caseta al abrir su puerta, esta debe ser dividida, en donde una mitad abra hacia la izquierda y la otra mitad hacia la derecha. Esta puerta debe ser orientada hacia el norte y toda la caseta debe ser orientada norte-sur.

El material de construcción de la caseta es de madera y todas las piezas metálicas, como tornillos, clavos, visagras, etc., deben ser bronce o cualquier otro material inoxidable. Debe tener doble techo y doble piso dejando un espacio entre ellos para la ventilación, lo cual evita el calentamiento del interior de la caseta.

Si se usa material acanalado en el techo para proteger la caseta de la lluvia, éste debe ser plástico y pintado de blanco, siempre instalado sobre el techo superior de madera.

Se necesita estar aceitando las visagras de la puerta, pues éstas todo el tiempo deben abrir suavemente; la caseta se debe volver a pintar de blanco las veces que sea necesario, o al menos antes de empezar la estación lluviosa.

EQUIPO Y PRACTICAS EN AGROMETEOROLOGIA

Abigail Chacón*

PRACTICA No. 1 VISITA A UNA ESTACION TIPO A (DE PRIMER ORDEN)

Objetivo

Familiarizarse con los instrumentos que miden los diferentes fenómenos meteorológicos.

Teoría

Elección del lugar para instalar una Estación Observadora.

1. El sitio donde va a instalarse una estación observadora debe ser despejado de árboles, de edificios y construcciones altas de toda índole. Carreteras, fábricas, etc., son focos caloríficos que dejan sentir sus efectos en las proximidades. El horizonte este-oeste debe quedar despejado totalmente.
2. El lugar elegido debe ser representativo de la zona y ubicado dentro de una área agrícola.
3. Que el viento no esté canalizado, al menos que esto suceda en toda la zona.
4. Evitar cercanías a ríos o fuentes grandes de agua.
5. Evitar zonas de mucho polvo.
6. La cerca debe ser de alambre de púa o malla. Si se usa alambre de púa, las hiladas cercanas al suelo deben ser más juntas y separadas conforme se sube. La altura de la cerca será de acuerdo a las necesidades del lugar.
7. El portón debe quedar al lado norte del cuadrado cercano (15 x 15m).
8. En el abrigo o caseta meteorológica, la puerta de acceso a los instrumentos también debe quedar al norte, esto para evitar que el momento de hacer la observación el sol penetre a la caseta y altere la lectura de los termómetros.

Evaluación

- a) Hacer un esquema de la Estación que observaron, indicando como está instalado cada instrumento y qué distancia existe entre uno y otro.

* Universidad de Costa Rica

- b) Hacer un esquema de cada instrumento, indicando claramente sus partes principales.

Cuestionario

- ¿Por qué todo está pintado de blanco?
- ¿Por qué la Estación Observadora está enzacatada?
- ¿Qué es una Estación tipo A?

Conclusiones

PRACTICA No. 2 MEDIDA DE LA RADIACION SOLAR TOTAL

Objetivo

Descripción y uso del actinógrafo. Interpretación de gráficas y comparación de los valores promedio de las Estaciones Observadoras de la Central y Piñera, utilizando el libro de Vives y Quiroga.

Teoría

- Defina en pocas palabras qué es radiación solar.
- Describa brevemente el actinógrafo que vio en clase.

Evaluación

- a) Esquema de las partes principales de un actinógrafo.
- b) Describa requisitos para instalar un actinógrafo.
- c) Utilizando los valores promedio de la Estación Central y Piñera:
 - 1. Defina ubicación de cada una de ellas (latitud, longitud y altura sobre el nivel del mar).
 - 2. Grafique el período 1969-75 del libro del Ing. Vives y Mag. Sc. Quiroga, tanto para la Estación Central como para la Piñera. Comentario. Promedio mensual 1969-75.

RESUMEN MENSUAL

Estación central

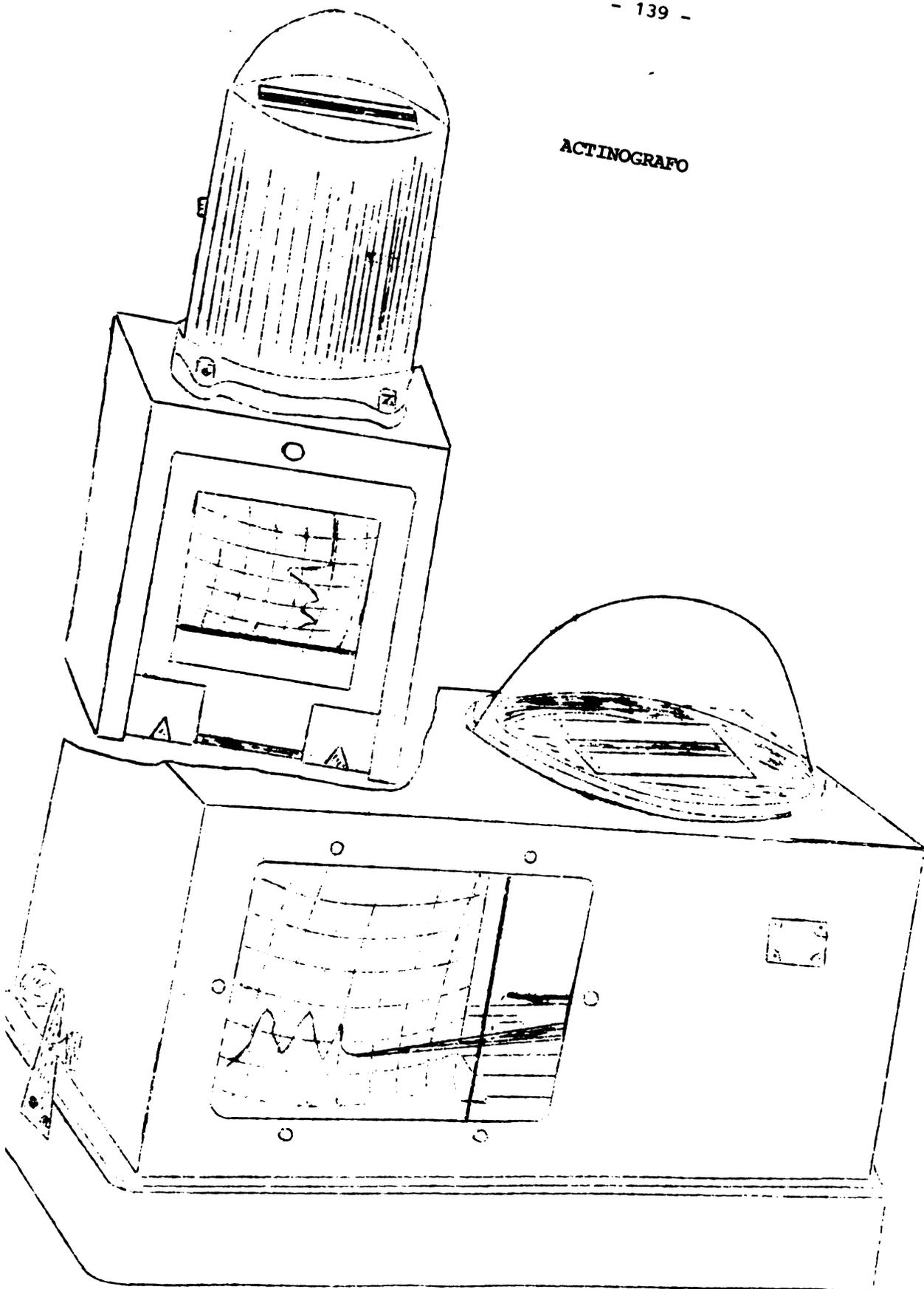
Año 1970

Radiación solar total en cal cm⁻² día⁻¹

DIA	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	
1													
2													
3													
4													
5													
6													
7													
8													
9													
10													
SUMA													

Parte de una hoja de tabulación de datos de actinógrafo

ACTINOGRAFO



PRACTICA No. 3 "BRILLO SOLAR"

Objetivo

Familiarizarse con el instrumento que mide el brillo solar, o sea el heliógrafo. Interpretación de valores promedio, lectura y tabulación de gráficas o bandas.

Teoría

Definición de brillo solar y su efecto en la agricultura.

"Brillo solar" vs nubosidad

Duración teórica del día durante el año para 10° latitud norte.

El heliógrafo más usado es el de Campbell-Stokes. Consiste de tres partes principales:

- a) Esfera de vidrio, apoyada en dos puntos de manera que la recta que une a estos, sea paralela al eje de la tierra.
- b) Base de apoyo, con tres perforaciones para sujetarlo donde va ha instalarse. En esta base hay un nivel para su instalación horizontal.
- c) Porción de cazoleta, sobre la que se apoya el papel o banda, para lo cual existen tres parejas de guías donde se aloja el papel. Cada pareja de guías corresponde a un período de días del año. Cada banda difiere en anchura y curvatura, que se clasifica:
 1. Curva corta se usa del 16 octubre - 28 febrero
 2. Curva larga se usa del 16 abril - 31 agosto
 3. Recta se usa del 1 septiembre - 15 octubre
1 marzo - 15 abril

La banda debe colocarse de modo que el 12 quede alineado con la guía grabada sobre la parte cóncava de la cazoleta.

La banda está preparada a base de una sustancia químicamente activa a la acción de los rayos solares; de no ser así la energía precisa para quemar el papel es mayor.

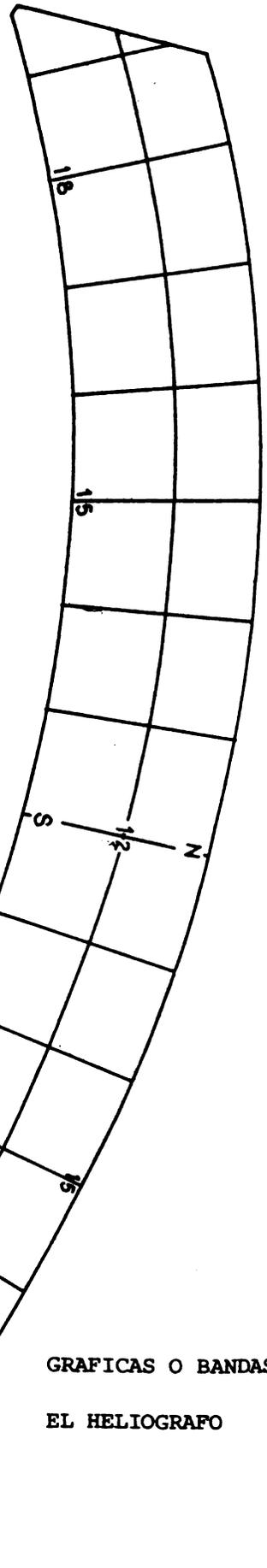
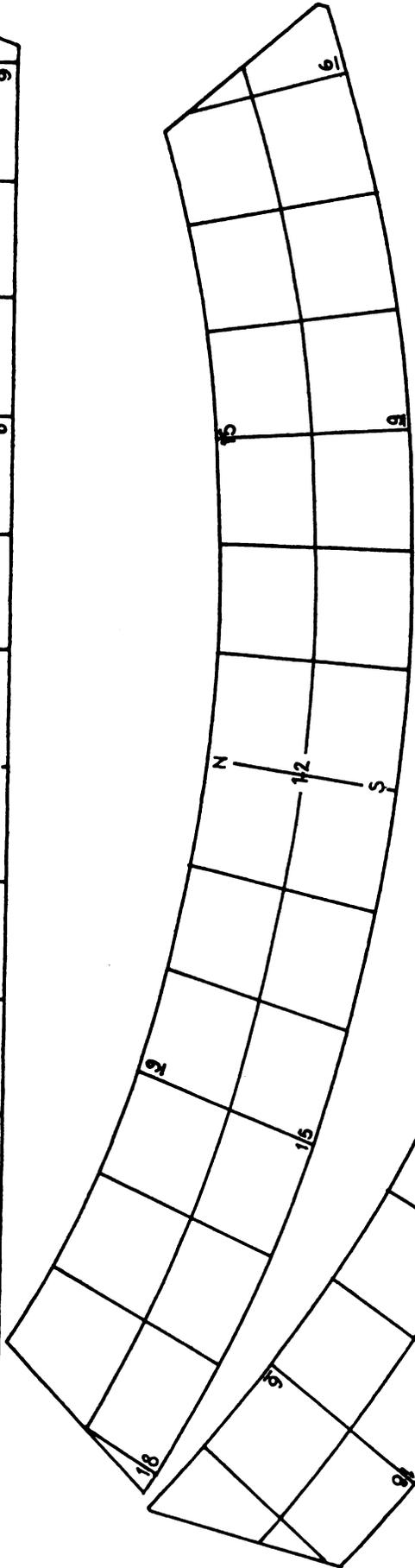
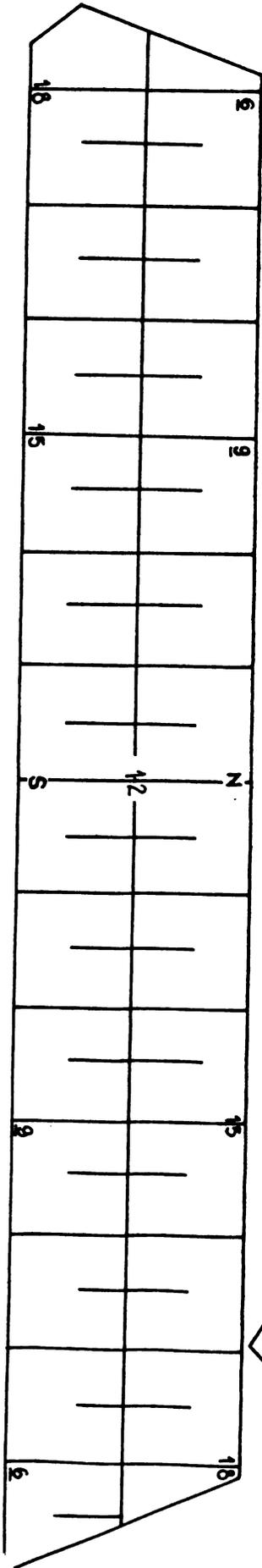
La banda del heliógrafo se quema cuando la intensidad de la radiación solar es $0,2 - 0,3 \text{ cal. cm}^{-2} \text{ min}^{-1}$, sea, cuando apenas sale el sol.

Instrumento usado

Heliógrafo de Campbell-Stokes. Partes principales. Tipo de bandas que usa, indicando cuándo se usan.

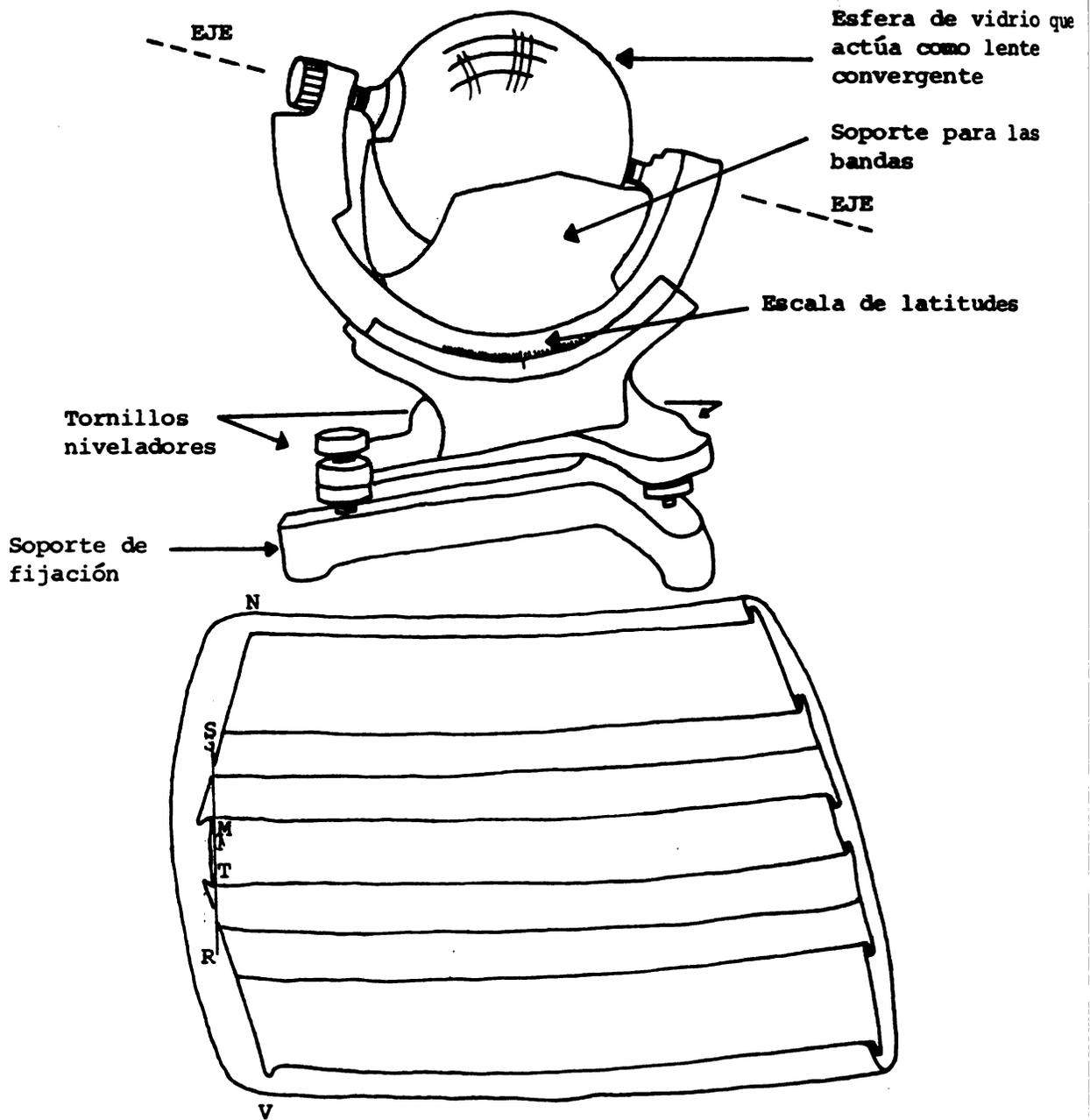
Evaluación

- a) Leer una semana de bandas, hacer un gráfico y comentarlo.
- b) Hacer un gráfico con los valores promedio y distribución en % del 1-5 y del 1-31, del mes de enero y octubre (1962-75) para la Estación Central, dividiendo las horas de la mañana de las de la tarde. Comente.
- c) Brillo solar promedio en base a la duración teórica del día 21 de cada mes para la Central, período 1962-75. Comente.
- d) Esquema
 1. Heliógrafo, destacando partes principales.
 2. Soporte de las bandas, indicando donde se usa cada una.



GRAFICAS O BANDAS QUE USA
EL HELIOGRAFO

HELIOGRAFO CAMPBELL-STOKES



Soporte para las bandas del heliógrafo. Mostrando las guías donde se puede incertar.

NM - Faja curva corta para invierno 16 octubre ... 28 febrero

SR - Faja recta para los equinoccios 1 septiembre... 15 octubre
1 marzo ... 15 abril

TV - Faja curva larga para verano 16 abril... 31 agosto

PRACTICA No. 4 PRECIPITACION

Objetivo

Familiarizarse con los instrumentos medidores de la lluvia. Forma de instalar estos instrumentos.

Lectura de una semana de bandas del pluviógrafo (pluviograma).

Uso de valores promedio.

Teoría

Cuál es la diferencia entre milímetros de lluvia de un aguacero y su intensidad?

Cuándo se debe usar probeta para medir el agua de lluvia? Qué parte del menisco debe leer?

La cantidad de lluvia que cae sobre una superficie es determinada por la altura media en mm, en que dicha precipitación hubiese cubierto el suelo si no se infiltrase, escurrirse o evaporarse. Para llevar a cabo la determinación de la altura de la precipitación, se recoge sobre una pequeña parte de la superficie correspondiente la precipitación y se mide a intervalos determinados.

Los pluviómetros deberán ser instalados en un lugar libre de construcciones, árboles y otros objetivos, que disten del aparato una distancia equivalente a la altura del objeto.

Si hubiese caído 1 mm en un m², tendríamos:

$$V = 100 \text{ cm} \times 100 \text{ cm} \times 0,1 \text{ cm} = 1000 \text{ cm}^3 = 1 \text{ litro}$$

o sea también:

$$1 \text{ mm} = 10 \text{ m}^3/\text{ha} = 10 \text{ T/ha}$$

Para la agricultura son convenientes aquellos aguaceros que llegan hasta el sistema radical. Es por esto que una precipitación de 5-10 mm se considera efectiva, dependiendo lógicamente del país y condiciones de suelo y cultivo.

Existen medidores de lluvia que se instalan incrustados en el suelo.

La lluvia nocturna es más efectiva, ya que logra infiltrarse en el suelo a temperaturas menores y menos se evapora.

Latín: Pluvia = lluvia

Griego: Grapho = Escrito

La intensidad normalmente se da en mm/min ; mm/hora ; $\text{mm}/\text{día}$, etc.

Instrumentos usados

Pluviógrafo y pluviómetro. Partes principales de cada uno de ellos.

Evaluación

- a. Esquema pluviógrafo y pluviómetro.
- b. Leer una semana de bandas (pluviogramas) del pluviógrafo. Tabular esos datos hacer un gráfico dividiendo horas del día y horas de noche.

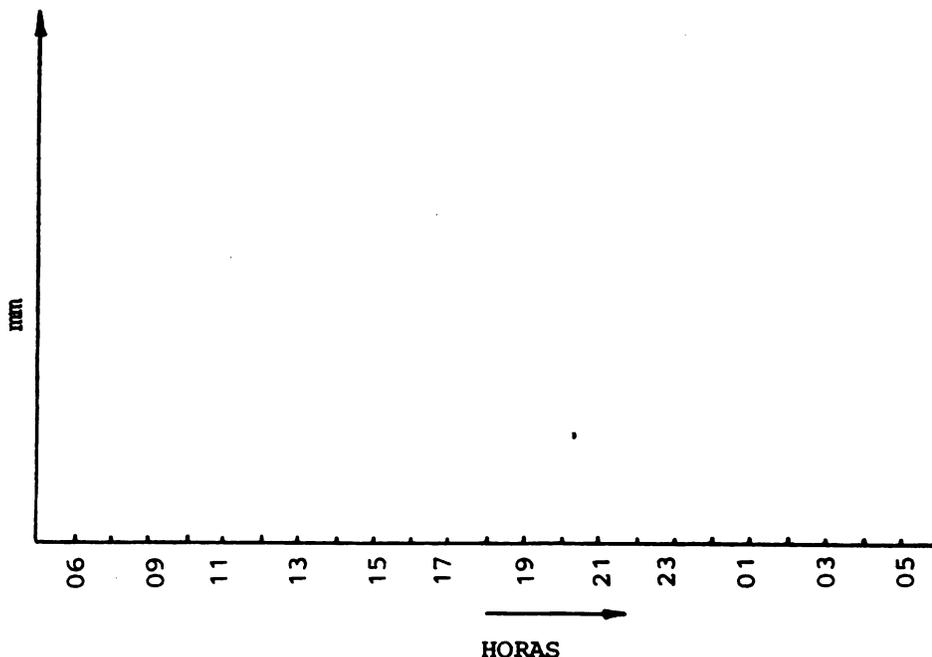
Comentario

- c. Ver cantidad de lluvia e intensidad.
- d. Graficar los promedios mensuales (de enero a diciembre) del libro Ing. Vives y Quiroga, período 1968-75 para la Estación Piñera.
- e. Graficar promedios, horarios y distribución en porcentaje del mes de julio de la Estación Piñera para el período 1968-75.
- f. Comentario de gráficos.

ESTACION CENTRAL

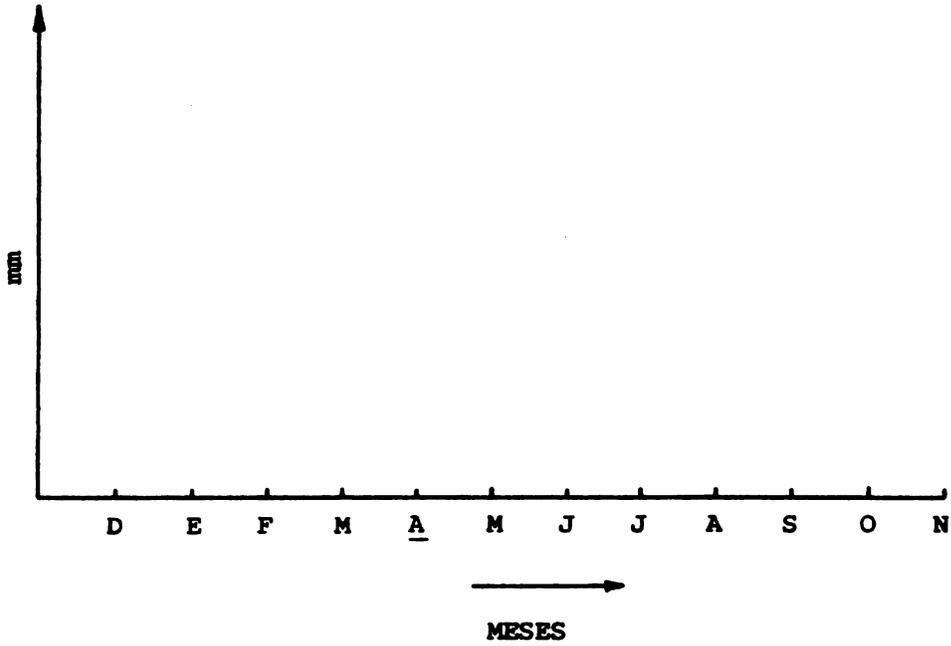
TOTALES HORARIOS DE LLUVIA EN mm PARA LOS DIAS

DE 19

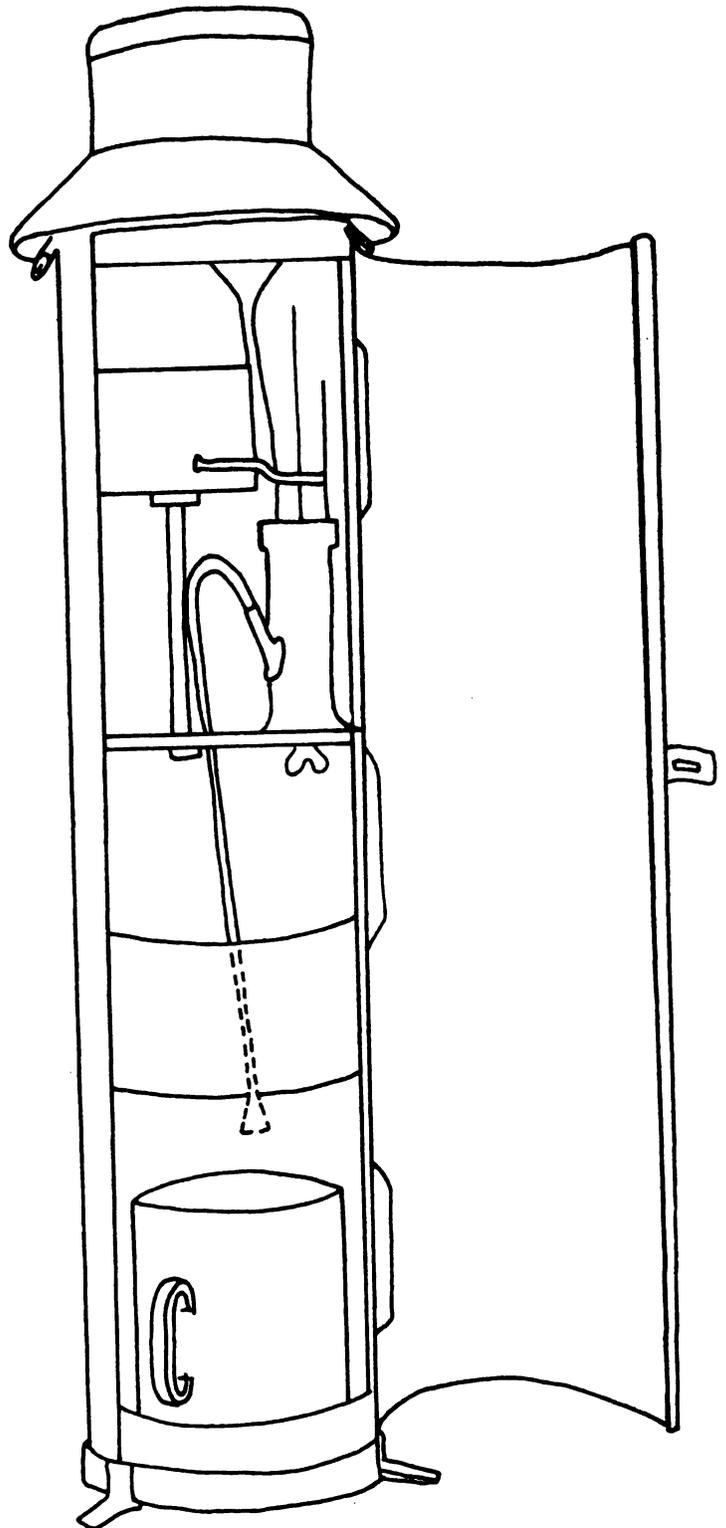
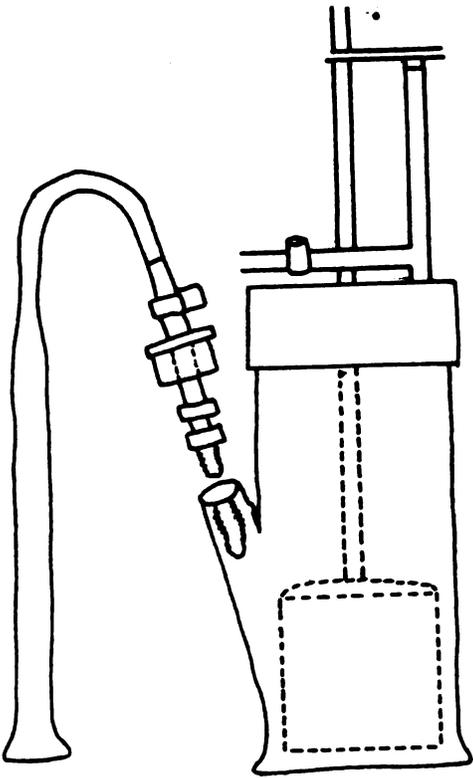


ESTACION PIÑERA

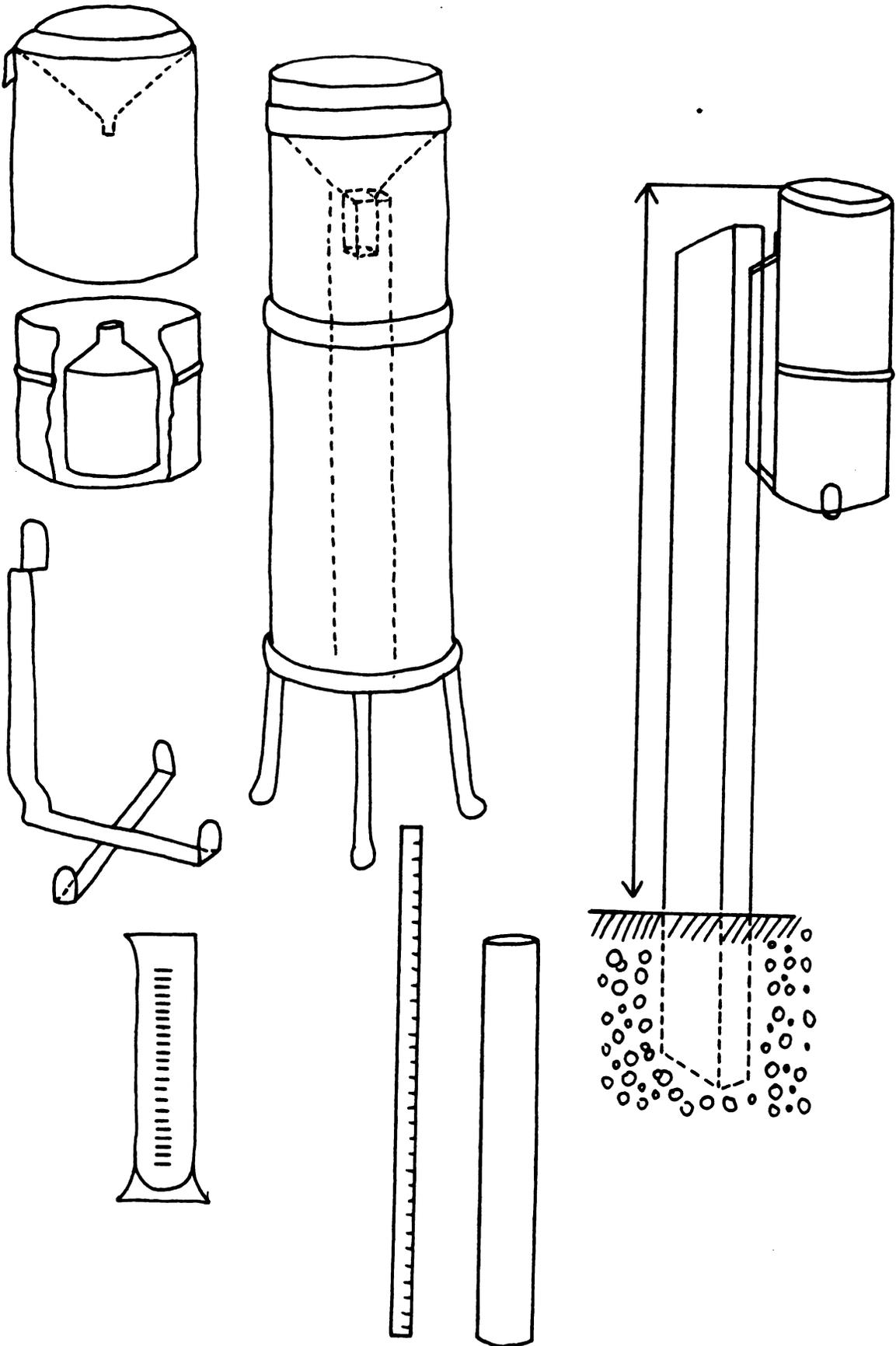
PROMEDIOS MENSUALES DE LLUVIA EN mm, PARA EL PERIODO
1962-75



PLUVIOGRAFO



PLUVIOMETRO DE HELLMANN Y DE REGLILLA Y SUS PARTES



PRACTICA No. 5 HUMEDAD RELATIVA

Objetivo

Familiarizarse con el higrógrafo. Lectura y tabulación de un higrgrama (de lunes a viernes) en forma bihoraria.

Uso de valores promedio.

Teoría

Defina humedad relativa y absoluta.

Igual humedad relativa indica igual humedad absoluta?

Mantenimiento del higrógrafo de cabello

El polvo puede disminuir la precisión del cabello. Con frecuencia el polvo debe ser eliminado con una brocha suave, limpia y seca. Es aconsejable usar una brocha de pelo de camello. La brocha debe ser lavada con agua destilada y pasarla por el cabello de arriba hacia abajo.

El cabello nunca debe ser tocado con las manos, sino sujetar los extremos metálicos.

Con la atención adecuada, el cabello puede durar muchos años.

Cuando se reemplaza el cabello, el higrógrafo debe ser calibrado de nuevo.

Instrumentos usados.

Higrógrafo

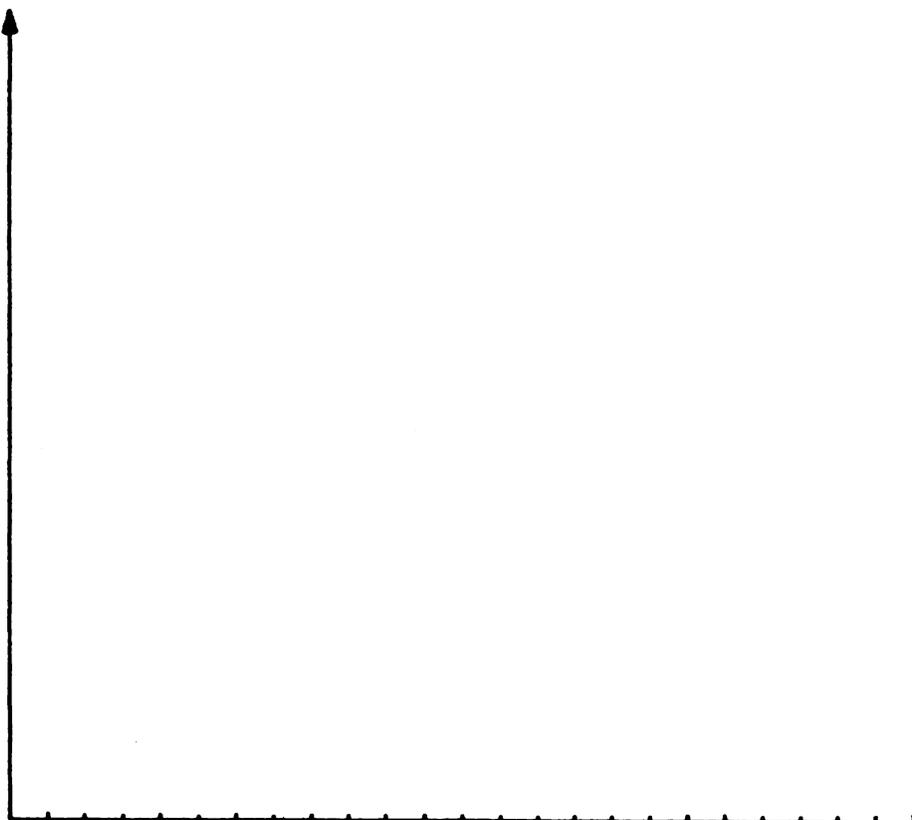
Evaluación

- Esquema del higrógrafo.
- Analizar y tabular una banda (higrgrama) del higrógrafo. Hacer un gráfico y comentarlo.
- Graficar y comentar un mes de la época seca (febrero) y otro de la lluviosa (julio) para la Estación Central. Promedios bihorarios, período 1961-75, del libro de Vives y Quiroga:

Estación Piñera 400 m s.n.m.

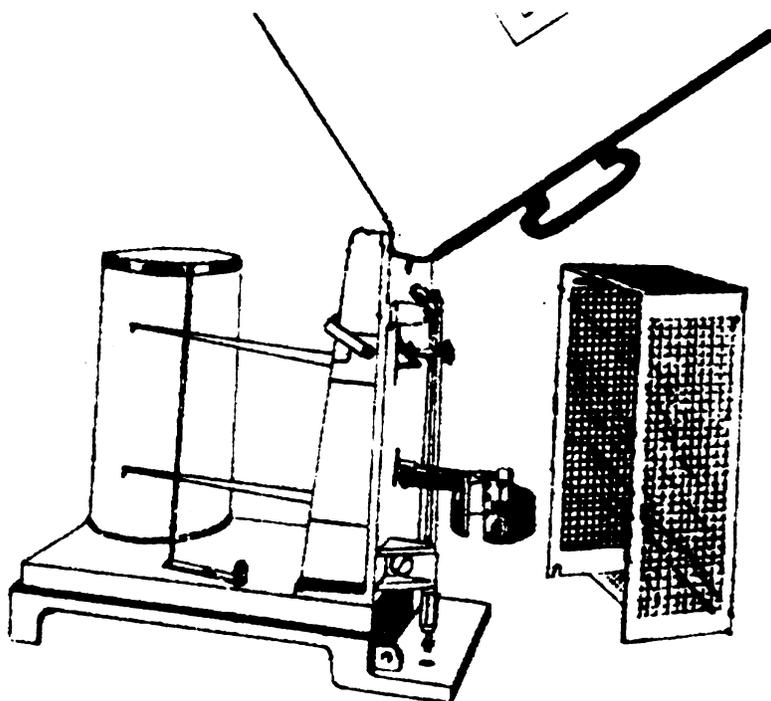
Promedios bihorarios de lluvia en milímetros.

Período 1961-75



HORAS

HIGROTHERMOGRAFO



PRACTICA No. 6. DETERMINACION DE LA HUMEDAD RELATIVA CON EL USO DEL PSICROMETRO

Objetivo

Uso del psicrómetro y determinación de la humedad relativa usando diferentes medios como la tabla disco y regla.

Teoría

Para un completo conocimiento del estado del aire, se requiere conocer dos parámetros: la temperatura misma del aire y la cantidad de humedad en él. Estos dos parámetros deben ser conocidos; el conocimiento de solo uno de ellos no define completamente el estado del aire.

Diferentes propiedades físicas han sido usadas para obtener la medida de la humedad: a) termodinámico que utiliza el psicrométrico, que consta de dos termómetros, uno de bulbo seco y el otro húmedo; b) higroscópico, que utiliza cabello rubio humano. Es el caso del higrógrafo, donde se experimenta un cambio en la longitud del cabello. Se alarga al humedecerse y se acorta al perder humedad.

Errores del Psicrómetro

1. Conducción del calor por el termómetro hacia el bulbo.
2. Ventilación insuficiente.
3. Muselina gruesa o sucia.
4. Efecto de radiación sobre el bulbo.
5. Precipitación de sales en el bulbo.

RELACION ENTRE HUMEDAD RELATIVA Y ALARGAMIENTO DEL CABELLO

Humedad relativa en %	20	40	60	80	100 %
Alargamiento del cabello en %, del 100% de alargamiento	39	64	79	91	100 %

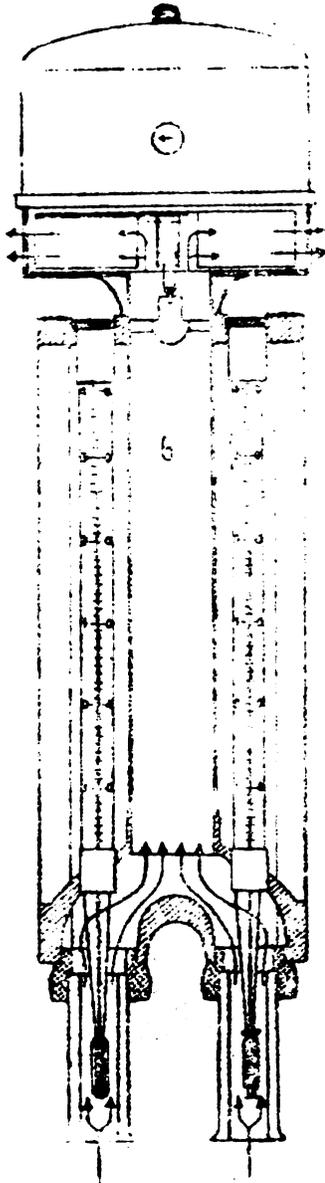
Instrumentos usados

Psicrómetro de Assmann, de honda, tabla, disco y regla psicrométricas.

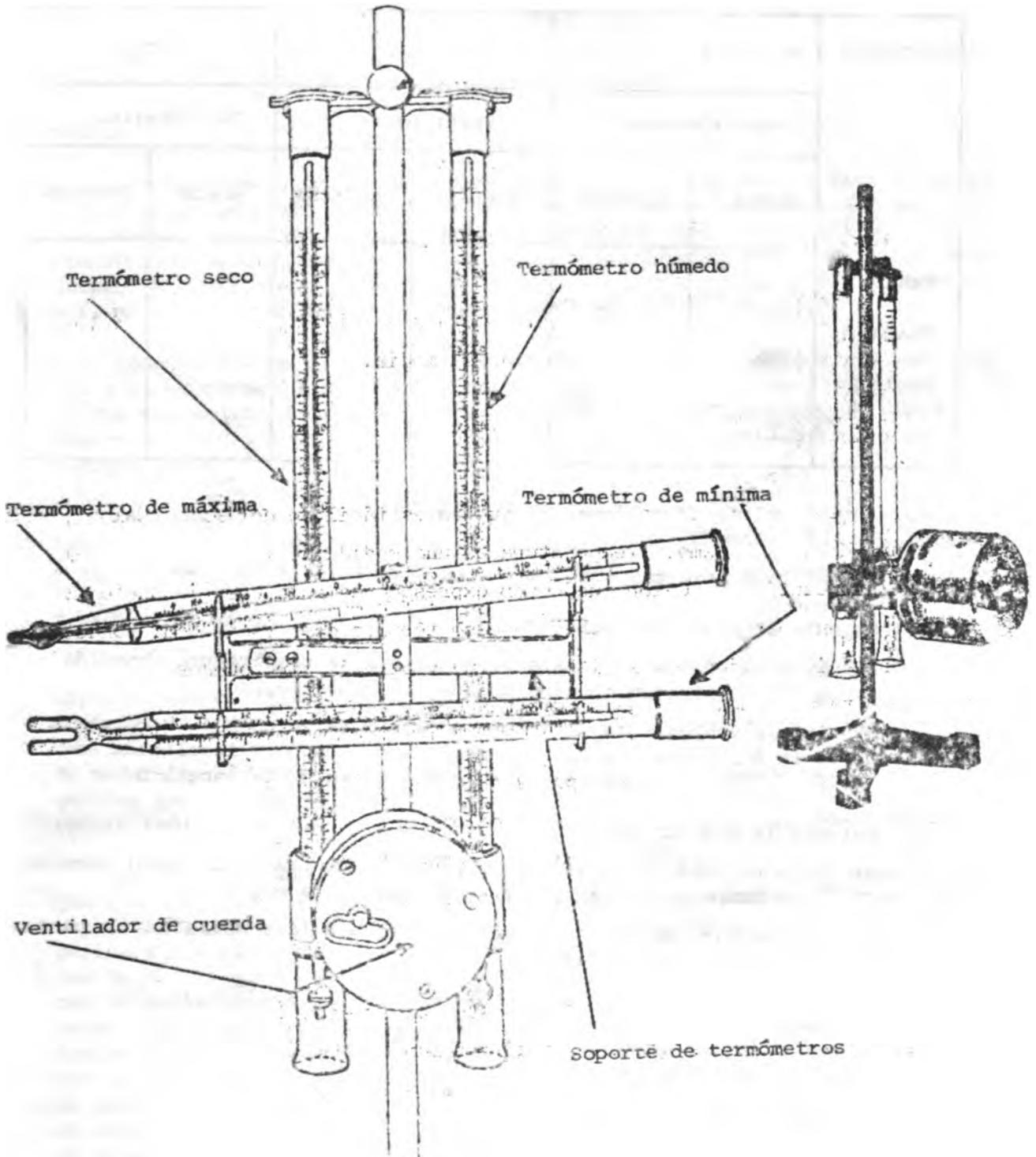
Evaluación

- a. Esquema de los psicrómetros, tabla, regla y disco. Indique como se usan.

PSICROMETRO ASSMAN



PSICROMETRO CON VENTILADOR Y TERMOMETROS DE EXTREMAS



CALCULO DE LA HUMEDAD RELATIVA

	A		B		C	
	-Psicrómetros		Psicrómetros		Psicrómetros	
	HONDA	ASSMANN	HONDA	ASSMANN	HONDA	ASSMANN
	Tabla					
Disco						
Regla						

USO DEL DISCO PSICROMETRICO

1. Use el lado para temperaturas altas (high).
2. Calcule el punto de rocío:
 - a) Fije el 0°, de la escala D, opuesto a la temperatura obtenida en el termómetro húmedo, usando la escala DP.
 - b) Lea la temperatura del punto de rocío en la escala DP, opuesta a la depresión del bulbo húmedo (seco-húmedo), localizada en la escala D, usando el círculo P = 27 en dicha escala D.
3. Calcule la humedad relativa:
 - a) Fije el 100% de la escala R.H. (parte central del disco) opuesto a la temperatura del bulbo seco, usando la escala T.
 - b) Lea la H.R. en la escala R.H., opuesta a la temperatura de punto de rocío en la escala T.

PRACTICA No. 7 TEMPERATURA

Propósito

Uso de aparatos medidores. Lectura de ellos. Análisis e interpretación de datos observados. Variación de la media.

Teoría

Temperatura es un concepto que no es fácil de definir. Calor y temperatura no es lo mismo. Temperatura es una medida de la intensidad del calor, no una cantidad. Calor puede ser expresado como la energía que es transferida de un cuerpo a otro por un proceso térmico como radiación, conducción o convección. Ejemplo, 1 litro de agua y otro de aire pueden estar a la misma temperatura pero el agua tendrá más calor (energía).

Temperatura de un cuerpo es su estado térmico considerado con referencia a su capacidad de transmitir calor a otros cuerpos. Esta capacidad tiene que ser medida en una escala; el concepto del cero absoluto es cuando un cuerpo no contiene calor y por ello no es capaz de transmitirlo a otros cuerpos (Lord Kelvin).

Se requiere un mínimo de años de observación de la temperatura para obtener una medida aceptable estadísticamente. Este número varía de acuerdo a la latitud y posición geográfica del lugar.

Termómetros de extremos

Los termómetros de extremos sirven para la medición de la temperatura, especialmente para medir las temperaturas máxima y mínima de determinados períodos de observación. Pueden emplearse los modelos standard en el margen de aprox. -40 hasta 50°C. Radiación térmica falsifica los resultados de medición en forma difícil de comprobar. Por consecuencia, hay que proteger los termómetros de extremos de modo adecuado contra radiación solar o contra radiación térmica de estufas u otros objetos con temperatura propia.

Con los termómetros de extremos se suministra un soporte en cuyas horquillas hay que colocar los termómetros más o menos horizontalmente. En la horquilla superior se coloca el termómetro de máxima para determinar la temperatura máxima, mientras que en la horquilla inferior se coloca el termómetro de mínima para la determinación de la temperatura mínima. Los recipientes de ambos termómetros se encuentran en el lado izquierdo para el observador. En esta posición, el termómetro de máxima es inclinado ligeramente debido a la forma asimétrica del soporte, de modo que su depósito se encuentre más bajo que su parte superior. En cambio, el termómetro de mínima está exactamente en posición horizontal. De la misma manera hay que colocarlo en soportes correspondientes -horcaduras hundidas o dispositivos de soporte de madera-, si se usa sólo un termómetro de mínima para determinar la temperatura ambiente mínima en el suelo, en alturas de 5 respectivamente 10 cm sobre el suelo.

La pinza de soporte suministrada con el instrumento sirve para fijar el portatermómetros en una varilla de soporte. En cambio, será fácilmente posible montar el instrumento en una pared, por ejemplo ante una ventana dando al norte, por medio del brazo-soporte que solamente se suministra a deseo.

Los dos termómetros de extremos son termómetros de cristal o líquido.

El termómetro de máxima usa mercurio y el de mínima alcohol.

El termómetro de máxima está dividido de -30 a 50°C en $1/2$ grado. Su tubo capilar es muy estrecho inmediatamente sobre el depósito de mercurio. Al subir la temperatura, penetra mercurio por esta estrechez desde el recipiente al tubo capilar fundido y alcanza aquí un nivel dependiente de la temperatura. Al bajar la temperatura, el mercurio penetrado al tubo capilar se queda sin cambiar, ya que la depresión capilar en la estrechez impide el retroceso. De esta manera, el extremo derecho del hilo siempre indica la temperatura máxima del último período de observación. La reunión del hilo de mercurio con la cantidad de mercurio restante sólo será posible cuando la fuerza, que ejerce el hilo en dirección al depósito, es mayor que la depresión capilar. Esto será el caso, por ejemplo, al sacudir el termómetro correspondientemente después de haber tomado la lectura.

El margen de medida del termómetro de mínima también dividido en $1/2$ grado, abarca temperatura desde -40 hasta 40°C . Hay una varilla de cristal fácilmente movable dentro del hilo de alcohol de este termómetro que siempre es mantenida en el líquido por causa de la tensión de superficie del menisco del hilo.

El menisco derecho de la varillita de cristal indica, de esta manera, la temperatura mínima del último período de observación. Debido a la mal conductibilidad térmica del alcohol, la velocidad de indicación de termómetros de alcohol es más pequeña que aquella de termómetros de mercurio. Para alcanzar, no obstante, un tiempo de ajuste que corresponda aproximado al termómetro de máxima, se ha aumentado la superficie del depósito del líquido en el termómetro de mínima, por división en forma de horquillas de la sonda medidora.

Ya que los termómetros de extremos no están cubiertos, el calor radiado falsifica los resultados de medición. Por consiguiente, hay que proteger el instrumento contra influencias de radiación, revestiéndolo con superficies claras y altamente brillantes. Cuando se realizan mediciones al aire libre, se recomienda la colocación dentro de una casilla para termómetros.

Por medio de la pinza de soporte, hay que fijar entonces el portatermómetros a la varilla metálica dentro de la casilla. Hay que considerar las indicaciones de las instrucciones para el uso referente a la elección del sitio de colocación de la casilla.

Es imprescindible colocar los termómetros de extremos, libres de vibraciones y también protegidos contra precipitaciones. Sacudidas pueden falsificar las indicaciones, especialmente en el termómetro de mínima.

En la respectiva fecha de observación, hay que tomar la lectura en ambos termómetros inmediatamente una tras otra, para evitar una influencia por el calor del cuerpo del observador. Como los tubos capilares y las escalas no se encuentran a la misma altura, la lectura sin paraleja sólo es posible cuando la línea de unión entre ojo y sitio de lectura forma una línea vertical al eje longitudinal del termómetro. El extremo derecho del hilo de mercurio en el termómetro de máxima indica la temperatura máxima buscada, mientras que en el termómetro de mínima se lee la temperatura mínima en el extremo derecho de la varillita' de cristal.

Preparación de los termómetros de extremos para la próxima medición

Después de tomar la lectura de los extremos de temperatura hay que preparar nuevamente ambos termómetros. Para este fin, se saca primero el termómetro de máxima de su soporte, se sujeta por el extremo superior y se mueve a golpes por el aire hasta que indique la temperatura ambiente reinante. En este procedimiento, un lado estrecho del porta escalas de vidrio opalino debe encontrarse en dirección de los movimientos, para evitar que se rompa esta pared. Después se vuelve a colocar el termómetro de máxima en su posición correcta en el soporte, es decir con el bulbo hacia la izquierda.

Acto seguido se saca el termómetro de mínima de su soporte y se inclina lentamente hasta que la sonda termométrica señala hacia arriba. Con esto, la varillita de cristal se mueve hasta el extremo del hilo de líquido. Su menisco derecho debe indicar la temperatura ambiente reinante. También este termómetro se vuelve a colocar entonces en su soporte, prestando especial atención a que la varillita de cristal conserve su posición anterior.

Mantenimiento

Hay que controlar permanentemente el estado intachable de los termómetros de extremos. Se deben cambiar los termómetros con tubo capilar o portaescalas roto. Deben guardarse limpios los tubos protectores y especialmente los recipientes termométricos.

El termómetro de mínima destila a veces parte del líquido de relleno hacia el ensanche del tubo capilar ya con temperaturas normales, causando así que el hilo se va acortando. Con esto se forma en el tubo capilar o en su parte ensanchada superior una ligera empañadura. Por medio de sacudidas o golpes debe separarse entonces parte del hilo desde, el hilo principal, y por calentamiento del bulbo, presionarlo en la parte ensanchada del tubo capilar, con lo que será reunida toda la empañadura. La reunión del hilo de líquido separado con el hilo principal hay que realizarla por medio de un calentamiento cuidadoso en un baño de líquido, golpeando ligeramente

el termómetro. Se debe continuar el calentamiento hasta que se hayan reunido las partes separadas dentro de la parte ensanchada del tubo capilar. Pero la parte ensanchada no debe llenarse completamente, porque, de lo contrario, se rompería ésta o la sonda termométrica. Cuando el punto de separación se encuentra muy abajo puede ser necesario refrigerar el termómetro fuertemente golpeándolo ligeramente y sólo entonces, cuando el punto de separación se encuentre más arriba, realizar la reunión por calentamiento, en la manera arriba descrita. La seguida refrigeración debe efectuarse lentamente, porque, de lo contrario, volvería a permanecer líquido en la pared de cristal.

Instrumentos usados

Hidrotermógrafo y termómetros de extremos para la temperatura del aire. Termómetros de lectura directa para la del suelo.

Evaluación

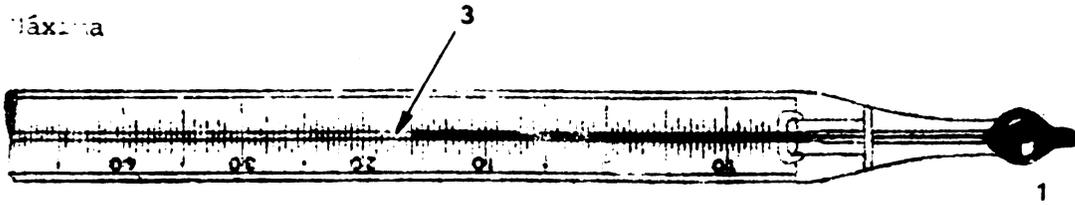
Esquemas, indicando partes sensibles, registradoras e intermedias de un hidrotermógrafo y de los termómetros de extrema y de lectura directa. Indique cuál parte del índice se usa para leer la temperatura mínima.

Analizar e interpretar las temperaturas del aire y del suelo promedio mensual (1 al 31) de tres lugares: uno bajo (400 m s.n.m.), otro medio (840 m s.n.m.) y uno alto (2200 m s.n.m.), correspondiendo a las Estaciones de la Piñera, La Central y Coliblanco, respectivamente. Comentar cómo varían los coeficientes de variación durante las horas del día y para los diferentes meses. Atención dada a si los coeficientes de variación son menores conforme el período de la media es menor (5 días vs 31 días).

Comentar los gráficos que siguen:

TERMOMETROS EXTREMOS

Máxima

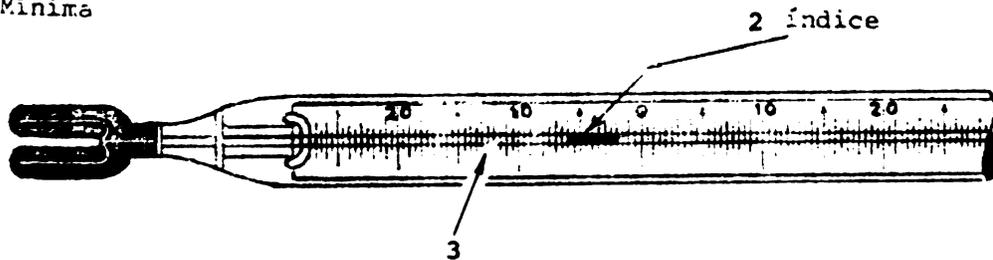


1 bulbo

2 filamento de virio
o índice

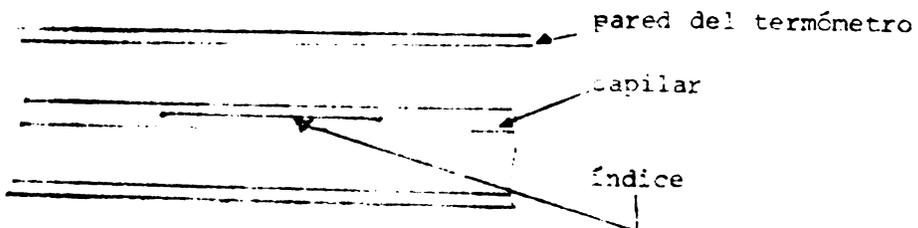
3 capilar

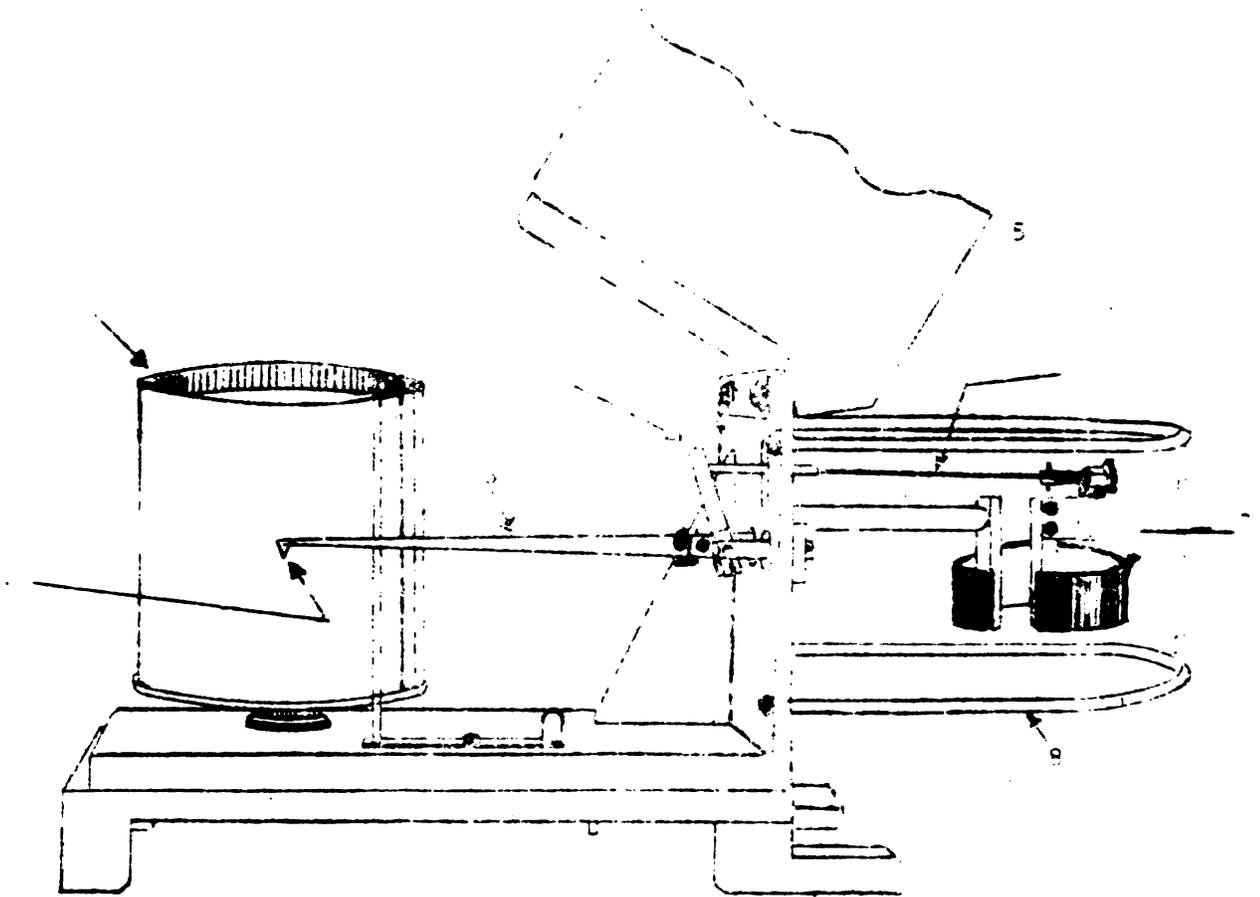
Mínima



2 índice

3





TERMOGRAFO

1. Tambor accionado por mecanismo de relojería.
2. Plumilla inscriptora.
3. Brazo de la plumilla.
4. Tornillo de ajuste.
5. Tapa.
6. Brazo de palanca.
7. Bimetal.
8. Protección.

PRACTICA No. 8 EVAPORACION

Objetivo

Tanque estandar y Piché. Tabulación de los datos.

Teoría

Además de la interrelación con la temperatura, la evaporación depende del contenido de humedad del suelo, estructura del mismo, humedad y velocidad de la masa de aire sobre la superficie del suelo.

Piché recto de evaporación

Consta de un tubo de vidrio graduado en ml., que va de 0,1 hasta 30 ml. en el extremo abierto tiene un sujetapapel, para sujetar el disco de papel absorbente.

Instalación

Tiene un agujero en la parte superior para colgarlo dentro de la caseta meteorológica. Debe usarse H₂O destilada.

El disco absorbente se coloca bien centrado en medio del sujetapapel y el tubo. Se recomienda punzar el disco en el centro con un alfiler, para que se humedezca bien; esperar unos minutos hasta que el disco esté totalmente húmedo y las burbujas dentro del tubo cesen de salir, en ese momento se lee el nivel del H₂O y se anota.

La nueva observación se hace normalmente cada 24 horas. Cuando el disco se daña, o se recubre de polvo, debe cambiarse.

El diámetro externo del tubo es igual al disco metálico que sostiene el papel. El diámetro del disco de papel es igual a 3 cm. Las 2 superficies del disco contribuyen a la evaporación, siendo el área útil de 11 cm² aproximadamente.

Para un disco poroso de las dimensiones aquí anotadas, 1 ml es igual a 0,83 milímetros.

Instrumentos usados

- Tanque estandar.
- Evaporímetro Piché.

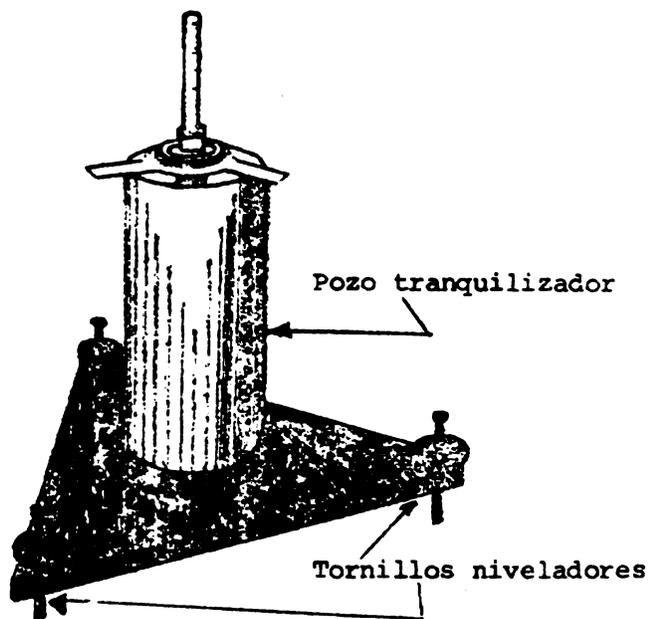
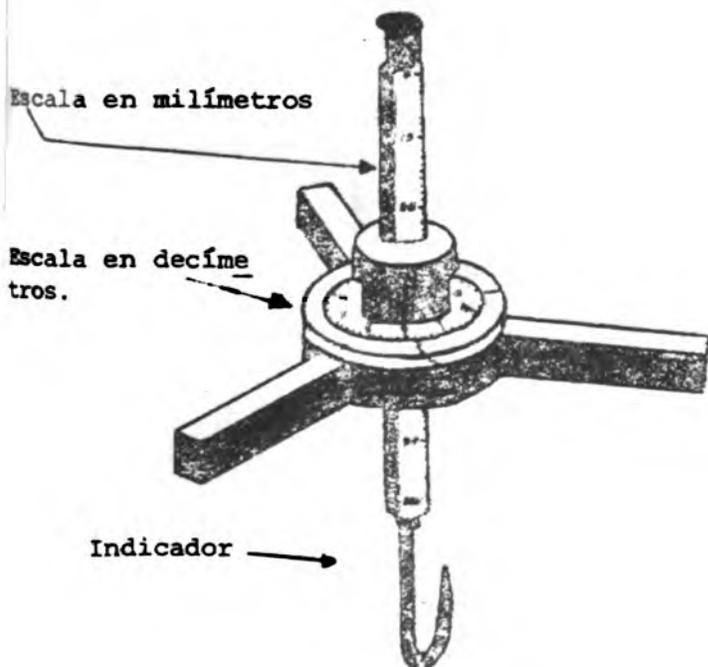
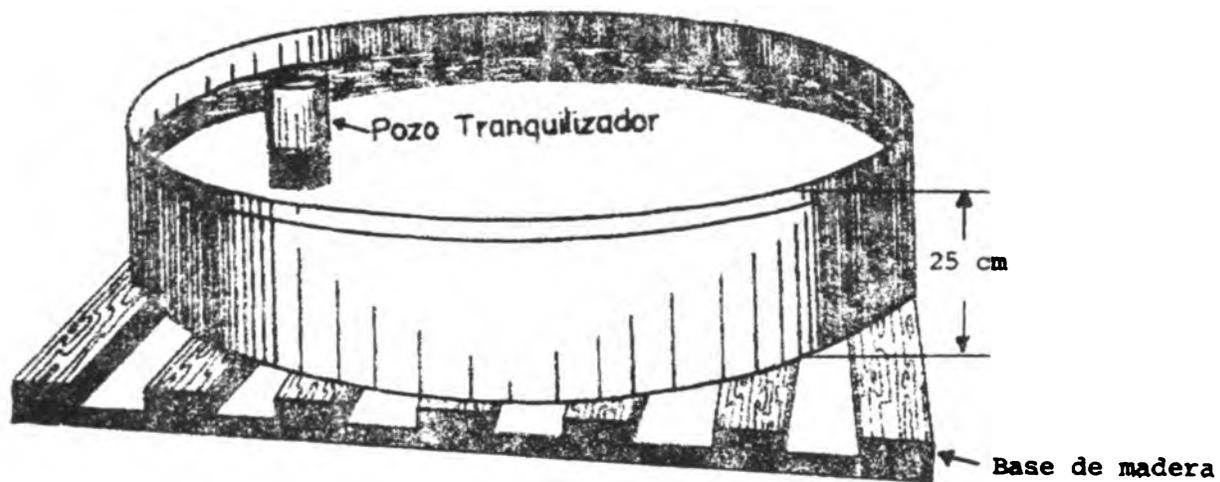
Evaluación

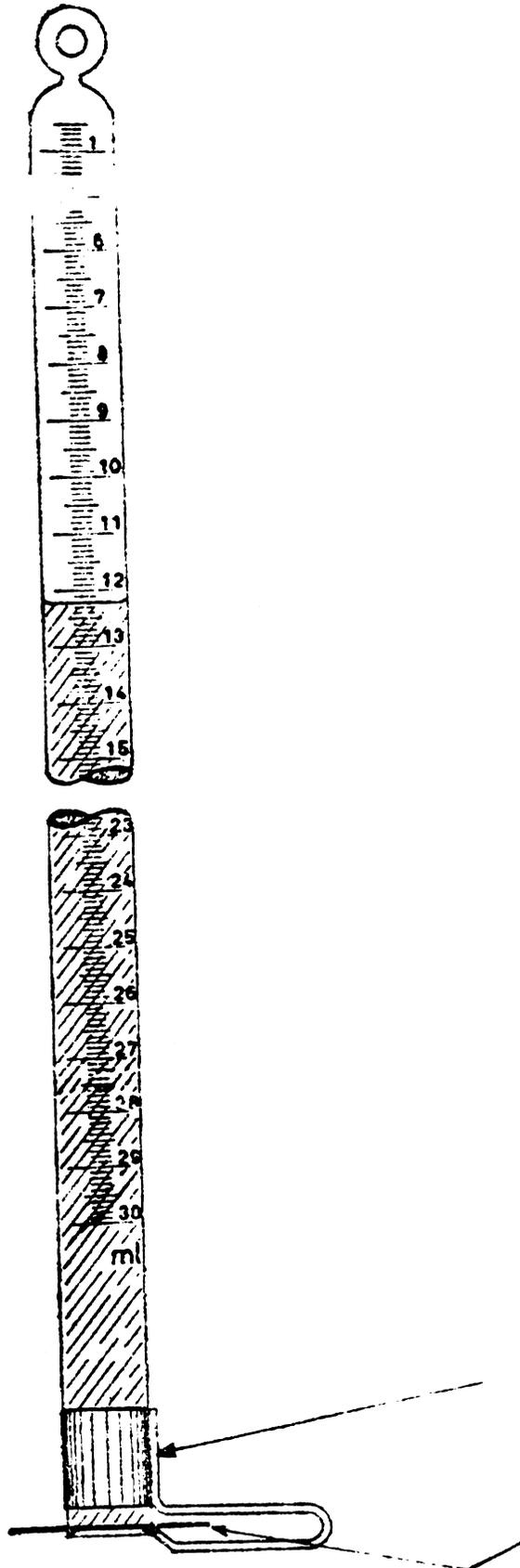
- a. Esquema del tanque estandar y Piché.

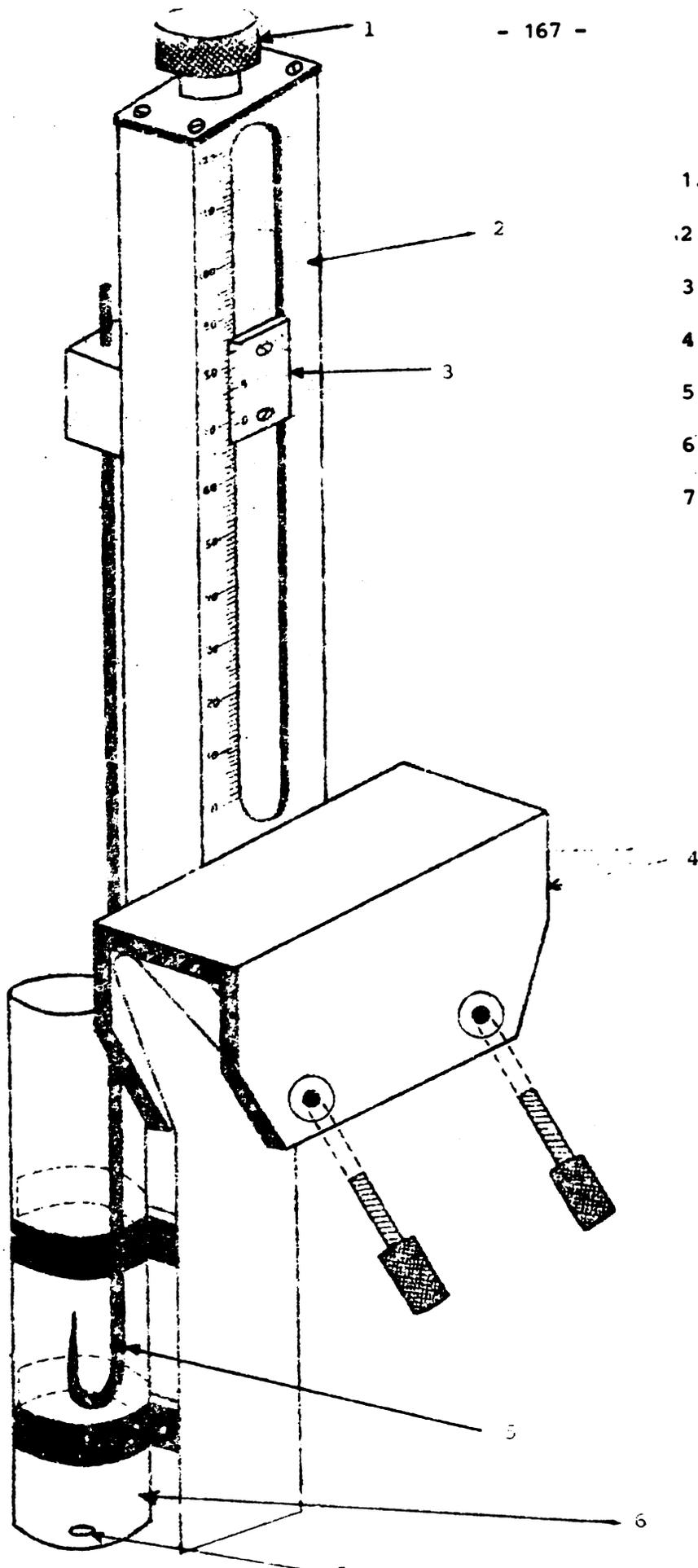
Estación

Período 1971-75

Promedios mensuales de evaporación en mm. para tanque estandar y Piché de evaporación







- 1. Tuerca de ajuste
- 2. Marco metálico
- 3. Vernier
- 4. Soporte
- 5. Gancho metálico
- 6. Frasco de vidrio
- 7. Hueco

LA ATMOSFERA Y LOS VIENTOS EN CENTROAMERICA

Norman Vega G.*

INTRODUCCION

La importante y delicada labor del Ingeniero Agrónomo encaminada a mejorar y aumentar la producción de alimentos para satisfacer las necesidades de una población mundial en constante crecimiento, se apoya en otras ramas de la ciencia como la Biología, la Química, la Física y la Meteorología, para citar algunas.

La utilización conjunta de estos conocimientos permite proporcionar a los agricultores los medios más útiles para una mejor explotación de la agricultura.

Nicolás Wade dijo:

"La meta del agricultor occidental es maximizar los beneficios; la del campesino del tercer mundo es minimizar el riesgo" (Revista Science 186).

Si conocemos los factores climáticos que afectan la producción es posible regionalizar la agricultura, mejorar las técnicas de producción, prevenir plagas y enfermedades, hacer proyecciones económicas, administrar los recursos hídricos, prevenir daños por eventos meteorológicos. Es decir podemos hacer una mejor contribución al desarrollo rural de nuestra región.

LA ATMOSFERA

El estudio de los constituyentes de la atmósfera nos ayudará a comprender mejor ciertos procesos físicos que en ella ocurren. La atmósfera es una mezcla de gases, polvo, humo y agua en estado líquido y sólido sobre los que actúa la gravedad. La composición del aire seco por volumen es la siguiente: Nitrógeno 78,084%, oxígeno 20,946%, argón 0,934%, dióxido de carbono 0,033%; además contiene neón, helio, kriptón, hidrógeno, ozono y otros más, en proporciones menores.

El ozono O_3 es una molécula de tres átomos de oxígeno cuya concentración varía con la altura, la latitud y el tiempo. Se forman en la estratosfera con ayuda de la radiación ultravioleta, que absorbe y de la cual nos protege.

El vapor de agua está por lo general presente en la atmósfera y su concentración es muy variable. Ingresa a la atmósfera por evaporación de las

* Instituto Meteorológico, San José, Costa Rica.

superficies líquidas y por la transpiración de las plantas. La concentración del vapor de agua disminuye generalmente con la altura y es responsable de las variaciones en el tiempo.

El dióxido de carbono ingresa por el proceso respiratorio de los animales, las quemaduras, la actividad volcánica y la descomposición de sustancias con átomos de carbono; es posteriormente absorbido por las plantas que a su vez serán ingeridas por el hombre.

ESTRUCTURA VERTICAL DE LA ATMOSFERA

De acuerdo a la temperatura y la presión, es posible estudiar la estructura de la atmósfera en el sentido vertical; en ella se pueden distinguir varias zonas: troposfera, estratosfera, mesosfera, termosfera y exosfera. La presión al igual que la temperatura varía con la altura. Los valores de temperatura se registran en la superficie, en la estratosfera y en la termosfera, mientras que la presión disminuye siempre con la altura.

La troposfera

La troposfera es una zona de mucha importancia porque contiene la mayor parte de la masa atmosférica. En esta zona, con gran contenido de vapor de agua se forman las nubes, se desarrollan los principales sistemas atmosféricos y se presentan los principales movimientos verticales.

En la troposfera la temperatura disminuye con la altura a razón de $6^{\circ}\text{C}/\text{km}$. En ocasiones sin embargo, se presenta una capa en la que se registra un aumento de la temperatura; a este fenómeno se le conoce como inversión. A la parte superior de la troposfera se conoce como tropopausa, capa que en el trópico se encuentra a unos 18 km de altura, la cual varía en otras latitudes.

La estratosfera

Esta zona alcanza los 50 km de altura. La temperatura se mantiene constante hasta los 20 km (capa isoterma), luego aumenta poco con la altura hasta unos 30 km, para luego subir rápidamente debido a la absorción de los rayos ultravioleta por el ozono.

La mesosfera

A los 50 km de altura aproximadamente ya la temperatura no aumenta con la altura; a esta capa inferior de la mesosfera se le llama estratopausa. De aquí en adelante la temperatura disminuye rápidamente hasta los 80 km donde alcanza los -95°C . En esta capa superior de la mesosfera llamada mesopausa, la temperatura alcanza el valor más bajo de la atmósfera alta.

La termosfera

En esta zona que puede llegar hasta los 400 o 500 km, la temperatura va siempre en aumento. Se considera aquí que la atmósfera deja de ser homogénea y las moléculas se disocian por acción de los rayos ultravioletas y los equis.

La exosfera

Alrededor de los 600 km la densidad es tan baja que la colisión de partículas neutras es muy baja y pueden escapar de la gravedad terrestre. Las partículas eléctricamente cargadas se rigen por el campo magnético.

CIRCULACION GENERAL

Para estudiar la circulación atmosférica se vio la conveniencia de construir un patrón general con sus aspectos más importantes. Hadley (1735) fue el primero en proponer un modelo que consiste en una célula en cada hemisferio. Posteriormente en 1928, T. Bergeron sugiere una circulación de tres células que es modificada en 1947 por C. Rossby.

La ventaja de esta última radica en que justifica la subsidencia y las condiciones de calma relativa en el cinturón de alta presión subtropical, y explica el desarrollo nuboso y la precipitación en el cinturón de baja subpolar y en la vaguada ecuatorial. En 1952 E. Palmén hace dos nuevas sugerencias: la célula tropical que explica la circulación en el trópico, y la célula extratropical que presenta el frente polar migratorio, de circulación más débil que la tropical. Las corrientes meridionales en altura dificultan la posición del frente polar debido a que al avanzar la zona tropical en la superficie, hace desaparecer sus características.

La circulación meridional hacia el polo después de los 60°N es mucho más débil que en otras latitudes. Se espera que haya corrientes ascendentes cerca de la baja polar, por la convergencia que existe alrededor de los 60°N.

Corrientes a chorro

Un análisis vertical de la dirección predominante y la velocidad del viento con la altura, muestra que del oeste hay una componente que se extiende y se ensancha hacia arriba, con una velocidad que alcanza el máximo a 200 hPa (12 km) y que disminuye posteriormente definiendo una corriente angosta con eje casi horizontal en la troposfera alta o en la estratosfera, registrando a su alrededor una cortante fuerte. A esta corriente se le designa con el nombre de jet. Existe un jet polar y uno subtropical.

Centros de presión

En los mapas de presión a nivel del mar, para enero y julio, se manifiesta un cinturón de baja presión subpolar a los 60° aproximadamente y uno

de alta a los 30°, con centros de alta presión llamados anticiclones semi-permanentes que se desplazan con el movimiento aparente del sol.

La vaguada ecuatorial (baja presión) en latitudes menores, llega a tener una posición sobre Asia de 20°N en verano.

En enero domina el fuerte gradiente de presión en 100°O sobre Asia. Las altas subtropicales están más organizadas en los océanos del norte en el verano que en el invierno. La rama descendente de la célula de Hadley es más intensa en 30°N en invierno, con intenso movimiento descendente al este de los anticiclones.

Temperatura

El campo de temperatura se muestra muy débil sobre el trópico. Existe una fría tropopausa y una cálida temperatura de la atmósfera subtropical. En general las variaciones de la temperatura son pequeñas. Antes de la entrada de las lluvias se registran los valores más altos, y el rango anual varía desde unos 8°C en Bahamas a 1,6°C en la zona del Canal. Con la elevación del terreno disminuye la temperatura, llegando a registrarse temperaturas bajo cero en algunas montañas y picos del área.

Según el sondeo en Costa Rica, la atmósfera es típicamente tropical. La variación zonal muestra una distribución de la temperatura debido a la masa continental y a la masa oceánica. La asimetría más pronunciada ocurre a nivel de la superficie y los 300 mb, por flujo de calor sensible de la tierra y por convección y subsidencia respectivamente. Sobre todo, se manifiesta en el verano más cálido del Hemisferio Norte (México, Tibet, Africa Occidental), comparado con las vaguadas oceánicas. En el invierno los océanos están más cálidos y las vaguadas oceánicas al sur más frías; también, los anticiclones cerca a los continentes se presentan más cálidos.

Humedad

La humedad es el campo escalar más importante en el trópico y determina la evolución de muchos disturbios de pequeña escala. Los desiertos y los mares hacen que este parámetro sea zonalmente asimétrico y muy importante para la circulación general. En el Ecuador los valores son altos disminuyendo en latitudes medias de 18 g/kg a 6 g/kg, mostrando así un fuerte gradiente meridional. El contenido de humedad expresado como humedad relativa en porcentaje, según el sondeo en Costa Rica, varía más entre mayo y octubre, siendo enero, febrero y marzo meses de transición.

ESTABILIDAD ATMOSFERICA

Procesos adiabáticos

Son aquellos procesos que se llevan a cabo sin intercambio de calor con el medio. Si consideramos una parcela de aire no saturada que se

expande adiabáticamente, al subir esta a zonas de menor presión se enfría según un proceso adiabático seco, es decir, en un diagrama termodinámico, según la adiabática seca. Cuando llega al estado de saturación, continúa el proceso de enfriamiento según la adiabática saturada. Cuando la variación de temperatura con la altura es tal que disminuye, se considera la existencia de un gradiente vertical positivo; si por el contrario, aumenta la temperatura, se le llama una inversión y el gradiente es negativo.

En términos generales cuando las fuerzas que actúan en un objeto están balanceadas, este se mantiene en reposo y se dice que su estado es de equilibrio estable. Cuando hay desplazamiento de la posición original se considera que el equilibrio es inestable. Si el objeto no tiende a regresar a su posición original y se detiene en una nueva posición, el equilibrio es neutro.

Por ejemplo, supóngase que la temperatura de la superficie es de 20°C y el gradiente de temperatura del ambiente es de $8^{\circ}\text{C}/\text{km}$. En estas condiciones, si una parcela de aire a igual temperatura en la superficie es forzada a que ascienda 1 km de altura, se enfriará a 10°C según un gradiente adiabático no saturado. Como el ambiente está más caliente, regresará a su nivel de origen por ser más densa; es decir, fue desplazada hasta 1 km de altura y regresó a su punto de partida implicando un equilibrio estable.

Si el gradiente ambiental es ahora de $11^{\circ}\text{C}/\text{km}$ y nuevamente se lleva la parcela a la altura anterior; el aire circundante es ahora más frío, la parcela es menos densa y por lo tanto continuará subiendo. Este es un caso de equilibrio inestable.

Cuando el gradiente del ambiente es de $10^{\circ}\text{C}/\text{km}$, igual que el gradiente adiabático seco, estamos en presencia de una atmósfera neutra. Así, cuando la parcela llega a 1 km de altura la temperatura del ambiente y la de la parcela es la misma por lo que esta permanece en esa nueva posición.

Cuando la parcela alcanza la saturación, el enfriamiento y expansión prosigue según un proceso adiabático saturado que es más lento debido al calor latente que se libera en dicho proceso.

Otro parámetro utilizado es la temperatura potencial equivalente de saturación. Para los niveles estandar, su valor medio mensual permite apreciar una capa condicionalmente inestable en que el parámetro disminuye con la altura durante el verano del hemisferio norte, hasta un nivel que oscila entre 500 y 600 mb. En las capas superiores el parámetro aumenta con la altura, lo cual indica que existe estabilidad atmosférica.

Durante la época de invierno del hemisferio norte se observa cierta alternabilidad de capas en todos los niveles. Aquí se utiliza el criterio de estabilidad potencial de una masa de aire que podría estar sometida a movimientos verticales ascendentes o descendentes. El parámetro es

la temperatura potencial equivalente, que al disminuir con la altura se presenta inestabilidad.

LOS VIENTOS

Para el estudio de los vientos en el trópico es necesario contemplar un área más amplia que la comprendida entre los trópicos de Cáncer y de Capricornio. Esto se debe a la interacción que existe entre las diferentes capas de la atmósfera, tanto en el sentido meridional como en el sentido zonal.

Para estudiar la circulación general se considera que existen tres células, de las cuales la ubicada sobre la zona tropical es la más importante. El aire húmedo y cálido se eleva a la atmósfera en la zona ecuatorial con dirección norte, formando la circulación de la célula de Hadley.

En el verano, la parte ascendente de esta célula está localizada a 10° de latitud Norte, y su temperatura es mayor que en la parte descendente, lo cual tiene implicaciones respecto a la energía cinética. En invierno, época en que el viento registra la mayor intensidad, la rama ascendente se localiza a 5° de latitud sur. En la primavera y el otoño el viento se debilita considerablemente. A los 30°N el aire se ha enfriado, es más denso y desciende. En esta zona la nubosidad es menor y sobre tierra están los desiertos cerca de los trópicos de Cáncer y Capricornio. El flujo de retorno es el viento Alisio cuya dirección noreste en el Hemisferio Norte, y sureste en el Hemisferio Sur, es muy conocida. En términos generales, ciertas condiciones locales como el gradiente de presión puede afectar la velocidad y dirección del Alisio en cada país. Este flujo es muy persistente y de intensidad constante sobre el océano. La nubosidad tiene una base de 1 km de altura y en las costas el desarrollo vertical es mayor, produciendo mucha precipitación que se incrementa al aumentar el Alisio su velocidad. En Costa Rica esta situación ocurre en la zona Atlántica donde el efecto del aumento en la velocidad se manifiesta con temporales, mucha nubosidad y precipitación constante y débil, que por lo general afecta también al Valle Central.

Vaguada Ecuatorial

El aire que desciende en los centros de alta presión subtropical, se dirige sobre la superficie de la tierra hacia el ecuador, zona de menor presión a la que se le designa como "vaguada ecuatorial". Esta alcanza, en el mes de julio, su posición máxima al norte a unos 12° aproximadamente, y en enero su máxima al sur a unos 5° de latitud.

Circulación zonal

La velocidad zonal sobre el ecuador se manifiesta con viento del este dominando hasta los 100 mb. El viento oeste es más fuerte en el invierno cuando el jet está a 200 mb. Su posición varía de los 30°N a los 45°N en

el verano; en esta época los estes aumentan con la altura hasta los 20° de latitud norte y entre la superficie y los 850 mb. En el invierno el viento disminuye con la altura.

Disturbios tropicales

Los disturbios tropicales ocurren en un amplio rango, desde nubes tipo cúmulo hasta ondas planetarias. Una metodología para estudiarlos es el análisis sinóptico o análisis en dos dimensiones, del campo escalar y vectorial a varios niveles y en diferentes tiempos (fotos de satélites, cortes verticales, etc.). Otra metodología es el filtro temporal y espacial para aislar disturbios dominantes (hasta 1000 km y 3 a 5 días en la escala de tiempo).

La técnica de líneas de corriente e isotacas es muy útil para el estudio de los disturbios tropicales. Cuando sea posible, se debe analizar el campo de las temperaturas. El de la presión y la humedad es importante por su distribución a escala sinóptica, así como los mapas medios climatológicos de la región.

Sumamente importante son las imágenes de satélite que permiten observar el ciclo de vida y desplazamiento de los disturbios.

El radar permite localizar fenómenos de mesoescala que para fines operativos son de mucha importancia.

Brisas de mar

Las brisas marinas, importantes en el trópico, ocurren por la diferencia térmica entre la masa oceánica y la continental, tienen un espesor de hasta 3 km y producen regularmente enfriamiento y aguaceros vespertinos.

El transporte vertical de calor se origina por mezcla y advección. La temperatura máxima en la superficie se alcanza hacia el mediodía y la intensidad máxima de la brisa se da aproximadamente una hora después de la temperatura máxima.

Los monzones

Debido al efecto diferencial de temperatura entre la masa terrestre y la del agua, la tierra se calienta y se enfría más rápidamente. Esto produce una circulación de la masa de aire en gran escala. El aire del océano se desplaza hacia los continentes que durante el verano se encuentran, a una mayor temperatura. La humedad arrastrada, al calentarse desde abajo, se inestabiliza y ocasiona un gran desarrollo nuboso y fuertes lluvias. En invierno ocurre lo contrario. A este flujo característico de la India, el norte de Australia y Africa se le llama Monzón.

El tiempo tropical

La variación de la temperatura en los trópicos, de invierno a verano, es muy pequeña comparada con las altas latitudes. La desviación del sol respecto al zenith es pequeña relativamente; las variaciones en el mar tropical son de menos de tres grados y en el continente de menos de diez. En la horizontal la variación o gradiente de temperatura es débil por lo que los frentes fríos por ejemplo, no se aprecian bien definidos. En estos, disminuye rápidamente la temperatura y su contraste hace difícil el seguimiento en las cartas o mapas meteorológicos. El tiempo, especialmente la precipitación, dependen de la escala sinóptica y la mesoescala.

Zonas de convergencia

Los grandes campos nubosos y la precipitación, se desarrollan en los trópicos por el débil gradiente de temperatura, por la convergencia en niveles bajos, y sobre todo si se presenta, por divergencia en la troposfera alta.

Zona de convergencia intertropical

Cuando el alisio se junta en una zona angosta, ocurre convergencia en gran escala, tal como ocurre con los flujos Noreste y Sureste. El mal tiempo se genera sobre una gran área y su desarrollo vertical alcanza la troposfera, hasta unos 17 o 18 km, con la base en ocasiones muy baja.

DISTURBIOS ATLANTICOS

Ondas del este

Las Ondas del Este han sido muy estudiadas especialmente por Riehl desde 1945. El origen y estructura de estas ondas no se conoce con toda claridad. La longitud es de 2.000 km, con un núcleo frío abajo (900 mb) y cálido a unos 500 mb; el aire seco es descendente adelante del eje pero sus características y duración varían de un lugar a otro.

La onda del este se traslada hacia el oeste afectando la atmósfera hasta una altura considerable. El campo de temperatura se ve afectado y es diferente respecto a la distribución que normalmente presenta. La capa de humedad es mayor al este del eje.

Nubes en forma de V invertida

Detectadas por los satélites se observan nubes en forma de V invertida, su escala es del orden de 1000 km con la base muy alta.

Líneas de inestabilidad (Squall lines)

Se observa una gran convergencia de masa en niveles bajos y viento fuerte del este.

Marejadas

Las marejadas se producen en las zonas más intensas del flujo de los dos hemisferios, durante la oscilación de estos sistemas. Tal como ocurre con los huracanes, las marejadas ponen en movimiento grandes masas de agua que desarrollan una fuerza increíble al chocar contra las costas, destruyendo cualquier obstáculo que se oponga a su paso.

Zona de convergencia intertropical

La faja de mal tiempo y lluvias cercanas al Ecuador identificada como Zona de Convergencia Intertropical, se ve en ocasiones, como una línea este-oeste a 5° de latitud norte y en otras, como conglomerados nubosos desplazándose hacia el oeste.

HURACANES

La formación de huracanes ocurre en zonas donde la temperatura del mar alcanza los 27°C (valor crítico). Después se desplazan a latitudes de zonas más frías; pero se ha demostrado que para poderse mantener, un huracán necesita encontrar cierta temperatura en la superficie del mar.

Los huracanes más severos e importantes son los que tienen una circulación muy intensa. La energía con que se producen proviene del calor latente liberado de la condensación del vapor de agua en la atmósfera tropical. Ocurren en algunas regiones tropicales y se les conoce también como tifones o ciclones tropicales. En los mapas de superficie aparecen como un disturbio tropical que adquiere una definida circulación y un aumento considerable en la velocidad del viento. Cuando esta es de 65 km/h se les designa como depresión tropical, cuando se encuentra entre 66 y 124 km/h es una tormenta tropical, y finalmente se convierte en huracán cuando su velocidad alcanza los 125 km/h o más. La presión atmosférica puede bajar hasta 960 hPa(mb). Los huracanes pueden alcanzar un diámetro de 100 km y se presentan acompañados de aguaceros torrenciales, actividad eléctrica y un desarrollo nuboso hasta de 10 km de espesor. El ojo central tiene pocos km de diámetro, vientos débiles y muy poca nubosidad. Su dirección es errática y es difícil prever su trayectoria. Como se generan en el mar, producen olas enormes en toda dirección que al llegar a la costa levantan una marejada sumamente destructiva.

Los mapas meteorológicos son importantes en la etapa de formación de estos fenómenos, ya que permiten observar la convección, la cortante, las corrientes y el flujo anticiclónico en altura. Las fotos de satélite también importantes, muestran los sistemas nubosos y su organización.

Asimetría de los huracanes

La mayor asimetría observada hasta ahora en los huracanes, se presenta en el movimiento y la distribución de la cobertura nubosa. También

muestra asimetría el flujo en la troposfera alta. En esta, el flujo que sale ciclónicamente en el centro, cambia rápidamente a flujo anticiclónico. Los isotacas en la troposfera baja, muestran también asimetría con vientos fuertes en el sentido de avance del huracán.

Efectos directos e indirectos de los huracanes

Podemos distinguir dos procesos con respecto a la influencia de los huracanes en el área de Centroamérica: El efecto directo causado por la sección central asociado a la convergencia, y el efecto indirecto causado por la circulación en gran escala, de la periferia del fenómeno.

El efecto directo del huracán "Fifí" en setiembre de 1974, causó grandes inundaciones por lluvias intensas en la costa norte de Honduras, mientras que la precipitación al suroeste del país fue causada por el efecto orográfico con un flujo persistente del suroeste, lejos del centro. En Costa Rica casi a 600 km de distancia se manifestó un flujo indirecto que en la Vertiente del Pacífico produjo gran cantidad de lluvia, casi igual que en la costa norte de Honduras. Por esto, cuando se presenta un huracán en el Caribe, el efecto secundario por precipitación en la periferia, afecta principalmente la costa del Pacífico en Costa Rica.

Régimen de vientos

Para la agricultura de la región es importante conocer el régimen de vientos. En estos países montañosos, angostos y rodeados por océanos, el aporte de humedad del mar transportado tierra adentro, influye grandemente en el régimen de lluvias.

La época de siembra está relacionada con la entrada de las lluvias. Para efectos de aplicar riego es necesario conocer los períodos de escasez de agua; estas se pueden relacionar con el debilitamiento de los sistemas de viento o su intensificación en el área. Otras actividades agrícolas como la aplicación de abono, insecticida, hierbicida, se pueden planificar mejor si se conocen los datos climatológicos de cada región.

La serie de datos del radiosondeo sobre el Aeropuerto Juan Santamaría por ejemplo, indica un viento resultante con componente del Este durante todo el año, prácticamente en toda la troposfera. En diciembre, enero y febrero se presenta el viento más fuerte (850 mb) con un máximo que alcanza 20 nudos en el mes de enero. Posteriormente, en julio y agosto se presenta un máximo secundario que coincide con el veranillo.

De noviembre a mayo se presenta un componente oeste entre 300 y 100 mb, que coincide con los estudios hechos por Crutcher (1961) de cortes verticales a 80° oeste en invierno y primavera, que llega a alcanzar velocidades de 25 nudos.

El hecho de que exista un componente este en los bajos niveles y del oeste en altura, influye principalmente en el proceso de convección y desarrollo nuboso.

Frentes fríos

Los empujes polares constituyen una masa de aire muy densa y fría que se desplaza desde el polo norte atravesando Canadá, Estados Unidos y México, para desvanecerse en los mares tropicales dejando sentir su paso sobre nuestro territorio. Estos se presentan principalmente entre diciembre y marzo, o sea durante el invierno del hemisferio norte. Los frentes fríos son en parte bloqueados por el sistema montañoso de México y por la cadena de montañas en Centro América; sin embargo, por el Istmo de Tehuantepec y sobre Nicaragua, donde la topografía es más baja en cierta zona, pueden en ciertas ocasiones pasar a la costa del Océano Pacífico. Cuando se desplaza un frente frío se intensifica el sistema de presión y se acelera el viento alisio de tal modo que se produce nubosidad persistente, precipitación débil de tipo orográfico a barlovento de las montañas, que puede pasar en ocasiones por las depresiones de la Cordillera Central. Por ser un flujo sinóptico, frena la brisa de mar del oeste; además, se ha comprobado la existencia de flujo de retorno y estancamiento. La máxima precipitación ocurre en las planicies costeras y en la pendiente de las montañas perpendiculares al flujo noreste.

Vaguada en altura

Se denomina vaguada a una zona alargada de baja presión en la que se puede distinguir un eje. Se diferencia así de un centro de baja presión o ciclón. Las vaguadas de altura como su nombre lo indica no aparecen en el análisis de niveles bajos en los que no se aprecia ningún sistema sinóptico significativo.

Por ejemplo el 3 y 4 de diciembre de 1970 se produjeron precipitaciones abundantes e inundaciones en la costa del Atlántico de Costa Rica, producto de una vaguada en altura (500 y 300 mb). Al aumentar la velocidad del Alisio, la barrera montañosa fuerza el aire hacia arriba y debido al efecto orográfico se producen precipitaciones en exceso, comparables en Costa Rica con las producidas por huracanes sobre otros países de Centro América.

El veranillo

Se le ha dado el nombre de veranillo a una disminución relativa de la precipitación que ocurre a mitad del período lluvioso de la Vertiente del Pacífico, desde la costa hasta las montañas que dividen en dos a nuestro territorio. En los análisis meteorológicos se aprecia este fenómeno por la intensificación del flujo alisio y por un desplazamiento hacia el sur de Costa Rica de la nubosidad asociada con la zona de convergencia inter-tropical. El veranillo que por lo general no pasa de cinco días consecutivos, se presenta generalmente a principios de julio o mediados de agosto; sin embargo, por razones desconocidas, el período sin lluvias a veces se prolonga o se da en otra fecha. Se requiere más investigación para determinar con exactitud la ocurrencia de este fenómeno.

En el régimen de precipitación de Costa Rica se distinguen dos tipos bien definidos: el de la Vertiente Atlántica y el de la Vertiente del Pacífico. De mayo a noviembre llueve en todo el Pacífico con un máximo en setiembre y una época seca de diciembre a abril. En el Atlántico la época seca se presenta de febrero a abril y en setiembre y octubre. La precipitación máxima se registra en diciembre. Cabe destacar que en la zona montañosa llueve casi todo el año.

BIBLIOGRAFIA

1. AMERICAN METEOROLOGICAL SOCIETY. Glossary of Meteorology.
2. _____. Bulletin, vol. 62, No. 7.
3. ATKINSON, G. Forecaster's guide to Tropical Meteorology. 1971.
4. GRANDOSO, H. Estudio meteorológico de las inundaciones de diciembre de 1970 en Costa Rica, Nota de Investigación No. 1, Instituto Meteorológico Nacional.
5. _____. Ciclones tropicales y precipitaciones intensas O.M.M. San Salvador.
6. GRANDOSO, H., VARGAS, A. y CASTRO, V. Características de la atmósfera libre sobre Costa Rica y sus relaciones con la precipitación.
7. GRANDOSO, H., ZARATE, E. y VEGA, N. Análisis de la escala sinóptica y mesoescala de un frente frío sobre Centro América.
8. HALTINER, M. Dynamical and Physical Meteorology N.O.A.A. 1974; Weather and Pilot Briefing. 1957.
9. PALMEN, N. Atmospheric circulation systems. 1969.
10. ROGER, R. A short course in cloud physics. 1979.

11. SAUCIER, W. Principles of meteorological analysis. 1972.
12. SCIENTIFIC AMERICAN, July 1981.
13. SCIENTIFIC AMERICAN, August 1981.
14. SCHWERDTFEGER, W. World survey of climatology, vol. 12.
15. WIESNER, C. J. Hydrometeorology. 1970.
16. WMO. Compendium of lectures notes for training class IV meteorological personnel, No. 266.
17. WMO. Compendium of lectures notes for training class III meteorological personnel, No. 291.
18. WMO. Compendium of meteorology, vol. II, part 4, No. 364.
19. WMO. The economic value of agrometeorological information and advice, No. 526.
20. WMO. The role of agrometeorology in agricultural development and investment projects, No. 536.
21. WMO. Lecture notes for training class II and class III agricultural meteorological personnel. No. 551.
22. WMO. Bulletin, July, 1981.
23. VEGA, N. Marejadas, nota técnica No. 7 I.M.N. 1978.
24. _____. Cálculo de la probabilidad de precipitación diaria en San José utilizando cadenas de Markov de primer orden. Tesis de grado Universidad de Costa Rica. 1977.

LA ESTACION LLUVIOSA EN COSTA RICA Y LOS VERANILLOS

Patricia Ramírez*

El régimen de la precipitación en Costa Rica presenta dos tipos bien definidos que se designan como régimen de la Vertiente del Caribe y régimen de la Vertiente del Pacífico. Ambos están caracterizados por una distribución distinta de la estación lluviosa, así como de las horas en que ocurre usualmente la precipitación.

La Vertiente del Caribe puede dividirse en dos regiones: Una comprende la zona de la costa y sus cercanías y otra comprende el resto, incluyendo las montañas.

En esta región no puede decirse que haya una estación seca propiamente dicha. El régimen de lluvias sobre la región es típicamente orográfico. El flujo alisio rico en vapor de agua se ve obligado a ascender al encontrarse con la cordillera, lo que provoca una formación constante de nubes que liberan grandes cantidades de lluvia.

Como los vientos alisios son constantes durante casi todo el año, no hay estación seca definida, solamente disminución de la lluvia cuando este flujo se debilita en setiembre y octubre. En los meses secos la lluvia se mantiene entre 100 y 200 mm.

En la zona costera se pueden definir dos períodos relativamente secos, uno cubre los meses de febrero y abril y otro los meses de setiembre y octubre. El mes más lluvioso es diciembre. En la Figura 1 se presenta la distribución mensual de la lluvia en Limón y Barra del Colorado que representan esa zona, donde la lluvia no presenta variación diurna bien definida, aunque llueve más durante las horas de la noche y la mañana.

Por tener lluvia durante todo el año el abastecimiento de humedad a los cultivos no es problema en ningún período, presentándose más bien exceso de agua en el suelo.

En la zona montañosa de la Vertiente del Caribe sólo se produce un mínimo relativo de la precipitación en los meses de marzo y abril. El resto del año es lluvioso. Al igual que en la zona costera el mes más lluvioso es diciembre. La Figura 2 presenta la distribución de la precipitación en cuatro lugares de la zona: Los Andes, en la Cordillera de Guanacaste; Ciudad

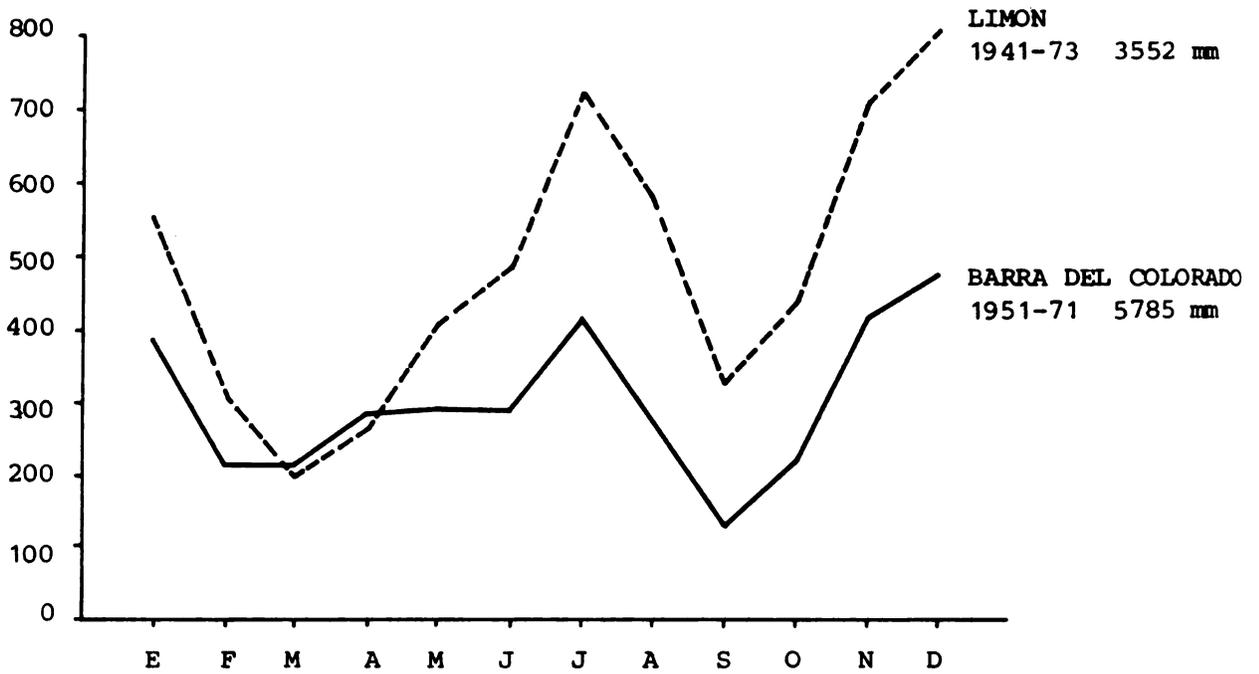


Figura 1. Régimen de precipitación costero Atlántico (Grandoso, 1978).

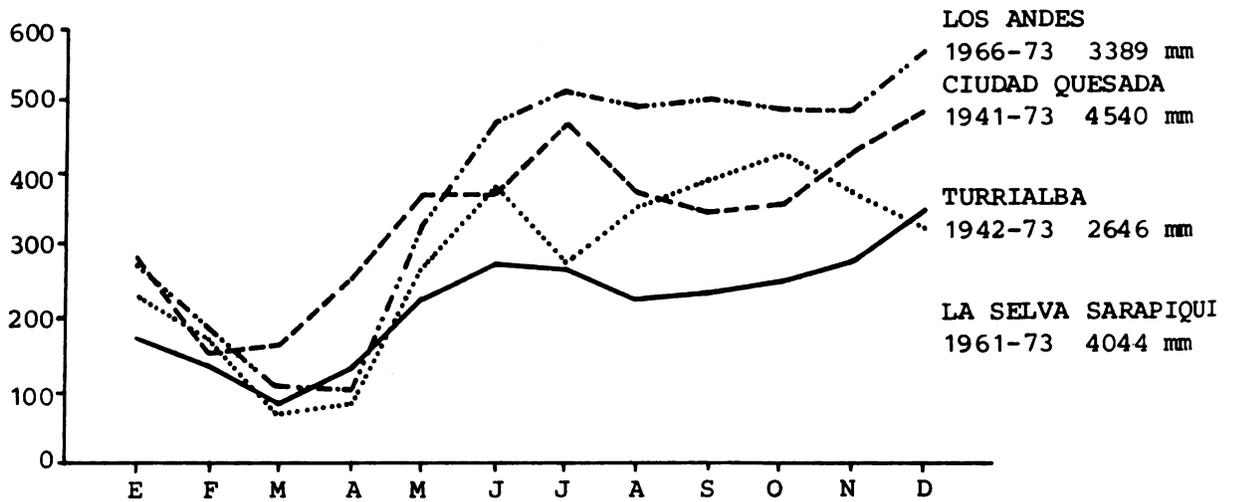


Figura 2. Régimen de precipitación en la región montañosa de la Vertiente Atlántica (Grandoso 1978).

Quesada, en la parte norte de la Cordillera Central; Turrialba en el Valle del Reventazón y La Selva de Sarapiquí en la Llanura del Norte. En la zona montañosa la distribución horaria de la precipitación presenta un máximo en la tarde y las primeras horas de la noche, durante el período de mayo a noviembre, el resto del año de diciembre a abril, las lluvias están distribuidas en las 24 horas del día aunque los máximos se producen en la noche.

En la Vertiente del Pacífico hay una época lluviosa y una seca bien definidas. La época lluviosa se extiende de mayo a noviembre con una disminución relativa de la cantidad de lluvia en los meses de julio y agosto que se conoce con el nombre de "Veranillo". En la Figura 3 se presentan las curvas de precipitación en cuatro lugares de esta región: Liberia, en la zona del Pacífico Norte; San José, en el Valle Central; San Vito de Java y San Isidro de El General, en la zona del Pacífico Sur.

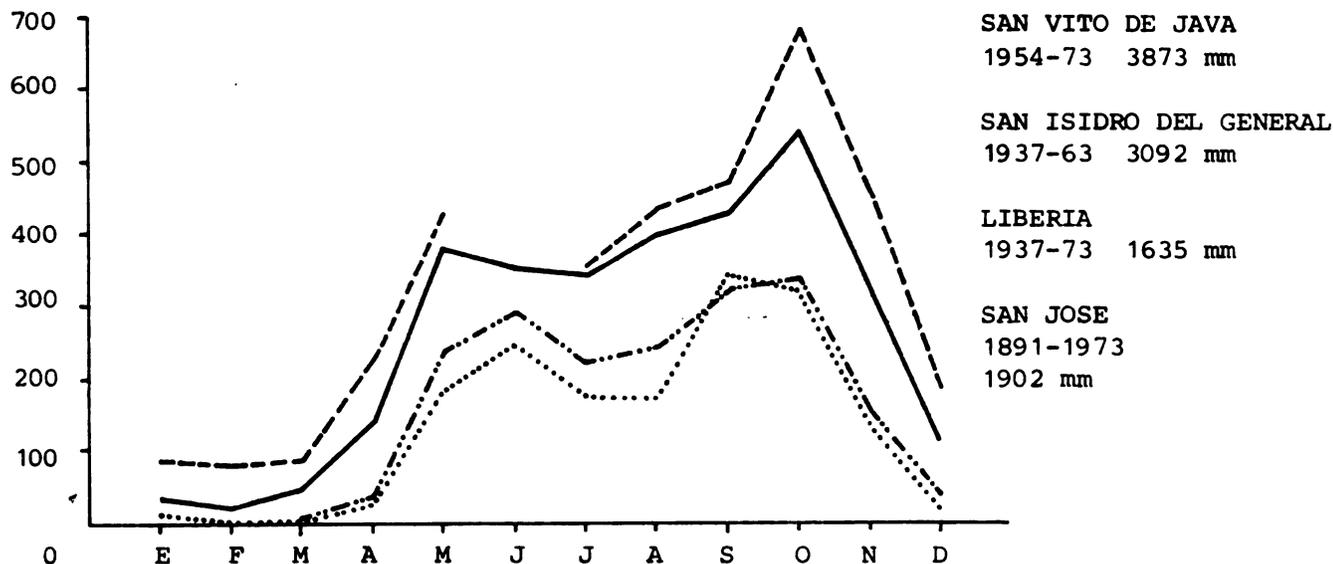


Figura 3. Régimen de precipitación en la Vertiente del Pacífico (Grandoso 1978).

En la parte central y norte la estación lluviosa se extiende de mayo a noviembre; el mes más lluvioso suele ser setiembre. En la parte sur abril y diciembre son meses de transición y el mes más lluvioso suele ser octubre.

Los mecanismos productores de lluvia en Costa Rica son fundamentalmente la convección, los frentes de brisa, el ascenso orográfico, la convergencia y la presencia de la zona de Confluencia Intertropical (ZCIT).

Al lado de estos procesos, los disturbios sinópticos pueden producir precipitaciones intensas. Estas lluvias, que se mantienen por más de nueve horas, ocurren en horas del día en las que normalmente no se presentan lluvias ("temporales") mientras el cielo se mantiene cubierto por más de un día.

En la Vertiente del Pacífico los fenómenos causantes de lluvias intensas son fundamentalmente dos: Un huracán en el Caribe situado entre 72°-85°O, o un disturbio tropical situado entre 5° y 15° N (Coen 1955) y la presencia de un centro de alta presión sobre Costa Rica y Panamá.

En la Vertiente Atlántica los más importantes productores de lluvia son las ondas en los Estes, las vaguadas de altura, el desplazamiento hacia el sur-este del Anticiclón de las Bermudas y la presencia de centros de baja presión en el Caribe. Debido a que el tiempo de exposición no lo permite no se entra en una descripción detallada de cada uno de estos mecanismos.

En la Vertiente del Caribe como ya se dijo, no existe una época seca definida.

En la Vertiente del Pacífico la estación lluviosa se extiende de mayo a noviembre en la parte central y norte, y de abril a diciembre en la parte sur. Esta diferencia en la fecha de inicio y fin de la estación lluviosa se debe principalmente al desplazamiento de la Zona de Confluencia Intertropical (ZCIT). Esta zona, donde confluyen los vientos alisios del noreste con los vientos ecuatoriales del suroeste, arrastra gran cantidad de nubosidad e inestabilidad atmosférica que, al acercarse al país, provoca lluvias en toda la Vertiente del Pacífico.

La Zona de Confluencia Intertropical (ZCIT) se mueve hacia el norte y hacia el sur siguiendo el movimiento del sol. En la Figura 4 se presenta la posición de la ZCIT para diferentes períodos alrededor del meridiano 90°W. Nótese que la ZCIT está casi sobre Costa Rica de mayo a noviembre y que frecuentemente se encuentra sobre la parte sur del país. Nótese también el desplazamiento hacia el sur en julio, que causa el "Veranillo". Cuando la ZCIT está sobre Costa Rica puede producir lluvias en todo el país, además el flujo suroeste de los vientos ecuatoriales, al encontrarse con la Cordillera paralela a la costa, produce lluvias orográficas en toda la región del Pacífico.

El inicio de la época lluviosa, provoca incertidumbre en el agricultor, los planificadores y consejeros agrícolas. La fijación de una fecha de siembra óptima depende en gran parte de que se pueda contar con lluvias regulares a partir del momento de la siembra. La alta variabilidad en la fecha de inicio de las lluvias y de su finalización de un año a otro, ha provocado grandes pérdidas en la agricultura de nuestro país.

El fijar una fecha exacta para el inicio de la estación lluviosa es del todo imposible, dado que los sistemas atmosféricos que influyen en el proceso tienen un comportamiento muy variable, cuando menos impredecible más allá

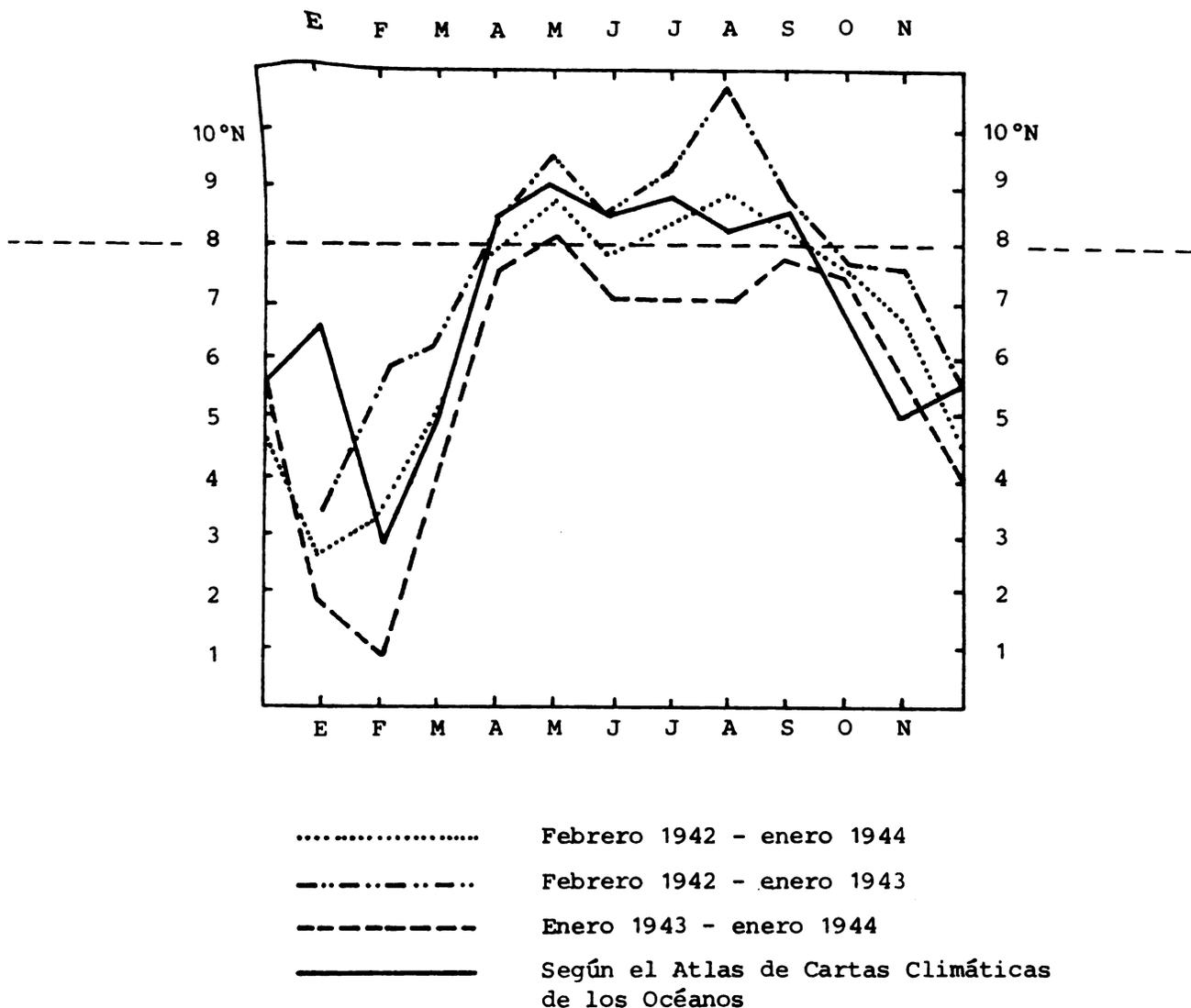


Figura 4. Posición latitudinal media de la Zona de Confluencia Intertropical (ZCIT). Costa Rica está localizada sobre la línea interrumpida. (Alpert, 1945).

de 48 horas. La estimación de fechas más probables de aparición o desaparición de las lluvias se encuentra con dos escollos fundamentalmente: la pobreza de los registros pluviométricos y la definición de un criterio uniforme y objetivo para definir un período seco y un período húmedo.

623

Con respecto al primero se debe tener en mente que los registros pluviométricos en Costa Rica son cortos y discontinuos, solo en pocos lugares se cuenta con registros continuos de más de 30 años. Como se verá más adelante, la alta variabilidad de la fecha de inicio de las lluvias, hace necesario que se tengan series más largas para determinar si existen tendencias o fechas más probables.

El segundo problema que se encuentra es que la definición de "período seco" es muy variable, dependiendo de la actividad o disciplina que lo esté definiendo. Hablando de cultivos es lógico que la longitud del período de ausencia de lluvias que es importante, es aquel en el cual la planta sufre daño por ausencia de humedad. La necesidad de agua, a su vez, es variable de un cultivo a otro; el tiempo que pueda estar sin recibir agua es diferente para una plantación de arroz, de banano o de maíz. Cuando la agricultura no es de riego y la única agua disponible es la de lluvia, el problema de definir un período seco máximo involucra dos aspectos diferentes: qué cantidad de lluvia cae en determinado período?, y cómo se distribuye?

La misma cantidad de lluvia posiblemente no tendrá la misma efectividad si solo cae en un día o si se distribuye en varios; y aún con la misma distribución, el tipo de suelo y el cultivo harán que su efecto sea diferente.

Estos problemas son el primer escollo que se encuentra cuando se quiere estudiar la frecuencia y probabilidad de aparición de períodos secos de inicio o de fin de las lluvias, con miras a usar esta información para planear las actividades agrícolas. La inclusión de variables de suelo para afinar el criterio de qué cantidad de lluvia, en determinado período, se considera período lluvioso o seco, no siempre es posible cuando se trabaja en áreas extensas y la inclusión de variables de cultivo obligaría a hacer tantos análisis como cultivos haya en la zona.

Tratando de obviar el problema y usando un criterio puramente climatológico en este trabajo, se ha considerado que una lluvia inferior a 25 mm en cinco días es un período seco. Los 25 mm se escogieron porque esa cantidad representa la lluvia de una tormenta de mesoescala (Gramsow y Henry, 1972).

LA EPOCA LLUVIOSA Y LOS VERANILLOS EN LA VERTIENTE DEL PACIFICO

En el estudio que se presenta a continuación se trató de hacer una estimación estadística para encontrar los períodos en que es más probable la entrada y la salida de la época lluviosa y del veranillo, basado en los datos de precipitación acumulada cada cinco días en los meses de marzo, abril y mayo, julio, agosto y noviembre, y diciembre.

Para el análisis se usaron datos de las estaciones situadas en la Vertiente del Pacífico, que cuentan con registros de más de 30 años (Figura 5).



1. Santa Cruz
2. Cañas
3. La Argentina, Grecia
4. Santa Ana
5. Palmar Sur

Figura 5. Mapa de Costa Rica con la localización de las estaciones y la división por zonas.

<u>Estación</u>	<u>Latitud</u>	<u>Longitud</u>	<u>Elevación</u>	<u>Años de Registro</u>
Santa Cruz	10° 16'	83° 35'	54 m	1951-80
Cañas	10° 25'	85° 05'	95 m	1951-78
La Argenti- na, Grecia	10° 02'	84° 21'	760 m	1941-80
Santa Ana	09° 56'	84° 11'	909 m	1949-80
Palmar Sur	08° 57'	83° 28'	16 m	1948-80

Para cada estación se calculó la precipitación acumulada cada cinco días (pentadas) en los meses antes mencionados. Se definió como período seco o pentada seca a aquellas en los que la precipitación acumulada en el período fue inferior a 25 milímetros (mm) y pentadas lluviosas aquellas en que se acumuló esa cantidad o más; y se calcularon probabilidades empíricas (No. de ocurrencias entre el No. total de casos) para los períodos lluviosos y para la secuencia período seco-período lluvioso.

Este trabajo no pretende hacer un pronóstico a largo plazo que nos indique con exactitud la duración de la estación lluviosa, ya que para ello se necesitaría un estudio más amplio, sino tan solo una primera aproximación que ayude a determinar con cierta probabilidad su inicio y finalización.

Inicio de la época lluviosa

Como se dijo antes, en la Vertiente del Pacífico de Costa Rica, la estación seca dura de diciembre a abril en la parte central y norte y de enero a mediados de marzo en la parte sur.

La fecha de inicio de las lluvias varía de un año a otro, presentándose a veces diferencias de hasta 20 días entre un año y el siguiente. Un ejemplo de esto aparece en la Figura 6 donde se presentan las pentadas con lluvia mayor o igual a 25 mm en la estación de Santa Cruz, Guanacaste, durante los meses de abril y mayo de los años 1950 a 1980. Puede verse en ella como la diferencia en la fecha de inicio de la estación lluviosa entre 1979 y 1980 fue de 20 días mientras que entre 1978 y 1979 fue de 10 días y entre 1973 y 1974 de 0 días. Cuando la estación lluviosa se inicia temprano las lluvias aparecen desde mediados de abril, pero por lo general no se presentan lluvias continuas sino hasta fines de mayo.

Buscando la fecha más frecuente de inicio de estas lluvias para los 30 años de registro en Cañas y Santa Cruz se calculó la probabilidad empírica de tener 25 mm o más en cada pentada. Los resultados se presentan en la Figura 7. Aquí puede verse como la probabilidad de tener una pentada lluviosa aumenta rápidamente a partir del 20 de abril y alcanza un valor superior al 50% entre el 10 y el 15 de mayo en Santa Cruz, y un poco más tarde, entre el 20 y el 25, en Cañas.

Es decir, que las lluvias se inician primero en la zona más cercana a la costa y luego en el centro de la provincia. La razón de esta diferencia en la fecha de inicio pueden ser las precipitaciones, causadas por el frente de brisa que se forma por la convergencia de la brisa de mar y el viento alisio, sobre la región paralela a la costa. Son lluvias aisladas que se dan aún cuando en el resto de la región no ha empezado a llover regularmente.

En la Figura 8 se presenta la probabilidad condicional de tener más de 25 mm en una pentada si los cinco días anteriores han sido secos (menos de 25 mm en cinco días) para las mismas dos estaciones; puede observarse como la probabilidad de un período lluvioso, aunque el anterior haya sido seco, va aumentando hasta alcanzar un máximo alrededor del 20 de mayo. A partir

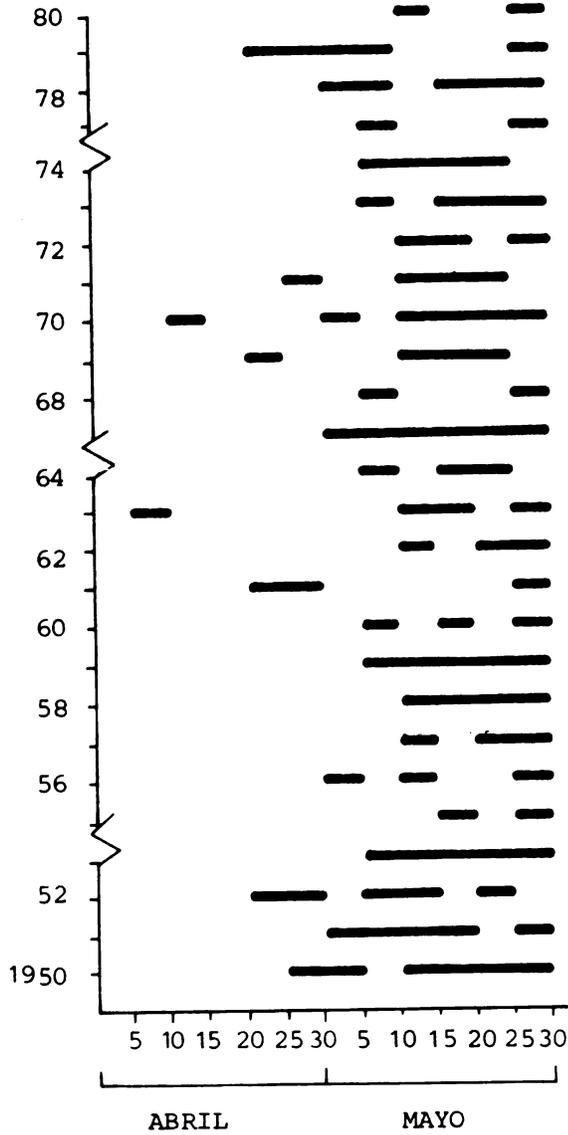


Figura 6. Pentada con precipitación mayor o igual a 25 mm en la estación de Santa Cruz. Período (1950-1980).

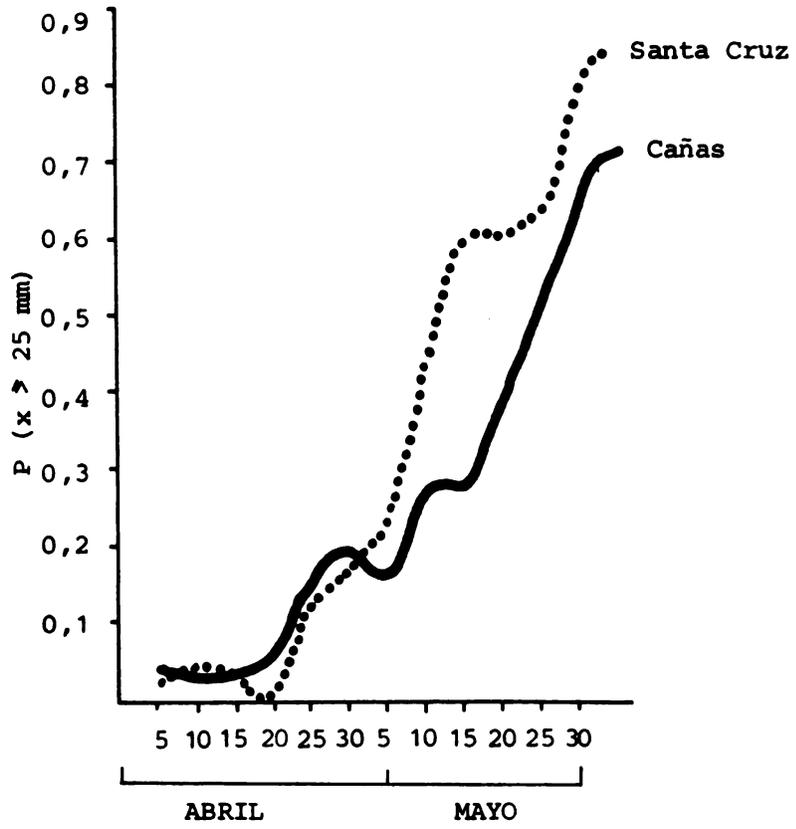


Figura 7. Probabilidad para una pentada con 25 mm o más en Santa Cruz y Cañas.

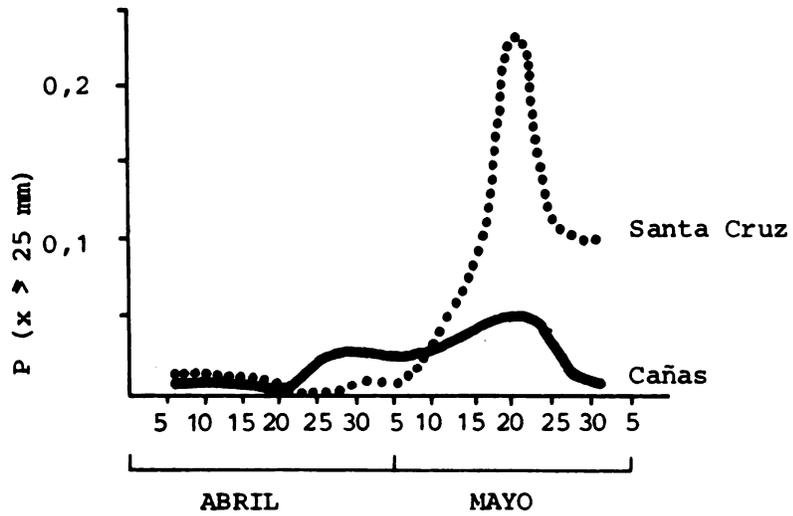


Figura 8. Probabilidad para una pentada con 25 mm o más, dado que en la pentada anterior cayeron menos de 25 mm en Santa Cruz y Cañas.

de ese momento la probabilidad disminuye. Es decir, al avanzar mayo es más probable tener dos períodos lluviosos consecutivos en lugar de un período lluvioso a partir de un período seco, porque ya la época seca se ha iniciado.

Un análisis similar se hizo para las estaciones de la Argentina-Grecia y Santa Ana en el Valle Central, las cuales cuentan con 40 años de registros continuos (1941-1980).

La Figura 9 también presenta la probabilidad de tener 25 mm de lluvia o más en una pentada en los meses de abril y mayo, en estas dos estaciones. Puede verse como esta probabilidad asciende muy rápidamente a partir del 1^a de mayo, alcanza valores superiores al 50% después del 10 de mayo, y mayores del 70% entre el 15 y 20 del mismo mes.

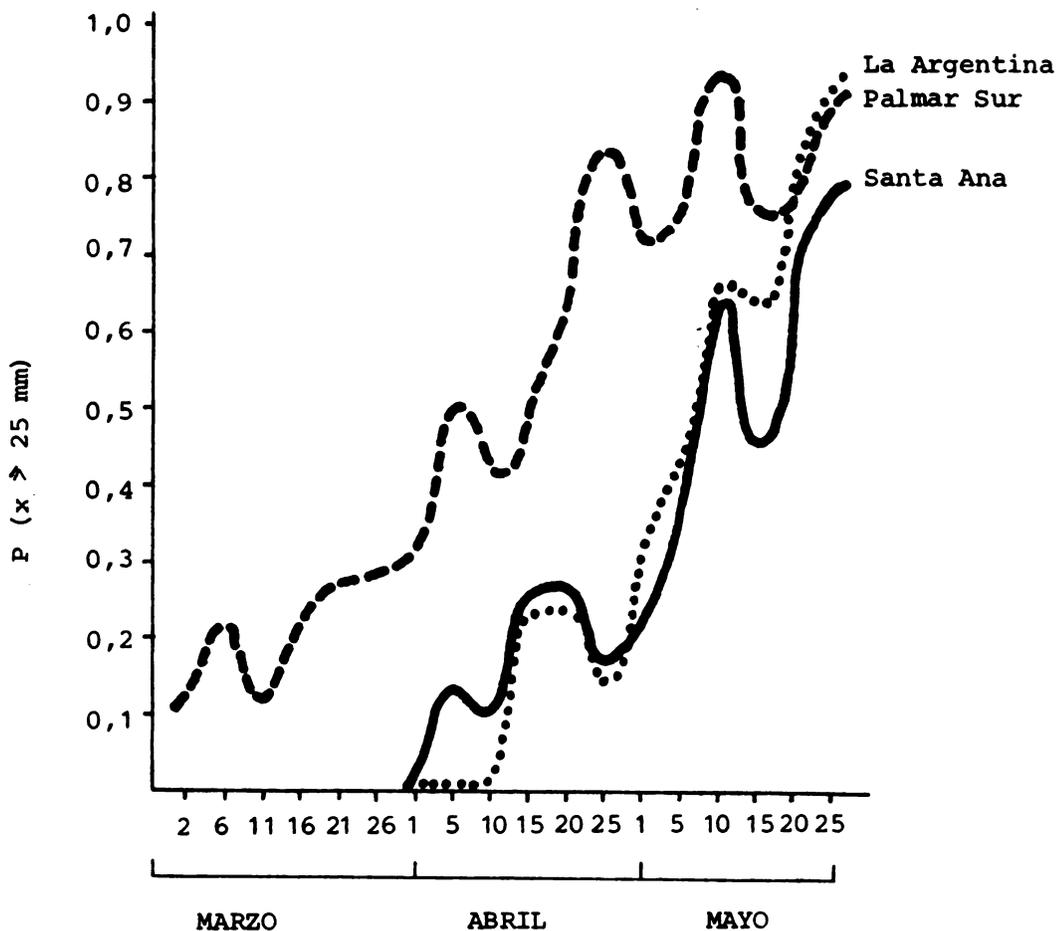


Figura 9. Probabilidad para una pentada con 25 mm o más en los meses de abril y mayo en tres estaciones de la Vertiente del Pacífico.

La probabilidad condicional de tener una pentada lluviosa si el período anterior tuvo menos de 25 mm se presenta en la Figura 10. Se observa en ella que existen dos fechas más probables para la aparición de las lluvias, el 10 de mayo y el 20 de mayo, siendo la probabilidad un poco mayor para el 10. Alrededor del 20 de abril, aparece un máximo relativo en la curva de probabilidad condicional. Este pico corresponde a lo que en nuestro folklore se llama "lluvias locas de abril" (Coen 1970), las cuales son aisladas y se producen ocasionalmente en ese mes, cuando el debilitamiento del flujo alisio permite el ingreso de la brisa de mar hasta el Valle Central; allí se forma un frente de brisa que produce precipitación por las tardes.

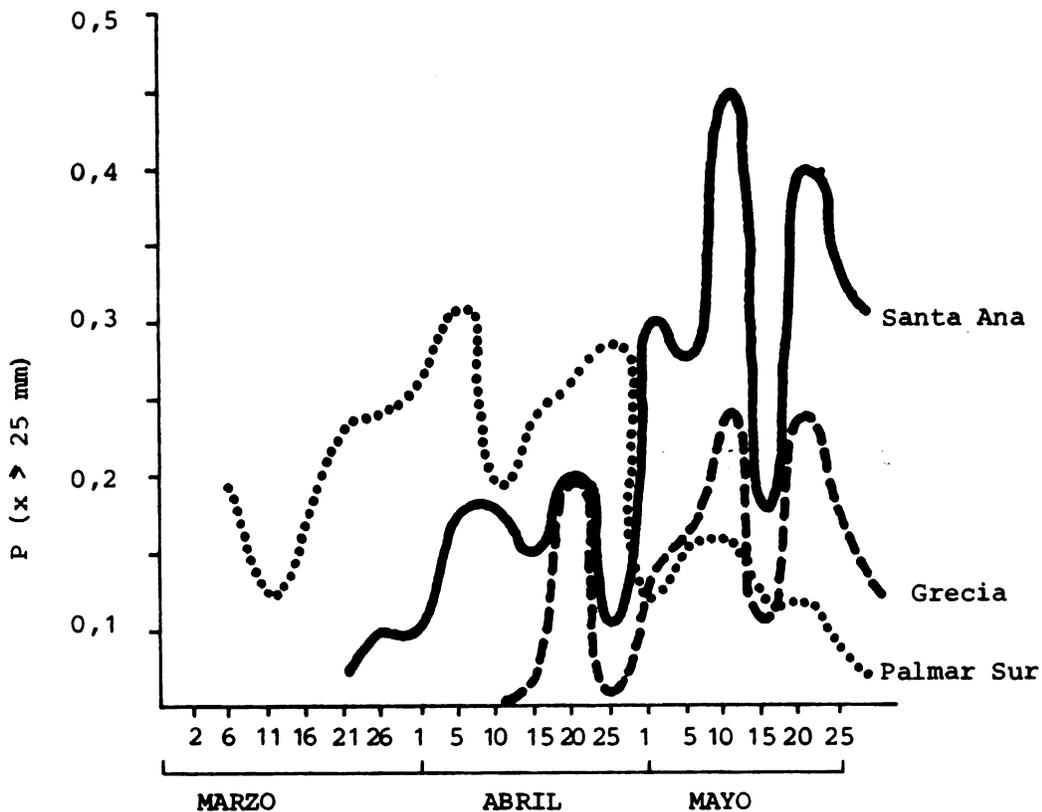


Figura 10. Probabilidad para una pentada con 25 mm o más, dado que en la pentada anterior cayeron menos de 25 mm en el Valle Central y el Pacífico Sur.

En el Pacífico Sur la situación es diferente. También en la Figura 9 se presenta la probabilidad empírica para 25 mm o más en 5 días en la estación de Palmar Sur, obtenida con 32 años de registro entre 1949 y 1982.

Se observa en la figura que la probabilidad de obtener 25 mm o más en cinco días, en esta región, aumenta rápidamente después del 5 de abril, sobrepasa el 50% después del 15 y el 80% después del 20 del mismo mes; es decir, abril aquí es un mes de transición rápida de la época seca a la lluviosa, lo que contrasta con el Valle Central donde esta transición sucede hasta los primeros días del mes de mayo.

La probabilidad condicional de tener una pentada lluviosa si la pentada anterior fue seca se presenta en la Figura 10. Se observa como la transición de época seca a lluviosa no es tan clara aquí como en el Pacífico Norte. Alrededor del 5 de abril se alcanza un valor del 25% que decae hasta menos de 15% cinco días después, para tener otro máximo relativo alrededor del 25 de abril.

La presencia de brisa de mar combinada con los oestes ecuatoriales que se ven obligados a ascender por la cordillera, producen chaparrones aislados pero dan precipitaciones superiores a los 25 mm, lo que hace que en el Pacífico Sur el patrón de entrada de la época lluviosa no esté tan bien definido como en el Pacífico Norte.

Cabe hacer notar que tanto aquí como en el Valle Central y en el Pacífico Norte, los valores de la probabilidad condicional son muy bajos y si bien dan indicios del momento de inicio de la lluvia, la secuencia de pentada seca-Pentada lluviosa presenta gran incertidumbre.

Resumiendo puede decirse que las fechas más probables de inicio de las lluvias son entre el 15 y el 20 de mayo en la zona del Pacífico Norte, entre el 10 y el 20 de mayo en el Valle Central y alrededor del 15 de abril en la zona del Pacífico Sur.

Este resultado está de acuerdo con lo encontrado por Hidalgo (1981) quien considerando que la época lluviosa se había iniciado cuando llovieron más de 5 mm en un día y no hubo más de 5 días consecutivos secos, propuso como período más probable para el inicio de la temporada lluviosa, los comprendidos entre el 5 y el 25 de mayo para el Pacífico Norte, entre el 3 y el 19 de mayo para el Valle Central y entre el 6 y el 24 de abril para la zona sur.

El veranillo

En medio de la estación lluviosa se produce el fenómeno conocido como "Veranillo" que se caracteriza por una disminución relativa de la precipitación y un aumento relativo en la velocidad del viento alisio (del este) características que recuerdan la época seca.

La aparición de este período con menos precipitación y más viento del este está vinculada al desplazamiento estacional de la zona de Confluencia Intertropical (ZCIT) que es el fenómeno causante de la época lluviosa en Costa Rica. Usualmente, en los meses de julio y agosto la ZCIT con su campo de nubosidad asociado se desplaza temporalmente hacia el sur del país, lo que se manifiesta climáticamente en el veranillo (véase figura 4).

Normalmente las lluvias no desaparecen por más de cinco días consecutivos, aunque en algunos casos el período seco puede prolongarse algo más.

La Figura 11 muestra la lluvia promedio acumulada en cada cinco días entre el 1^a de junio y el 31 de agosto, en Santa Cruz y Grecia. Se observa en la figura como las lluvias pentadales son superiores a 25 mm prácticamente durante todos los tres meses. De manera que si para el veranillo se aplica el criterio de considerar período seco aquel que tenga menos de 25 mm en cinco días, no se encuentra ningún período de este tipo en los tres meses; si bien algunas veces el fenómeno se prolonga hasta por tres semanas, normalmente no es un período muy largo sin lluvias. La causa de esto es que la Confluencia Intertropical varía su posición casi diariamente, esos movimientos diarios la acercan al país algunos días, aún durante el período en que debería tener una posición más septentrional.

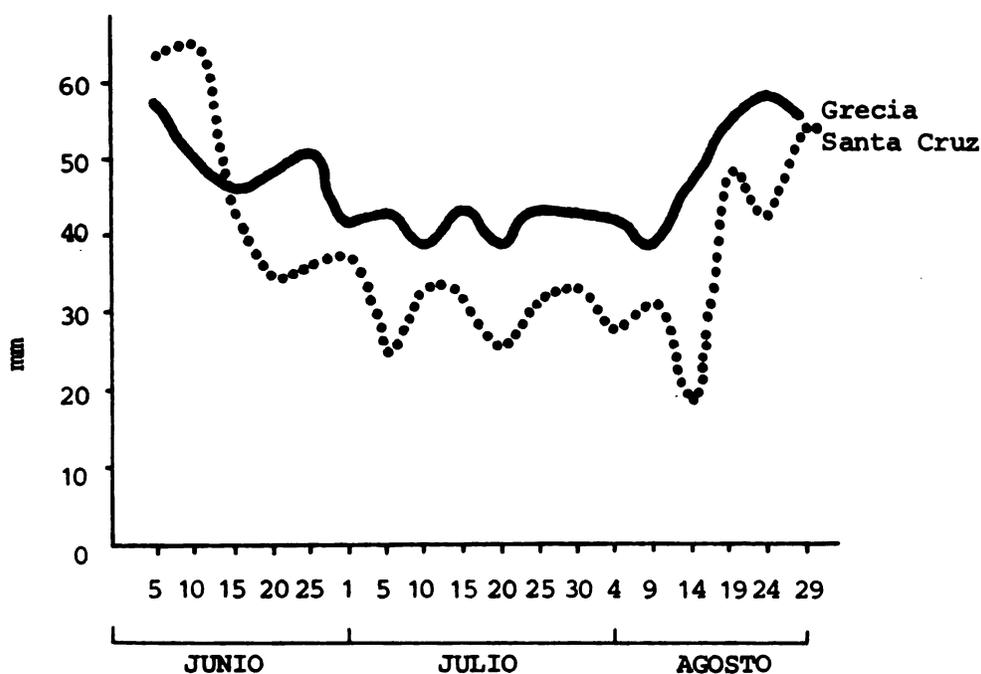


Figura 11. Lluvia promedio acumulada cada cinco días en Grecia y Santa Cruz.

Otra razón para que el veranillo no aparezca en los promedios pentadales es lo variable de su fecha de aparición que puede ser desde principios de junio hasta fines de agosto.

Para tratar de encontrar la fecha más probable de aparición del veranillo, se analizó la lluvia acumulada cada tres días entre el 16 de junio

y el 29 de agosto, durante los últimos 40 años, en las mismas 5 estaciones. Se consideró como un período seco aquel en el cual la precipitación de tres días no excedió las 10 mm. Se calculó la probabilidad de que dos y tres períodos de estos se presentaran consecutivamente. Los resultados preliminares indican que en el Valle Central y el Pacífico Norte, existen dos períodos en que es más probable que suceda esta disminución de lluvias: entre el 2 y el 8 de julio y entre el 12 y el 18 de agosto. Estas fechas son coincidentes con lo que la tradición popular llama la primera y la segunda canícula, idea muy arraigada en el agricultor costarricense.

En el Pacífico Sur se da una ligera disminución de la lluvia en el mes de julio, pero el criterio de menos de 10 mm de precipitación en tres días, no es adecuado como indicador del veranillo, pues las precipitaciones en esa zona son mayores en magnitud que las del Pacífico Norte y el Valle Central.

Con respecto a estos resultados cabe aclarar que, debido a que la fecha de aparición del veranillo varía de un año a otro, convendría analizar las lluvias acumuladas para un período más largo e incluir en el análisis otros parámetros, como el viento, para tener un criterio mejor con que definir el fenómeno.

Fin de la época lluviosa

Un análisis similar al que se hizo para determinar la entrada de la época lluviosa, se llevó a cabo para determinar la fecha más probable de salida de las lluvias, considerando como pentada seca aquella en que llovieron menos de 25 mm. La probabilidad empírica de tener una pentada seca se calculó para tres estaciones: Santa Cruz, Grecia y Palmar Sur. Las curvas de probabilidad empírica se presentan en la Figura 12. Es evidente en la figura que la disminución de las lluvias sucede primero en la zona del Pacífico Norte. La probabilidad de tener menos de 25 mm en una pentada sobrepasa el 50% a partir del 30 de octubre y crece rápidamente alcanzando valores superiores al 70% tan solo unos días después; ya para mediados de noviembre la probabilidad ha excedido el 90%.

En el Valle Central (Grecia) el cambio es más paulatino, la probabilidad de tener menos de 25 mm va aumentando y alcanza el 50% el 5 de noviembre y valores superiores al 70% a partir del 21 de noviembre. Después de esa fecha el cambio es mucho más rápido y solo cinco días después alcanza valores mayores del 90%, donde se mantiene.

En el Pacífico Sur, la salida de la época lluviosa es más tardía; el valor de 50% de probabilidad para menos de 25 mm en cinco días no se alcanza sino hasta fines de noviembre y valores superiores al 70% no se presentan sino hasta después del 10 de diciembre.

En la Figura 13 se presenta la probabilidad de tener dos períodos secos de cinco días consecutivos. Se muestra en la figura que esto es mucho más probable a partir del 15 de noviembre en Santa Cruz, del 20 de noviembre

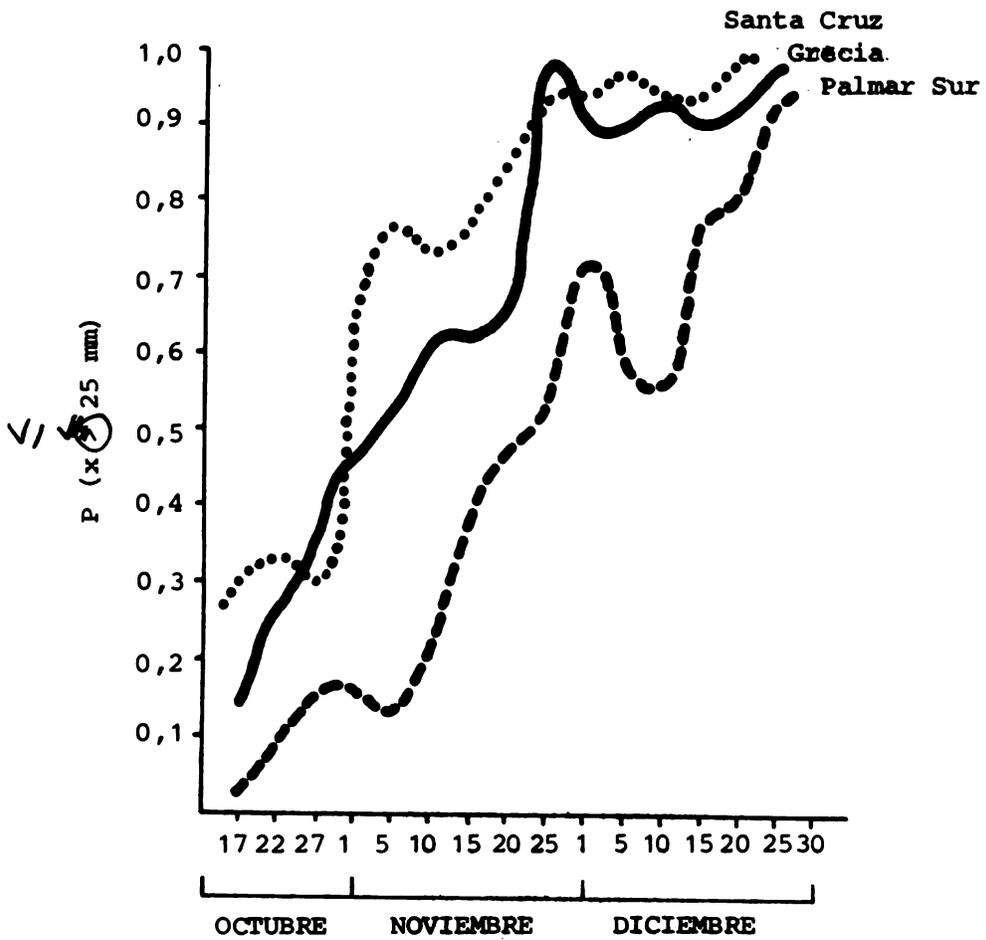


Figura 12. Fin de la época lluviosa. Probabilidad para una pentada con menos de 25 mm en tres estaciones de la Vertiente del Pacífico.

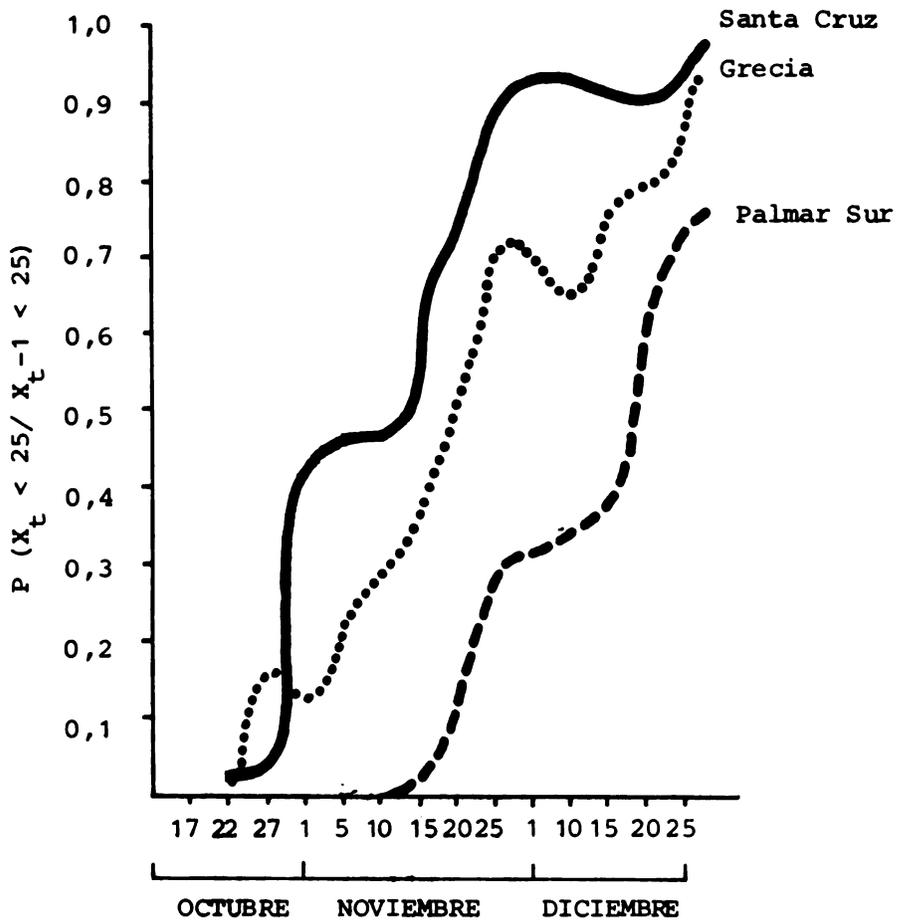


Figura 13. Probabilidad de dos pentadas secas consecutivas en los meses de octubre, noviembre y diciembre en tres estaciones de la Vertiente del Pacífico.

en el Valle Central y del 20 de diciembre en la zona sur. Quiere decir que mientras en el Pacífico Norte diciembre es un mes de época seca, en el sur es un mes de transición. La razón de esto podría ser que las situaciones invernales que causan lluvias en la Vertiente Atlántica, provocan un acercamiento fuera de época de la ZCIT.

CONCLUSIONES

La aparición de la época seca y su finalización es muy variable en Costa Rica, debido a la variabilidad de los sistemas atmosféricos que lo producen. Igualmente la aparición del "veranillo" en medio de la época lluviosa varía de un año a otro. Basado en las probabilidades empíricas para pentadas con 25 mm o más de precipitación se obtienen como fechas más probables de entrada y salida de las lluvias las siguientes:

	<u>Inicio</u>	<u>Fin</u>
Pacífico Norte	15 de mayo	15 de noviembre
Valle Central	10 de mayo	20 de noviembre
Pacífico Sur	15 de abril	20 de diciembre

El veranillo se presenta casi simultáneamente en el Valle Central y en el Pacífico Norte. Este fenómeno sucede con mayor probabilidad entre el 2 y el 8 de julio y entre el 12 y el 18 de agosto. Tanto su fecha de aparición como su duración son muy variables de un año a otro.

RECOMENDACIONES

Los cálculos de probabilidades en este trabajo se han hecho con solo los datos de siete estaciones, por lo que no se puede determinar exactamente la representatividad real de los resultados. Sería conveniente hacer cálculos semejantes con la información de un número mayor de estaciones dentro de cada región para delimitar mejor las zonas para la que es válida cada fecha.

Así mismo se recomienda tratar de afinar el criterio para definir período seco incluyendo algunos parámetros de cultivo, como podría ser la evapotranspiración potencial promedio o el uso consecutivo, para que los resultados sean más aplicables a la planificación de actividades agrícolas.

Finalmente se recomienda incluir en el análisis otros parámetros que como el viento, presentan un patrón muy diferente entre época seca y época lluviosa.

EFEECTO DE LOS FACTORES METEOROLOGICOS EN EL SUELO

Carlos Burgos, PhD*

El suelo deriva el calor enteramente del sol. La temperatura del suelo depende de la cantidad de calor recibido por la superficie, y del modo en que este calor se pierde.

La cantidad de energía radiante que llega al suelo depende de la posición del sol, de la opacidad de la atmósfera, del aspecto del terreno y de la cobertura de vegetación. La atmósfera absorbe casi todas las radiaciones ultravioleta, pero si el aire está seco y claro y el sol está alto, transmite la mayoría de los rayos visibles y caloríficos. El vapor de agua absorbe mucha de la radiación de longitud de onda larga, particularmente aquella de longitud de onda cercana a los 10 micrones. Las gotas de agua esparcen y absorben mucha de la radiación general y aún cuando el firmamento parece claro estas absorciones pueden ser apreciables cuando el sol está bajo en el cielo. El efecto de la topografía se debe a que una superficie en ángulo recto a los rayos del sol recibe más energía que un área igual inclinada en cualquier otra dirección. Por ello, en el hemisferio norte la ladera sur es más cálida que una ladera hacia el norte; esto es suficiente para producir diferencias marcadas en vegetación.

EL BALANCE CALORICO DEL SUELO

De la radiación que cae sobre un suelo o cultivo, una parte es absorbida y el resto se refleja. En un día soleado, un suelo húmedo y descubierta refleja de 7 a 10 por ciento de la energía incidente, un suelo descubierta y seco alrededor del doble y un cultivo cerca de tres veces esta cifra. La energía absorbida se convierte en calor y se disipa de tres maneras: parte evapora el agua, parte calienta el suelo y el aire y parte es irradiada de nuevo. La temperatura de la capa superficial de un suelo descubierta en un día claro sube rápidamente desde la salida del sol hasta el medio día y luego disminuye a la puesta del sol, siguiendo muy cerca la tasa de absorción de la radiación incidente. Después de la puesta del sol continúa la pérdida de calor a una tasa más lenta hasta la siguiente salida del sol. Esto se debe a que el suelo está irradiando calor al espacio. Si la atmósfera no absorbe este calor irradiado, la tasa de pérdida de calor del suelo sería proporcional a la cuarta potencia de su temperatura absoluta, y puesto que esta es de 280° a 300°K la longitud de onda a la cual la máxima cantidad de energía está siendo irradiada es de alrededor de 10 micrones. Pero esta es justamente la banda de longitud de onda que las moléculas de vapor de agua

* PhD, Especialista en Manejo de Cultivos.

absorben más fuerte; esta energía la irradian a la misma longitud de onda pero en todas las direcciones por igual. Así que, a un nivel dado en la atmósfera el vapor de agua refleja eficazmente de regreso a la tierra, la mitad de la radiación en esta longitud de onda. Si en la atmósfera hay una capa de aire húmedo, muy poco de la radiación que deja la superficie de la tierra pasará al espacio. No se han hecho todavía cálculos exactos sobre el efecto de las nubes y del vapor de agua de la atmósfera en esta pérdida, pero un autor ha demostrado que para una aproximación útil esta se reduce en un factor dado que vale $(0,56-0,092 \sqrt{e}) (1- 0,09 m)$, donde e es la presión de vapor de agua en el aire dada en milímetros de mercurio a 183 cm sobre la superficie del suelo; y $m/10$ es la fracción del firmamento cubierto con nubes. Así, las regiones desérticas están caracterizadas por grandes impactos de energía durante el día y grandes emisiones durante la noche con la consecuencia de que la variación diaria de la temperatura en la superficie de suelo es muy grande.

Las condiciones difieren en las regiones húmedas, porque éstas pueden recibir todavía grandes cantidades de energía radiante del sol—6.000°K en la superficie—de suerte que la longitud de onda a la cual está siendo radiada la cantidad máxima de energía corresponde aproximadamente a 0,5 micrones; pero la superficie del suelo no puede perder mucha energía durante la noche a causa del efecto protector del vapor de agua de la atmósfera. Es posible modificar, hasta cierto punto, la temperatura superficial del suelo mediante la alteración de su calor, pues con ello se altera la proporción de la radiación que se refleja. Así, la cantidad de energía reflejada aumenta cuando se blanquea la superficie, por ejemplo, extendiendo una delgada película de cal sobre ella, y disminuye cuando se ennegrece, por ejemplo con hollín; como resultado el suelo se enfriará con el primer procedimiento y aumentará de temperatura con el segundo.

Otro método para aumentar la temperatura del suelo, muchas veces deseable en zonas templadas, es mejorar su drenaje para disminuir así la cantidad de agua que tiene que ser evaporada antes que el contenido de aire del suelo superficial se haga apreciable.

INFLUENCIA DE LA VEGETACION SOBRE LAS TEMPERATURAS DEL SUELO

El efecto fundamental de un cultivo, o de los deshechos de un cultivo sobre la temperatura superficial de un suelo es reducir la fluctuación diaria y la estacional.

La vegetación y los mantillos reducen las fluctuaciones de la temperatura del suelo superficial; entre más gruesa es la vegetación más pequeñas son estas fluctuaciones. La capacidad de la vegetación para reducir las variaciones de la temperatura del suelo, particularmente para disminuir su temperatura máxima diaria, se utiliza en la práctica en los trópicos para proteger los cultivos de raíces superficiales, como cacao y café. Plantando entre los cultivos árboles de sombra altos y de raíces profundas, se protegen los cultivos contra las temperaturas elevadas que se presentan durante la estación seca.

VARIACION DE LA TEMPERATURA DEL SUELO CON LA PROFUNDIDAD

La fluctuación diaria de temperatura en la superficie del suelo determina la penetración de una onda en su interior. La onda es amortiguada y se hace pequeña a profundidades mayores de 30 centímetros; a medida que penetra se retrasa en el día el momento en que alcanza el valor máximo. La conductividad térmica del suelo gobierna la velocidad de amortiguación; cuanto menor es la conductividad más pequeña es la variación diurna a una profundidad dada.

PROPIEDADES TERMICAS DE LOS SUELOS

El calor específico de una sustancia es la cantidad de calor requerida para subir la temperatura de un grmo de la sustancia en un °C. El calor específico de todos los suelos minerales difiere muy poco. En promedio este valor está entre 0,18 y 0,20 cal/g °C. El humus tiene un calor específico mucho más alto aproximadamente 0,45 cal/g °C.

La capacidad de calor de una sustancia es la cantidad de calor requerida para aumentar la temperatura de un centímetro cúbico en un grado centígrado y por esto se le llama el calor específico volumétrico. La mayoría de los suelos tienen una capacidad de calor que varía de 0,3 a 0,6 cal/cm³ °C. El humus tiene una capacidad de calor menor que los suelos minerales, debido a la menor densidad de aquellos. En el campo, sin embargo, los suelos orgánicos y de textura fina, debido a su mayor capacidad de retención de agua, tienen una capacidad de calor que los suelos de textura gruesa.

La tasa de flujo del calor en el suelo es determinada por su gradiente de temperatura y por su conductividad térmica. La conductividad térmica de una sustancia se define como: la cantidad de calor por unidad de tiempo, que fluye a través de una unidad de área de una placa con una unidad de espesor, cuando una diferencia de unidad de temperatura es mantenida entre las dos caras opuestas.

Si otras condiciones son iguales, entre mayor es la conductividad térmica del suelo, menor es la variación de la temperatura de la superficie y mayor es su papel como almacén de calor. La conductividad térmica de un suelo está determinada por su porosidad, humedad y contenido de materia orgánica. Para un contenido de humedad dado la conductividad térmica disminuye a medida que aumenta la porosidad. En el campo, los suelos de textura fina tienen ordinariamente, mayor contenido de agua lo cual aumenta la conductividad térmica del suelo. La materia orgánica no transfiere el calor tan rápido como un suelo mineral. Algunas mediciones indican que la conductividad térmica de un suelo seco arenoso fino es de 0,00046 cal/cm sec °C en comparación con 0,00027 para un humus fino.

El cociente de conductividad térmica y capacidad de calor es un índice de la facilidad con la cual una sustancia experimentará un cambio en la temperatura. Este cociente es conocido como difusividad térmica. La difusividad térmica máxima es alcanzada a contenidos de humedad de 15, 12 y 22 por

ciento, para suelo arenoso, franco arenoso y turba, respectivamente.

Se ha sugerido que en las zonas templadas el valor promedio para la difusividad de suelos en regiones templadas y húmedas puede tomarse como 0,004 centímetros cuadrados por segundo.

EFFECTO DE LA TEMPERATURA SOBRE LOS PROCESOS DEL SUELO

Los principales procesos del suelo sobre los cuales influye la temperatura son: evaporación del agua del suelo; producción de materia orgánica; intemperización física de las rocas; intemperización química de los minerales de rocas primarias por hidrólisis; esterilización del suelo; volatilización de sales de amonio (fertilizantes); destrucción de residuos orgánicos por quemas y mejoramiento por la congelación del suelo. De estos procesos se discutirán dos de ellos: la producción de materia orgánica nitrogenada del suelo y la meteorización química de minerales de rocas primarias por hidrólisis.

Producción de materia orgánica

Un concepto equivocado sobre los suelos de los trópicos es que todos los contenidos de nitrógeno y materia orgánica son bajos. Originalmente, Jenny (1930) formuló la siguiente hipótesis: "el contenido de materia orgánica nitrogenada disminuye a medida que la temperatura aumenta, si la precipitación permanece constante. Si la precipitación es constante la materia orgánica se duplica por 10°C de disminución de la temperatura promedio anual". Más tarde se propuso que el concepto formulado por Jenny se limitase a las zonas templadas.

Los contenidos altos de materia orgánica del suelo en los trópicos corresponden a zonas de alta precipitación sin una estación seca marcada y a regiones elevadas con temperaturas frescas. Valores altos en el hemisferio occidental han sido informados para Hawaii, Belize, Costa Rica y Puerto Rico. Unos pocos estudios en los cuales valores muy bajos han sido informados para los trópicos fueron de áreas con precipitaciones inferiores a 2000 mm o con varios meses muy secos durante el año (Africa especialmente).

Las relaciones entre la materia orgánica del suelo, el clima y la altitud han sido muy estudiadas para muchas áreas del trópico; los niveles generales de materia orgánica encontrados fueron más altos de los que se esperaban de acuerdo a estudios similares de las zonas templadas. La materia orgánica aumentó a medida que la lluvia aumentó si la temperatura permaneció constante. El cociente entre la precipitación promedio anual y la temperatura media anual ha sido relacionada con el contenido de materia orgánica para suelos de Colombia y el siguiente cuadro ha sido propuesto:

mm/°C precipit./temp.	Clima	% Mat. Org.
<	Arido	1
40 - 60	Semi-árido	2
60 - 100	Semi-húmedo	3 - 5
100 - 160	Húmedo	5 - 10
> 160	Muy húmedo	10 - 23

Se ha establecido una relación exponencial entre el contenido de nitrógeno y la temperatura promedio anual entre 10 y 30 °C, dentro de bandas de humedad constante. Se han considerado dos regímenes de precipitación: de 900 a 1500 mm y de 1500 a 2000 mm. Las ecuaciones son:

Precipitación 900 - 1500 mm: $\text{Log (100 N)} = 2,797 - 0,061T$

Precipitación 1500 - 2000 mm: $\text{Log (100 N)} = 2,756 - 0,057T$

La temperatura a la cual la tasa de descomposición de los residuos de bosque sucede más rápido, difiere de aquella para la tasa máxima de acumulación, si se supone un suministro constante y adecuado de humedad y aire. La formación de residuos es aumentada por un crecimiento exuberante de la vegetación. Esta depende de temperaturas altas, luz solar fuerte y agua abundante. La temperatura óptima para la producción de residuos está entre 20° y 28°C. La descomposición orgánica ocurre más rápidamente entre 30° y 40°C. Los gráficos de temperatura y acumulación de materia orgánica y de descomposición orgánica se cruzan a 25°C. A temperaturas por arriba de 25°C la tasa de descomposición de residuos vegetales del bosque excede la tasa de su acumulación y vice-versa. Esta regla no se aplica a suelos anegados en los cuales predominan condiciones anaeróbicas. Cerca del ecuador la temperatura crítica de Mohr corresponde a una temperatura altitudinal de 1000 metros.

Intemperización química de los minerales de rocas primarias

La mayoría de las rocas constan de silicatos de bases, por ejemplo, feldespato. Ellos son susceptibles a la hidrólisis para formar ácido aluminosilicioso insoluble como la caolinita, e hidróxidos alcalinos que rápidamente se convierten en carbonatos y bicarbonatos alcalinos solubles. También se produce silico o ácido silícico. Los productos solubles se lixivian rápidamente en condiciones de alta precipitación y queda la caolinita como depósito residual. Los silicatos de hierro y magnesio (hornblenda, augita y olivino) producen por hidrólisis óxido férrico hidratado insoluble como residuo y liberan bicarbonato de calcio y magnesio como productos solubles. El óxido férrico da a los residuos de arcilla coloraciones roja, parda o amarilla según su grado de hidratación.

Según la ley de Van t'Hoff, la velocidad de descomposición por hidrólisis de los minerales de las rocas aumenta exponencialmente con la temperatura. Así, la velocidad de formación de arcilla debería ser entre dos y tres veces mayor a 30°C que a 20°C, y de cuatro a nueve veces mayor que a 10°C. En los trópicos la descomposición mineral y la formación de arcilla produce masas gruesas de material originario del suelo en el mismo tiempo que unos pocos centímetros de residuos arcillosos se acumulan en zonas templadas.

Cuando se compara la composición de la arcilla de lugares con regímenes de humedad similares pero con temperaturas medias diferentes se puede establecer que las arcillas del sur poseen relaciones sílica a alumina inferiores en comparación con las arcillas del norte, o sea, que las arcillas del sur de norteamérica son menos sílicas y contienen mayor proporción de aluminio y posiblemente, de hierro. La diferencia en la composición y tipo de arcilla distingue a los suelos de los trópicos de aquellas regiones templadas.

EL AGUA EN EL SUELO

El agua es retenida en los suelos de dos maneras: en los intersticios o capilares que existen entre las partículas sólidas y por adsorción sobre las superficies sólidas de las partículas de arcilla y materia orgánica.

Una partícula de arcilla sumergida en agua afecta las propiedades de las que le rodean. Una de las propiedades afectadas es la energía total del sistema; cuando se moja arcilla seca se libera energía. La reducción de la energía total puede demostrarse de muchas maneras. Cuando la arcilla seca es sumergida en agua la energía liberada aparece como calor; el calor emitido por gramo de suelo seco se llama calor de humedecimiento.

Los suelos y las arcillas pueden afectar las propiedades del agua en dos formas. Si la arcilla es sumergida en agua su efecto en esta se debe únicamente a las propiedades de su superficie. Si la arcilla o el suelo contiene una cantidad pequeña de agua entre sus partículas, de tal manera que hay superficies de contacto entre el agua líquida y la atmósfera, estas superficies serán muy curvas y afectarán directamente la energía libre del agua líquida. Estos efectos se conocen como fenómenos capilares y son debidos a la geometría del sistema y no a las propiedades de las partículas sólidas. Los fenómenos capilares son de fundamental importancia cuando se considera el movimiento de agua en el suelo.

Una partícula de arcilla en el agua afecta las moléculas de ésta mediante iones intercambiables que se hallan sobre la superficie o están próximos a ella. Si el agua no tiene electrólitos o los contiene en concentraciones bajas, una proporción de los iones de cambio se disocian de la superficie del suelo y se mueven en el agua, pero la mayoría no se separa mucho de la superficie. Los iones forman lo que se conoce como una doble capa difusa: doble capa porque la superficie de la arcilla porta una carga neta negativa y el agua una carga neta positiva, y difusa porque la carga neta

positiva se distribuye por todo un volumen en vez de una superficie. Cuatro propiedades de esta doble capa son el grosor, la diferencia de potencial eléctrico, la proporción de cationes de cambio que se disocian para formar la doble capa y que la concentración de aniones añadidos es menor que en la solución.

Estados de humedad del suelo

Los cuatro principales grados de humedad del suelo (constantes de humedad) son:

1. Humedad de saturación (condición de anegamiento).
2. Humedad capilar (índice de textura, equivalente de humedad, capacidad de campo).
3. Humedad no capilar (saturación menos capilar).
4. Humedad en el coeficiente de marchitamiento (límite inferior de agua extraíble).

La experiencia ha demostrado que las plantas no pueden desarrollar un buen sistema radical a menos que el espacio poroso no capilar, con buen drenaje del suelo saturado y penetración de aire, sea mayor al 10% del volumen total del suelo. Suelos de espacio poroso no capilar menor al 10% no poseen suficiente espacio radical, y sus poros son generalmente demasiado pequeños para permitir la entrada de raíces. Pero la razón mayor es que el abastecimiento de aire es inadecuado para la respiración de las raíces.

La determinación de la humedad puede hacerse por cualquiera de los métodos siguientes:

- 1) Gravimétrico, 2) bloques absorbentes, 3) tensiómetro y 4) sonda de neutrones.

El agua disponible en el suelo es igual al agua capilar menos el agua en el coeficiente de marchitamiento.

Las plantas no pueden utilizar el agua disponible, a menos que el suelo esté convenientemente aireado de modo que las raíces puedan realizar sus funciones en forma adecuada. El agua de un suelo húmedo se vuelve utilizable cuando aproximadamente el 10% del volumen total del suelo está ocupado por aire. Por debajo de este valor, el agua está libre y disponible hasta que todos los espacios porosos no capilares estuvieren desprovistos de agua. A menores contenidos de este estado, cerca del 40% del agua remanente retenida en los poros capilares está disponible hasta que se llega al coeficiente de marchitamiento por debajo del cual cesa la absorción de agua por las raíces de muchos cultivos.

La infiltración del agua en la superficie del suelo depende de la calidad de éste. La infiltración está determinada por la estructura del suelo, su estabilidad y humedecimiento, lo cual controla la velocidad a la que el agua penetra en él (riego o lluvia).

La percolación se refiere a la penetración del agua en los horizontes inferiores después de haberse infiltrado en la superficie.

Precipitación

Los principales agentes que suministran agua al suelo son la precipitación, el agua subterránea, el rocío y el riego. La precipitación o lluvia proviene del enfriamiento del aire saturado con vapor de agua. La principal fuente de lluvia en América Tropical son las masas de aire húmedo que avanzan hacia el sur y que provienen de las regiones árticas y de los océanos.

El aire húmedo debe ascender para enfriarse y llegar al punto de saturación. La causa principal del ascenso son las montañas que obstruyen el movimiento del aire y actúan como cuñas que fuerzan al aire húmedo a subir. Las masas de aire en movimiento más densas, secas y frías, también actúan como cuñas.

Las lluvias muestran una periodicidad característica. Cerca del ecuador se alternan dos estaciones lluviosas durante el año con dos estaciones menos húmedas; las estaciones secas son casi imperceptibles. Entre las latitudes 5° y 12°, las dos estaciones lluviosas se confunden y hacen que una estación seca sea más pronunciada y de mayor duración y que otra sea más corta. Entre las latitudes 12° y 16°, se presenta solo una estación húmeda y una estación seca prolongada. Cuanto más se aleja del ecuador más prolongada es la estación seca.

Para propósitos ecológicos, es necesaria la información sobre intensidad de lluvias para poder apreciar el peligro de exposición de la estructura del suelo a su incidencia directa; esta estructura es destruida sobre todo si las lluvias son frecuentes y prolongadas. Una clasificación arbitraria pero que parece tener algún significado ecológico es la siguiente: 1) lluvia torrencial, con intensidad mayor a 19 mm por hora; 2) lluvia mediana, con intensidades de 19 a 10 mm por hora; 3) lluvia ligera, con intensidades de 10 a 0,00 mm por hora.

La lluvia torrencial discurre en su mayoría por la superficie del suelo, y la lluvia ligera generalmente humedece las hojas de las plantas (intercepción) y se evapora sin llegar al suelo. Por esto, la lluvia mediana tiene mayor importancia ecológica, pues es absorbida por el suelo; en su mayoría es utilizada por las plantas o almacenada en el perfil de suelo, o bien se escapa interiormente por el drenaje profundo, lo que causa lavado.

La lluvia que cae sobre un área de tierra se mueve de diferentes maneras. Se debe distinguir entre suelo descubierto y suelo cubierto por vegetación, que puede ser bosque, chaparral o monte bajo, o pastizal.

Suelo descubierto	Suelo con cobertura
1. -	Interpretación por el follaje
2. Infiltración	Infiltración
3. Escurrimiento por el suelo	Escurrimiento por el suelo
4. Percolación	Percolación
5. Almacenamiento en el perfil	Almacenamiento en el perfil
6. Evaporación	Evaporación de las hojas humedecidas
7. -	Evaporación del suelo
8. -	Transpiración por las hojas

Evapotranspiración

La cantidad de evaporación tanto de la superficie de un suelo descubierto, como de la superficie de un cultivo, está principalmente determinada por la cantidad de energía solar radiante que llega a la tierra por unidad de tiempo en una unidad de área. La intensidad de evapotranspiración potencial se define como la cantidad máxima de agua evaporada por unidad de área de terreno en la unidad de tiempo, de una superficie de suelo completamente cubierta de pasto mantenido bajo frecuente corte, cuando el suministro de agua es ilimitado.

La magnitud de la evapotranspiración potencial depende principalmente del clima.

La evapotranspiración potencial puede determinarse con base en datos meteorológicos.

Regímenes de humedad del suelo

Convencionalmente se piensa en tres regímenes de humedad.

1. En el cual el suelo está saturado.
2. En el que la cantidad de agua es suficiente para causar lavado.
3. En el cual no ocurre lavado.

En el régimen de lavado algo del agua se mueve por el perfil durante un tiempo del año y desciende al substrato húmedo. En el régimen de no lavado, el agua se mueve en el suelo pero es retenida por evapotranspiración, y deja los carbonatos y otras sales solubles precipitadas. Entre estos dos regímenes existe otro posible en el cual hay alteración de año a año; en algunos años hay lavado. Para explicar las pérdidas de materiales solubles o su acumulación en horizontes Ca, Cs o Sa, estos conceptos son adecuados; pero para

el entendimiento de procesos biológicos dejan mucho que desear. El suelo puede estar sometido al lavado en el invierno cuando es muy frío para la actividad biológica óptima y puede estar muy seco la mayor parte del verano para la actividad biológica significativa. El resultado sería una relación carbono-nitrógeno relativamente amplia.

El término "régimen de humedad", como lo propone la Taxonomía de Suelos del Servicio de Conservación de Suelos del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos, se refiere a la presencia o ausencia de agua en el suelo o al agua retenida a una tensión de 15 bares en el suelo o en horizontes específicos por períodos del año. El agua retenida a una tensión de 15 bares o más, no está disponible para la mayoría de las plantas mesofitas. La disponibilidad de agua también es afectada por las sales disueltas. Un suelo puede estar saturado con agua muy salada para ser disponible para la mayoría de las plantas, pero parece mejor llamar a ese suelo salino y no seco. Por esto, consideramos que un horizonte es seco cuando la tensión de la humedad es de 15 bares o más. Si el agua está retenida a tensiones menores de 15 bares pero mayores que cero consideramos que el horizonte está húmedo.

Un suelo puede estar húmedo continuamente en algunos o en todos sus horizontes durante el año o en parte de él. Puede estar húmedo en invierno y seco en verano o a la inversa. En el hemisferio norte, el verano se refiere a los meses de junio, julio y agosto, e invierno significa diciembre, enero y febrero. Un suelo u horizonte se considera que está saturado con agua, cuando ésta se acumula en un agujero lo suficientemente cercano a la superficie o al horizonte en cuestión de tal manera que la ascensión capilar alcanza la superficie o la parte superior del horizonte.

El régimen de humedad es una propiedad importante del suelo como también una determinante de los procesos que ocurren en él. Durante el tiempo geológico han habido cambios significantes del clima. Suelos que pudieron haberse formado solamente en climas húmedos están en algunos lugares preservados en climas áridos. Estos suelos tienen vestigios de características que reflejan su régimen de humedad anterior y otras características que reflejan el presente.

El régimen de humedad es solamente una función parcial del clima. La mayoría de los suelos profundos y permeables bajo precipitación alta y bien distribuida tienen agua que está disponible para las plantas la mayor parte del tiempo. Pero suelos en un clima árido no son necesariamente secos. Cada uno de los regímenes de humedad en la historia del suelo son un factor en la génesis de aquel suelo y la causa de muchas características accesorias. La mayoría de estas, sin embargo, y las más importantes para hacer interpretaciones, están asociadas con el régimen de humedad presente, aunque algunos de los regímenes anteriores fueron muy diferentes al actual.

La mayoría de los suelos que tienen un clima común tienen muchas características accesorias comunes. Estas incluyen: cantidad, naturaleza y distribución de materia orgánica, el estado de las bases del suelo y la presencia o ausencia de sales,

Aunque hay bastante conocimiento común acerca de las variaciones de humedad en los suelos a través del tiempo, hay muy pocos registros por tiempo largo y aún menos registros que pueden ser relacionados al concepto de energía de humedad de suelo. La gente que trabaja el suelo sabe como la humedad cambia con las estaciones, pero su conocimiento es más que todo cualitativo. Se han diseñado varios métodos que relacionan la humedad del suelo a datos meteorológicos. Todos estos hasta la fecha, tienen sus inconvenientes aún para los suelos de pendientes suaves onduladas los cuales dependen de la precipitación para obtener su humedad. Un modelo de aumento y disminución ha sido desarrollado y probado para observaciones limitadas de humedad del suelo hechas por 20 años en las praderas de los Estados Unidos. La correlación entre la humedad observada y la calculada en la sección de control de humedad es 0,8. Este modelo usa la precipitación mensual y los registros de temperatura. El modelo supone que la mitad de la precipitación mensual real viene en una sola tormenta y entra en el suelo el día 15 del mes. Esta mitad de la humedad disminuye bajo la suposición que la cantidad de evapotranspiración potencial requerida para remover una unidad de agua es inversamente proporcional a la cantidad de agua disponible que permanece en el suelo. Es decir, que entre más seco es el suelo, mayor es la energía requerida para extraer una unidad de agua. Se supone que la otra mitad del agua viene en lluvias pequeñas y disminuye a la tasa completa de evapotranspiración potencial.

Sección de control de humedad del suelo

La intención de definir la sección de control de humedad de suelo es facilitar la estimación de regímenes de humedad a partir de datos climáticos. La frontera superior de esta sección de control es la profundidad a la cual un suelo seco (tensión mayor de 15 bares pero no secado al aire) será humedecido por 2,5 cm de agua en un período de 24 horas. La frontera inferior es la profundidad a la cual un suelo seco será humedecido por 1,5 cm de agua en 48 horas. Estas profundidades excluyen las profundidades de humedecimiento por rajaduras y por canales que los animales abren a la superficie. Una guía muy cruda de los límites de la sección de control de humedad es la siguiente: 10 a 30 cm para suelos de textura franco-fino, limoso-grueso, limoso fino o arcilloso. La sección de control se extiende aproximadamente de 20 a 60 cm si el tamaño de la partícula es franco-grueso, y de 30 a 90 cm si el tamaño de partículas es arenoso. Fragmentos más gruesos profundizan estos límites al grado de que los fragmentos no absorben y liberan agua. Además de la clase de tamaño de partículas, las diferencias en estructura, distribución de tamaño de poros y otros factores que influyen en el movimiento y retención de agua en el suelo, también afectan los límites de la sección de control de humedad.

Regímenes de humedad del suelo

Los regímenes de humedad son definidos en términos del nivel del agua en el suelo y en términos de la presencia o ausencia de agua retenida a una tensión menor de 15 bares, en la sección de control de humedad, por períodos del año. En las definiciones se supone que el suelo sostiene la vegetación

que es capaz de mantener. En otras palabras el suelo está en cultivo, pastos, o vegetación natural; no se deja en barbecho para aumentar la cantidad de humedad almacenada y tampoco es regada por el hombre.

Régimen Aquic. Esta clase implica un régimen reductor en el cual no hay oxígeno disuelto porque el suelo está saturado por agua del suelo o por el agua de ascensión capilar. Un régimen aquic debe ser reductor.

El suelo se considera saturado si el agua se acumula en un agujero sin revestimiento a tal profundidad que la ascensión capilar llega a la superficie excepto en los poros no capilares. El agua en el agujero permanece estancada y coloreada si se tiñe con una tinta. En un suelo arenoso el espesor de la ascensión capilar puede ser solamente de 10 a 15 cm. En un suelo franco o arcilloso que no se encoge o expande apreciablemente, el espesor puede ser de 30 cm o más dependiendo de la distribución del tamaño de los poros.

Régimen Aridic y Torric. Estos términos se usan para el mismo régimen de humedad pero en diferentes categorías de la taxonomía. En el régimen aridic (torric) la humedad de la sección de control en la mayoría de las áreas es: 1) seca en todas las partes por la mayoría del tiempo (acumulativo) cuando la temperatura del suelo a una profundidad de 50 cm es mayor de 5°C y 2) nunca está húmedo en alguna o todas las partes hasta por 90 días consecutivos cuando la temperatura del suelo a una profundidad de 50 cm está por arriba de 8°C.

Los suelos que tienen un régimen aridic o torric están normalmente en climas áridos.

Régimen de humedad Udic. Este régimen implica que en la mayoría de los años la sección de control de humedad no está seca en ninguna de sus partes por un período tan prolongado como 90 días acumulativos. Si la temperatura promedio del suelo es menor que 22°C y si las temperaturas medias de invierno y verano a una profundidad de 50 cm difieren por 5°C ó más, la sección de control de humedad no es seca en todas sus partes por 45 días consecutivos en los 4 meses que siguen al solsticio de verano en 6 o más años de cada diez. Además, el régimen Udic requiere, excepto por períodos cortos, un sistema de tres fases, sólido-líquido-gas, en parte, pero no necesariamente en todo el suelo cuando la temperatura del suelo es mayor de 5°C. Estos suelos son comunes en climas húmedos con lluvia bien distribuida o con suficiente lluvia en el verano de tal manera que la cantidad de humedad almacenada más la precipitación es aproximadamente igual o excede la cantidad de evapotranspiración. El agua se mueve hacia abajo en el perfil, en algún tiempo en la mayoría de los años. Si la precipitación excede la evapotranspiración en todos los meses de la mayoría de los años, hay períodos breves cuando algo de la humedad almacenada es utilizada, pero la tensión de humedad raras veces alcanza valores de 1 bar en la sección de control de humedad.

Régimen de humedad Ustic. Estos suelos son aquellos de humedad limitada

pero que está presente cuando es necesitada para el crecimiento de las plantas.

Si la temperatura media anual es 22°C o mayor o si las temperaturas promedio de verano e invierno difieren por menos de 5°C a una profundidad de 50 cm, la sección de control de humedad es seca en alguna o todas las partes por 90 o más días acumulativos en la mayoría de los años. Pero la sección de control de humedad es húmeda en alguna parte por más de 180 días acumulativos, o es continuamente húmeda en alguna parte en por lo menos 90 días consecutivos.

Si la temperatura media anual es menor que 22°C y si la temperatura media de verano e invierno difiere por 5°C o más a una profundidad de 50 cm, la sección de control de humedad en el régimen Ustic es seca en algunas o todas las partes por 90 días o más días acumulativos en la mayoría de los años. Pero no es seca en todas las partes por más que el medio tiempo que la temperatura del suelo es más alta que 5°C a una profundidad de 50 cm (régimen aridic y torrid). Tampoco es seca en todas las partes por lo menos durante 45 días consecutivos en los 4 meses que siguen el solsticio de verano en 6 o más años de diez, si la sección de control de humedad está húmeda en todas las partes por 45 o más días consecutivos en los 4 meses que siguen al solsticio de invierno en 6 o más años de diez (régimen Xeric).

En regiones tropicales y subtropicales que tienen ya sea una o dos estaciones secas, verano e invierno tienen poco significado. En esas regiones, el régimen Ustic es aquel tipificado en un clima monzónico que tiene por lo menos una estación seca de 3 meses o más.

Régimen de humedad Xeric. Este régimen es aquel tipificado en climas mediterráneos donde los inviernos son húmedos y frescos y los veranos son cálidos y secos. La humedad que ocurre en invierno cuando la evapotranspiración potencial llega a un mínimo, es particularmente efectiva para el lavado. En un régimen Xeric, la sección de control de humedad es seca en todas sus partes por 45 o más días consecutivos dentro de los 4 meses que siguen al solsticio de verano en 6 o más años de diez. La sección de control es húmeda en todas sus partes por 45 o más días consecutivos dentro de los 4 meses que siguen al solsticio de invierno en 6 o más años de diez. La sección es húmeda en alguna parte más que la mitad del tiempo, acumulativo en que la temperatura del suelo a la profundidad de 50 cm es más alta que 5°C en 6 o más años de 10; la sección es húmeda en alguna de sus partes por lo menos durante 90 días consecutivos cuando la temperatura del suelo a una profundidad de 50 cm es continuamente más alta que 8°C. Además, la temperatura promedio anual del suelo es menor que 22°C y la temperatura promedio en verano e invierno difieren por 5°C o más a una profundidad de 50 cm o a un contacto lithic o paralithic cualquiera que sea el menos profundo.

BIBLIOGRAFIA CITADA

1. CHANG, JEN-HU. Climate and agriculture. Aldine Publishing Co. 1968, 296 p.
2. HARDY, F. Edafología Tropical. México, Herrero Hermanos, Sucesores, S.A. 1970. 416 p.
3. RUSSELL, W. W. Soil conditions and plant growth. New York, Wiley, 1961. 687 p.
4. STAFF SOIL SURVEY. Soil taxonomy USDA, S.C.S., Agr. Hand book 436.

**EFFECTO DE LOS FACTORES METEOROLOGICOS SOBRE
LA FISIOLÓGIA DE LAS PLANTAS**

Oscar Arias Moreira*

INTRODUCCION

El propósito de esta charla es el de dar un repaso sobre los mecanismos básicos e interacciones dentro del sistema plantas—medio ambiente y de presentar ejemplos dentro de este campo.

Los factores del medio ambiente que más afectan la fisiología de la planta son el agua, la radiación solar, la temperatura y los nutrientes del suelo.

Por razones de la naturaleza del curso sobre Agroambiente, limitaremos la exposición a los efectos del agua, la luz y la temperatura.

EL AGUA

Papel del agua en el crecimiento y desarrollo de la planta

La cantidad de agua disponible para las plantas depende de dos factores: los factores meteorológicos, o sea el balance entre lluvia y evaporación, y los factores del suelo como son, contenido hídrico, potencial hídrico y conductividad.

En la mayoría del área tropical la distribución de lluvias durante el año es mucho más variable que la evaporación, debido a que los cambios en el contenido hídrico del suelo están determinados por las tasas de precipitación.

Todos los libros de fisiología vegetal afirman que los procesos metabólicos de las plantas verdes dependen de la disponibilidad de agua, y que una disminución de la disponibilidad de ella conduce al cese del crecimiento del vegetal.

Algunos fisiólogos vegetales se han interesado en la anatomía de los tejidos conductores de agua y la dinámica del movimiento de ésta, analizada en términos de energía libre potencial y resistencia hidráulica. Sin embargo, no está claro aún como la energía libre del agua en las hojas pueda

* Fitofisiólogo, Escuela de Fitotecnia, Universidad de Costa Rica.

participar en el control de los fenómenos de fotosíntesis, elongación y diferenciación.

Una merma insignificante del aporte de agua a la planta del orden de unos cuantos bares es suficiente para disminuir o detener la división celular y la expansión (Hsaio et al 1976).

Cuando una planta se expone a un déficit hídrico creciente producido por ausencia o irrigación, lo primero que se afecta es la diferenciación de nuevos órganos y la expansión de los ya formados (Figura 1).

Si el déficit hídrico continúa, se reduce la tasa de fotosíntesis por una combinación de cierre de estomas y del aumento de la resistencia en el mesófilo, y una disminución de la eficiencia del sistema fotosintético Slatyer (1969).

Papel del agua en la fotosíntesis

El agua, lo mismo que el CO_2 , se emplea en el proceso fotosintético como material imprescindible para la síntesis; allí se utiliza en una cantidad mínima, de poca importancia como factor limitante. Pero el agua si es necesaria para el mantenimiento de la humedad del citoplasma. De él depende de un modo decisivo el desarrollo de los procesos metabólicos celulares. El contenido de agua influye muy especialmente en el intercambio de CO_2 a través de la turgencia que regula la abertura de los estomas.

En las plantas inferiores, el grado de hidratación del protoplasma se iguala a la humedad del medio. Estas plantas quedan rápidamente saturadas de agua cuando se humedecen, pero también la pierden rápidamente por evaporación, por lo que el contenido de humedad se encuentra en equilibrio con la humedad del aire. A medida que aumenta la sequedad disminuye la actividad fotosintética y se reprime la respiración.

El límite de sequedad del aire para la fotosíntesis neta se encuentra alrededor de 70%; en los líquenes llega a 80% y a 90% en los musgos que pueden captar agua del aire; en estos vegetales el aparato fotosintético está bien adaptado a las variaciones fuertes y frecuentes del contenido de agua en las células.

En las plantas superiores una deficiencia de agua se manifiesta en primer lugar, por un cierre de los estomas que impiden el intercambio de CO_2 . En una desecación severa, empeora el grado de hidratación del protoplasma y con ello la capacidad fotosintética. Normalmente la captura de CO_2 es elevada sólo para un suministro bueno de agua y empieza a descender con una pérdida de agua hasta quedar finalmente inhibida (Figura 2).

Los movimientos de los estomas están condicionados por factores internos y externos. La magnitud, velocidad y eficacia del cierre depende de cada especie y de las adaptaciones al hábitat. Los estomas de los árboles y las plantas herbáceas de sombra empiezan, a cerrarse cuando hay pequeñas

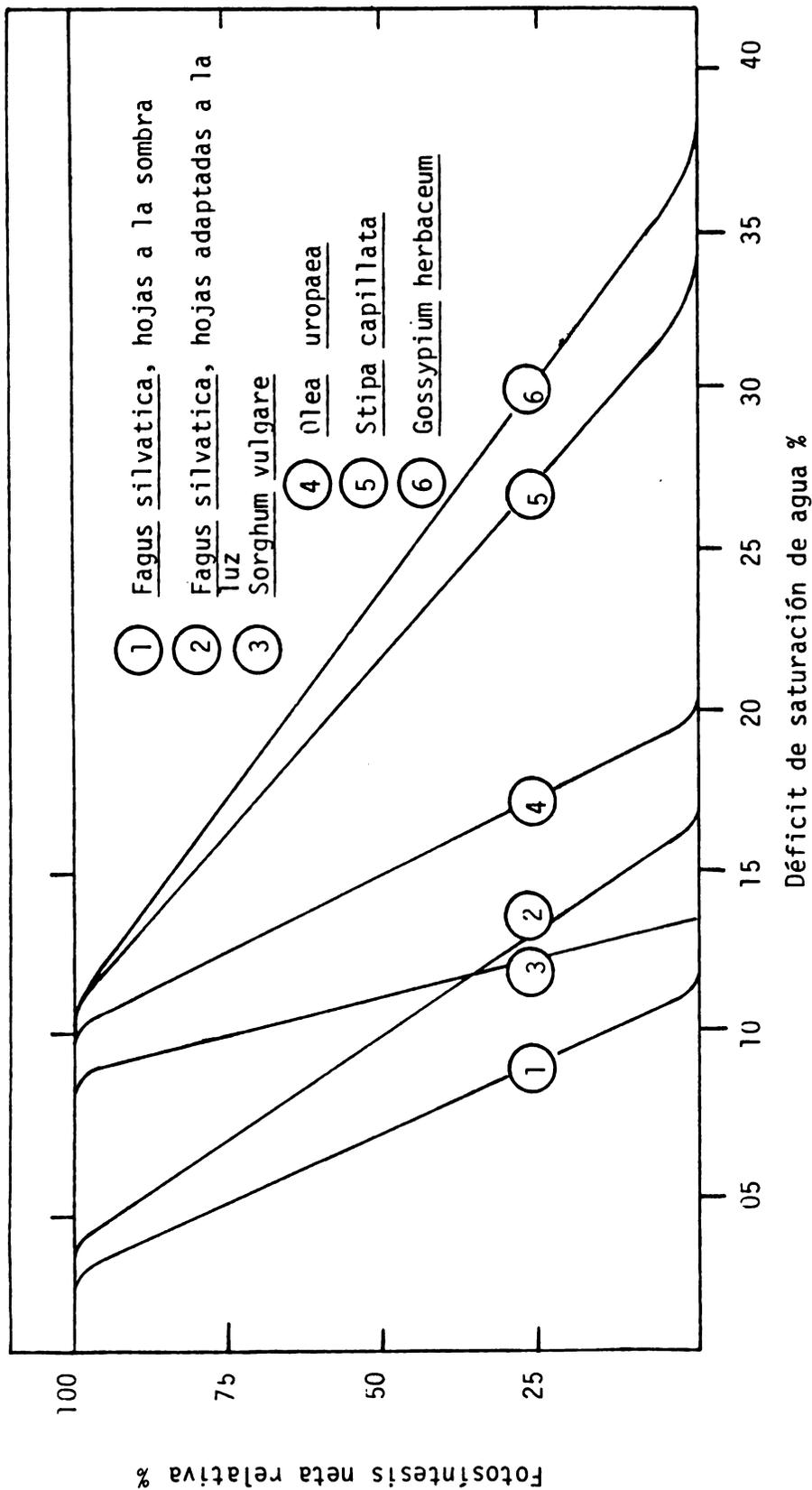


Figura 2. Efecto del déficit de saturación de agua en las hojas sobre la fotosíntesis neta según Larcher 1976.

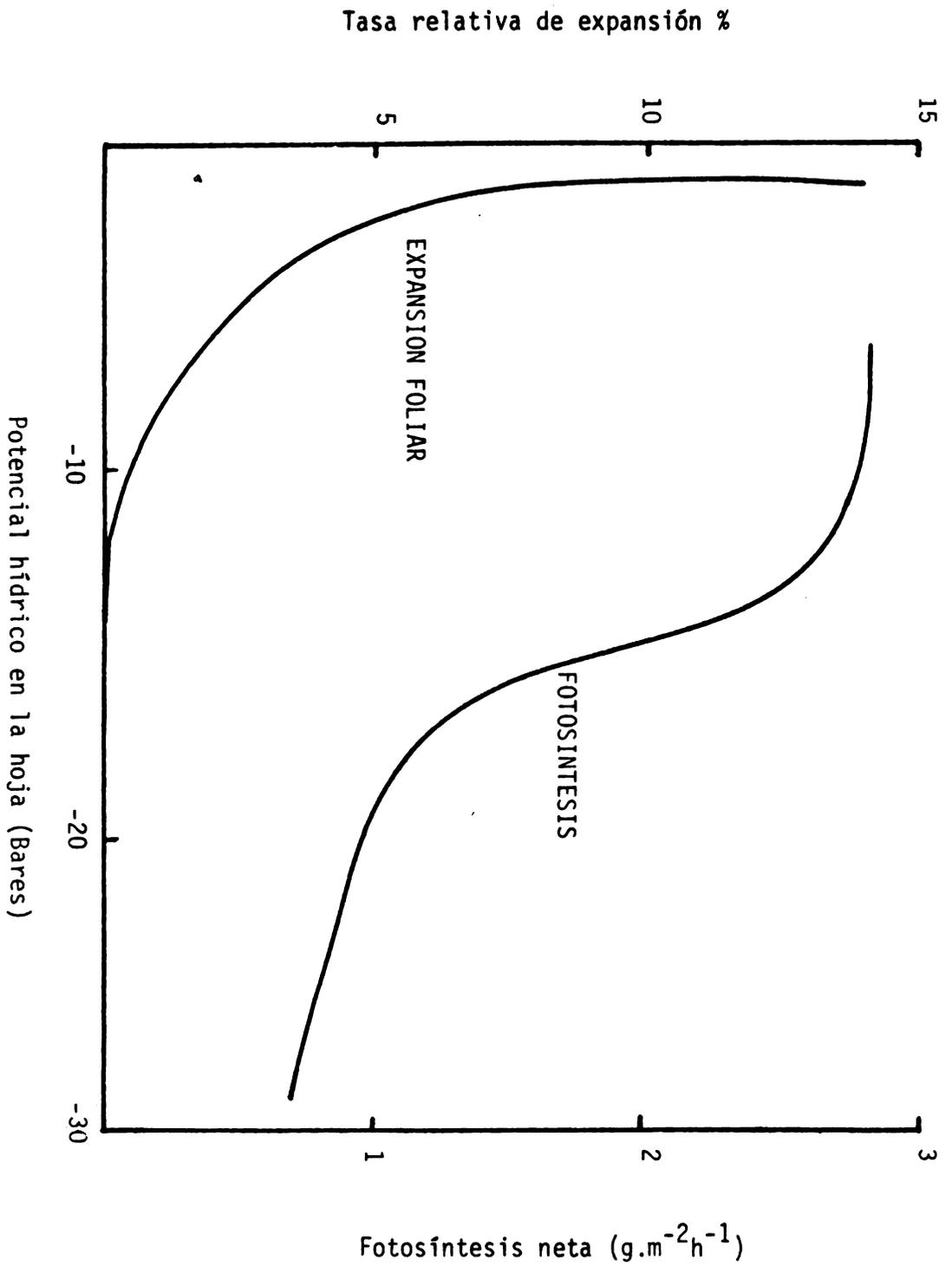


Figura 1. Efecto del déficit hídrico sobre la expansión foliar y la asimilación fotosintética en soya, según Boyer 1970.

deficiencias de agua. Las plantas herbáceas adaptadas al sol disminuyen su transpiración estomática mucho más tarde y el proceso es siempre más lento.

Transpiración e intercambio de CO₂

La transpiración y las ganancias de carbono de la planta están relacionadas a través de la difusión de vapor de agua y de CO₂ en los estomas. La planta ha de ceder agua para captar CO₂, por lo que al disminuir las pérdidas de agua también disminuye el flujo de entrada de CO₂.

Las condiciones de difusión no son idénticas para ambos procesos de intercambio. El gradiente de concentración de CO₂ entre la atmósfera exterior y el cloroplasto, es mucho menor que el del H₂O desde el interior de la hoja hacia la atmósfera, aún conociendo que el aire exterior no está saturado de agua. A una temperatura de 20°C y 50% de humedad relativa, hay un gradiente de vapor de agua que es aproximadamente 20 veces mayor al del CO₂. Aparte de esto, las moléculas de H₂O se difunden a 1,54 veces más velocidad que las moléculas de CO₂; este se tarda en llegar hasta los cloroplastos, porque el transporte de CO₂ en disolución es lento.

Uso del agua vs. mecanismos de reducción fotosintética del CO₂

Las plantas que realizan la reducción fotosintética del CO₂ por la vía C₄ necesitan dos o tres veces menos agua para producir un gramo de materia seca que las plantas C₃.

Aquellos vegetales que realizan la incorporación del CO₂ por la vía del metabolismo crasuláceo son aún más eficientes, requiriendo alrededor de un tercio del agua que necesita una planta C₃ para formar un gramo de materia seca. (Cuadro 1).

Cuadro 1. Consumo promedio de agua en la producción de materia seca (g de agua transpirada por g de materia seca producida) (Larcher, 1975).

Plantas C ₃	g H ₂ O transp. g.M.S. ⁻¹	Plantas C ₄	g H ₂ O transp. g.M.S. ⁻¹
Arroz	680	Maíz	370
Trigo	580	Panicum	300
Avena	540	Amaranthus	300
Cebada	520	Verdolaga	280
Papa	640		
Sandía	580	Plantas CAM	
Algodón	570	A la luz	150-600
		en la oscuridad	25-150

LA LUZ

Aparte del control fotoperiódico del desarrollo, la función principal de la luz como factor meteorológico, es la de proveer la energía que se usa en la fotosíntesis para reducir el CO_2 atmosférico e incorporarlo en las sustancias hidrocarbonadas que constituyen el esqueleto de la planta y las cosechas de los cultivos. Alrededor del 90% del total de la biomasa producida se genera por este mecanismo (Alvim, 1977).

Sin embargo, se ha determinado que en la producción agrícola se obtiene solamente la fijación de una pequeña parte de la energía luminosa. En estudios de laboratorio se han obtenido valores cercanos al 10% de la energía disponible. En la práctica, los valores determinados son aún más bajos ya que, en los mejores casos, las determinaciones realizadas alcanzan alrededor del 2% y frecuentemente este valor, especialmente en las zonas tropicales, es aún hasta diez veces menor.

Las razones principales por las cuales los cultivos utilizan sólo una pequeña fracción de la energía disponible son: 1) Baja eficiencia en el aprovechamiento de la energía luminosa. 2) En las primeras fases del crecimiento de los cultivos anuales que parten de una semilla, sólo una pequeña fracción del campo de cultivo está cubierta por la masa de tejido clorofiliano capaz de fijar la energía luminosa. 3) En las zonas templadas, las bajas temperaturas limitan la producción durante una buena parte del año por lo que el crecimiento activo está circunscrito al período de primavera y verano. 4) La disponibilidad de CO_2 impone algunas veces limitaciones en el aprovechamiento de la energía luminosa. 5) El déficit hídrico provoca limitaciones en el uso de la luz, ya que al cerrarse los estomas se interrumpe la difusión del CO_2 en el interior de los tejidos foliares. 6) La disponibilidad de nutrientes afecta la reducción del CO_2 en la asimilación fotosintética, ya que al haber carencia de algunos de ellos se interrumpen procesos esenciales en la fotosíntesis.

Factores limitantes de la fotosíntesis

El proceso de reducción del CO_2 atmosférico, utilizando la energía luminosa, puede dividirse en varios pasos: 1) Difusión del CO_2 atmosférico hacia los centros de reducción en la hoja y otras zonas verdes de la planta. 2) Conversión de la energía luminosa en energía química mediante la reducción del CO_2 . 3) Reacciones bioquímicas para la elaboración de moléculas orgánicas que la planta usa para su crecimiento y translocación.

Los pasos anteriores ilustrados en la Figura 3, dependen de factores tanto externos como internos.

Eficiencia de la conversión de la luz

Para que la energía luminosa pueda ser usada en el proceso de fotosíntesis, esta debe llegar a sitios específicos, lo que requiere el paso a través de una serie de barreras. Una vez que la cantidad o fracción de luz

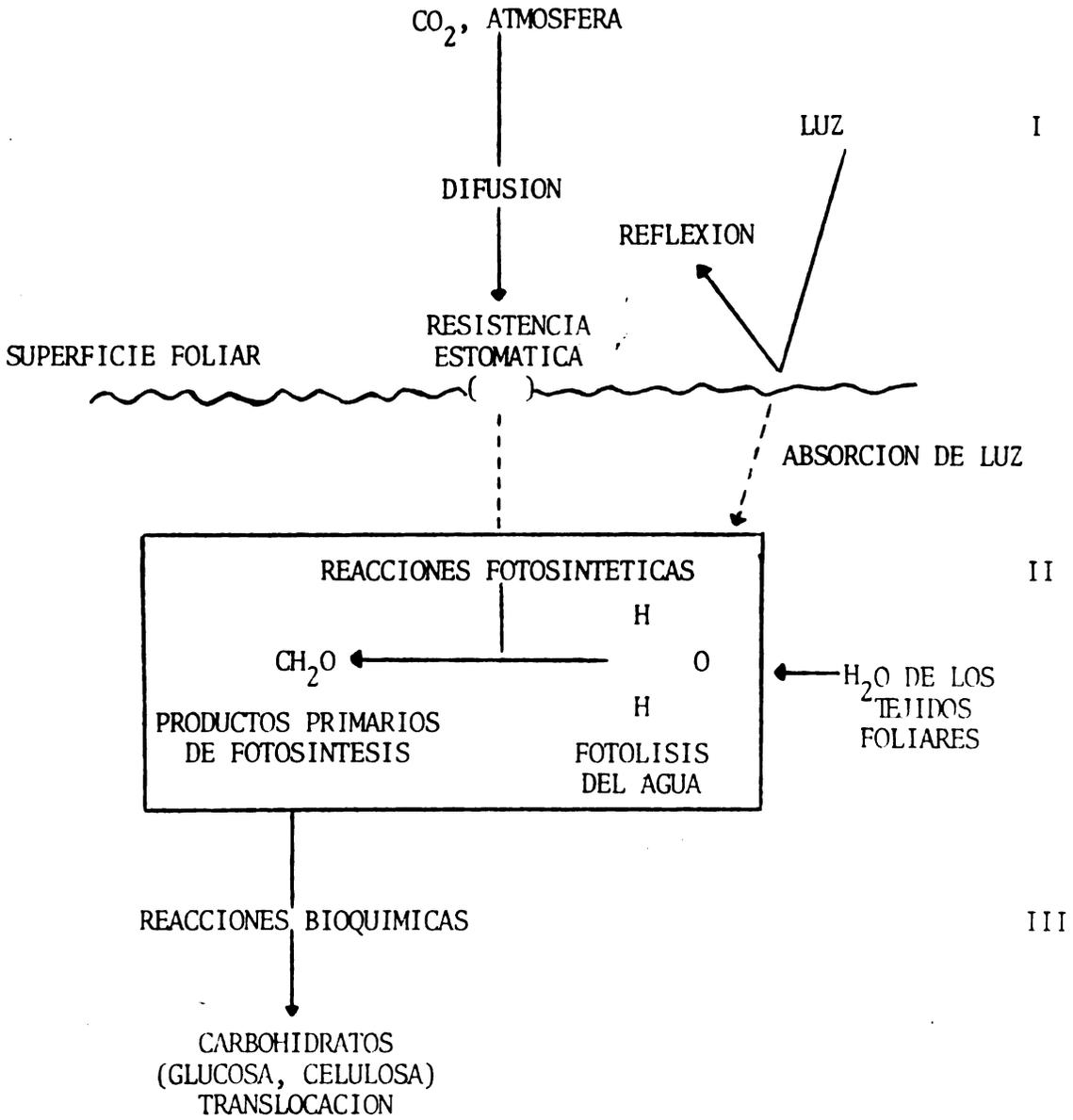


Figura 3. Representación diagramática de la fotosíntesis.

haya alcanzado los sitios de reacción, la cantidad de esta que se transforme en energía química depende del tipo de mecanismo de asimilación fotosintética, de la estructura del cloroplasto y de otros factores conexos, algunos de los cuales todavía no están muy bien explicados.

Todas estas barreras y mecanismos determinan en conjunto la eficiencia de conversión de la luz. Esta eficiencia se puede medir en términos de la cantidad de luz necesaria para reducir una molécula de CO_2 , por lo que se puede expresar en una relación simple como es la siguiente:

$$\text{Eficiencia de conversión de luz} = \frac{\text{moles de } \text{CO}_2 \text{ reducidos}}{\text{einsteins de luz absorbida}}$$

Esta relación se expresa en términos de requerimientos de energía cuántica. En algunas mediciones hechas en algas, en condiciones de laboratorio, se ha determinado que se requiere de 6 a 20 einsteins de luz para la reducción de una molécula de CO_2 ; los valores encontrados en hojas de plantas superiores están entre 10 y 12 einsteins (Gaastra, 1963).

Efecto del viento en la fotosíntesis

Aparte del efecto de la velocidad en la difusión del CO_2 , el viento causa otros efectos sobre los cultivos que afectan su eficiencia en la producción de cosechas. Estos efectos se pueden reunir en dos puntos principales: 1) Aumento de la transpiración, lo que provoca un déficit de agua que puede promover el cierre de los estomas y por lo tanto, una reducción de la actividad fotosintética. 2) La remoción del aire alrededor de la superficie de la hoja puede mantener un enriquecimiento del CO_2 , lo que favorece su fijación. Algunas investigaciones llevadas a cabo por Larcher (1980), en maíz, han demostrado que si el viento no es muy fuerte, el efecto positivo de aporte de CO_2 supera al efecto causado por el cierre de los estomas, lo que a la postre, afecta favorablemente la fotosíntesis.

Efecto de la distribución de las radiaciones solares sobre el aprovechamiento fotosintético

Una cobertura vegetal baja aprovecha completamente las radiaciones a través de una reflexión repetida y una absorción gradual, esto conduce a que en asociaciones muy densas llegue muy poca luz hasta el suelo, de modo que la luz que incide sobre los tejidos foliares es sólo un pequeño porcentaje de la iluminación inicial (Figuras 4, 5).

Las plantas del sotobosque se adaptan a las escasas posibilidades de luz y prosperan incluso con percepciones de 5 a 20%. Una captura de luz de 1 a 2% es normalmente, el límite imprescindible para los talófitos.

La disminución de la radiación depende sobre todo de la densidad del follaje y de la distribución de las hojas. La densidad del follaje se puede medir por un índice de superficie foliar LAI, (Leaf Area Index).

El LAI expresa la superficie total de las hojas con respecto a una superficie determinada de suelo.

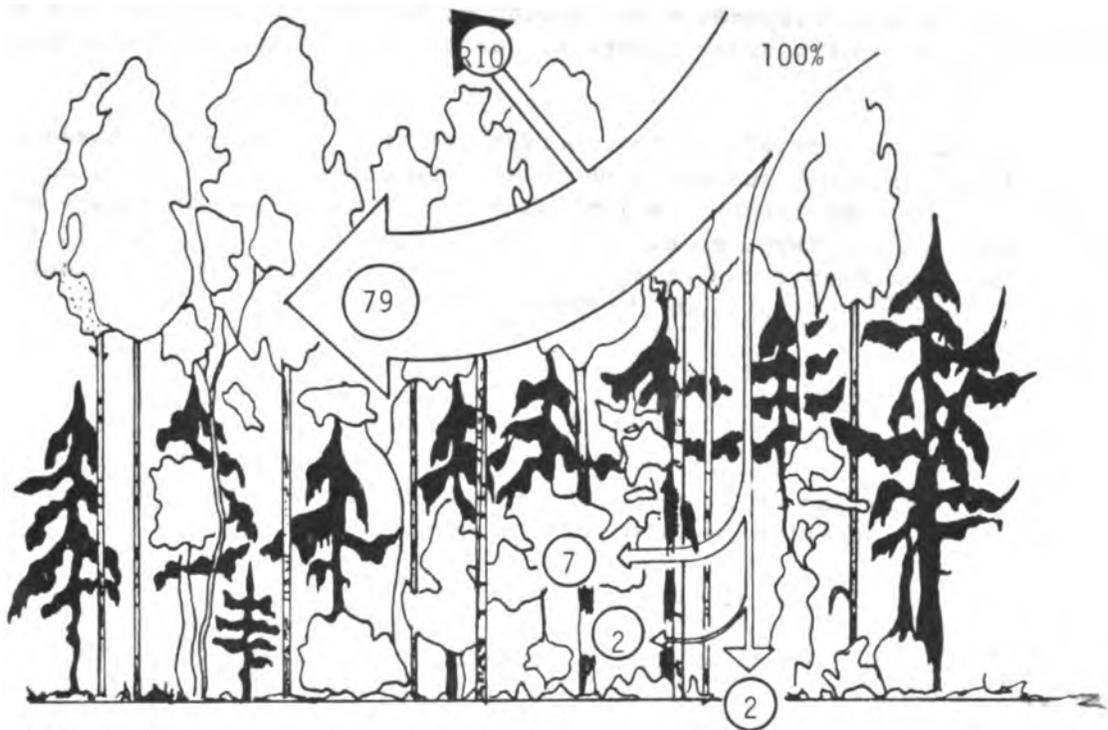


Figura 4

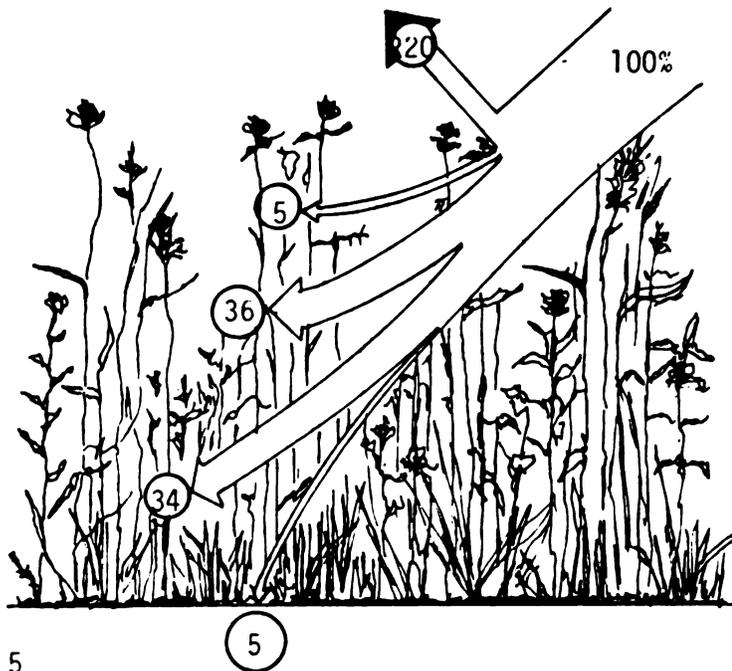


Figura 5

Figuras 4 y 5. Aprovechamiento de la radiación solar en un bosque boreal (arriba) y en un campo cultivado con gramíneas (abajo). Según Larcher 1976.

Un LAI de 4 corresponde a una unidad de terreno cubierta por una superficie foliar cuatro veces superior, que evidentemente está distribuida en distintos niveles.

En su camino a través de la cobertura vegetal la radiación tiene que atravesar varias capas sucesivas de hojas. En este camino y según la ley de extinción de Lamber-Beer, la intensidad de la radiación disminuye exponencialmente cuanto mayor es el grado de superposición. Para un follaje más o menos homogéneo puede calcularse un debilitamiento de la radiación según la ecuación empleada por M. Ronsi y T. Saeki:

$$I = I_0 \cdot e^{-k \cdot LAI}$$

En donde:

I = Intensidad de la radiación a una distancia determinada del límite superior de la cobertura vegetal.

I₀ = Radiación en el exterior.

K = Coeficiente de extinción, válido para esa comunidad vegetal.

LAI = Suma total de las superficies foliares en la zona que se mide por unidad de superficie del suelo (LAI acumulativo).

El coeficiente de extinción indica el grado de pérdida de luminosidad en la vegetación. En cultivos como el arroz, con hojas erectas en ángulo superior a 45° el coeficiente de extinción es inferior a 0,5. A la mitad de la altura de la planta hay por lo menos la mitad de la intensidad luminosa que persiste en el exterior.

En comunidades vegetales con hojas abiertas y anchas el coeficiente de extinción es de 0,7. En estas condiciones se absorbe entre 2/3 y 3/4 de la luz incidente a la mitad de la altura de la planta (Larcher, 1976).

Influencia de la intensidad de luz sobre la fotosíntesis

El intercambio gaseoso del CO₂ está influido por una serie de factores externos. Al tratarse de un proceso fotoquímico la fotosíntesis es totalmente dependiente del suministro de radiaciones.

Las reacciones oscuras de la fotosíntesis y la respiración son procesos bioquímicos que están limitados por la temperatura y el suministro de CO₂.

La radiación solar actúa como fuente de energía en la reacción fotoquímica; además, lo hace sobre la intensidad fotosintética y el intercambio gaseoso de CO₂, a través de modificaciones en la abertura estomática y a través de la fotorrespiración.

La relación entre la intensidad luminosa y la fotosíntesis neta sigue

una curva de saturación. Debido a que el CO_2 que se libera por la respiración es mayor que la cantidad que se fija por fotosíntesis, la dependencia frente a la luz en condiciones de luz débil, empieza con un desprendimiento de CO_2 hasta alcanzar un punto denominado de compensación, en donde la cantidad de CO_2 que se libera es igual a la que se fija en la fotosíntesis. Las plantas que respiran intensamente requieren más luz para alcanzar el punto de compensación que aquellas cuya tasa de respiración es lenta.

Una vez alcanzado el punto de compensación la captura de CO_2 aumenta rápidamente; en la zona inicial de este incremento hay una proporcionalidad perfecta entre radiación disponible y rendimiento fotosintético. En condiciones de radiación solar intensa se alcanza el punto de saturación, en el cual, la velocidad de fijación del CO_2 ya no está limitada por procesos fotoquímicos sino por procesos bioquímicos y de disponibilidad de CO_2 .

Se ha determinado además, que las curvas de fijación de CO_2 varían con la especie, destacándose en primer lugar las que fijan el CO_2 a través de la vía C_4 , como el sorgo o el maíz, que no alcanzan la saturación luminosa incluso con iluminación muy intensa; estas plantas en condiciones de luminosidad intermedia actúan con mayor eficiencia que las C_3 . Lo que ocurre en estos casos es que la PEP-carboxilosa es capaz de trabajar al mismo ritmo que las reacciones luminosas.

El ciclo de Calvin en el caso de las plantas C_3 , no puede actuar de un modo tan perfecto como se demuestra en la curva que se presenta en la Figura 6.

Se ha encontrado además que los puntos de compensación y de saturación de luz para cada especie, están influenciados por las condiciones luminosas del medio natural en que viven. Las hojas que han crecido a la sombra respiran menos que las que viven a la luz y por ello tienen un punto de compensación menor. Normalmente el punto de compensación en la sombra se encuentra entre 0,5 y 1% de la luz diurna total. Aparte de esto, las hojas a la sombra aprovechan mejor la luz débil que las hojas adaptadas a la luz, y alcanzan la saturación muy rápidamente alrededor de los 10 KLX (entre 0,1 y 0,3 Cal. cm^{-2} . min⁻¹).

Las plantas adaptadas a la luz, que en condiciones de penumbra son superadas por las plantas de sombra, utilizan mejor las intensidades de luz alta, logrando así mayores rendimientos fotosintéticos y con ello mayores cosechas.

LA TEMPERATURA

La temperatura máxima y mínima que puede soportar una planta es lo que se denomina límite vital de temperatura, aquí debe diferenciarse entre límite de latencia y límite letal. Si se sobrepasa el límite de latencia, los procesos vitales activos disminuyen reversiblemente a velocidad

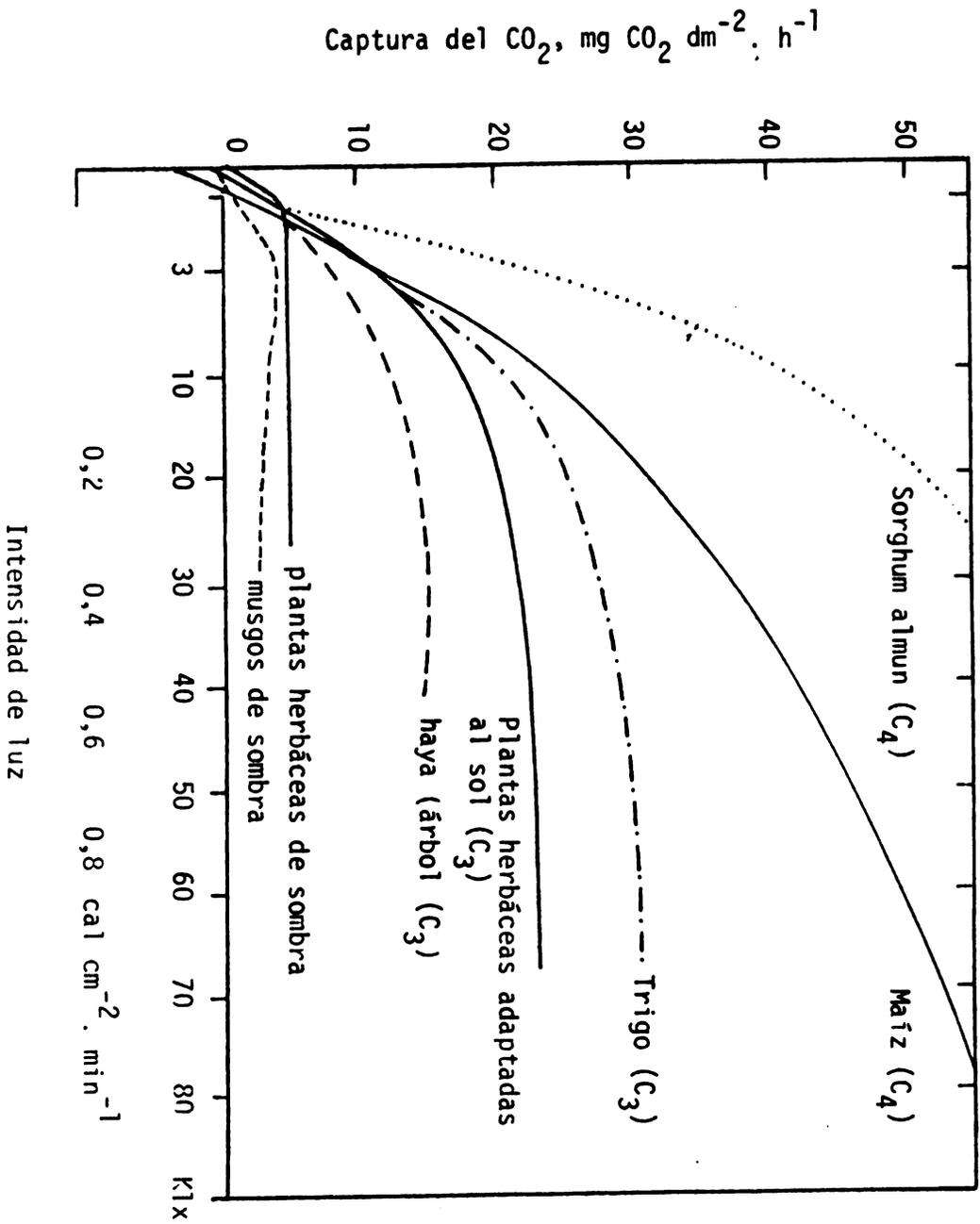


Figura 6. Efecto de la intensidad de luz sobre la fotosíntesis neta en diversas especies. Según Larcher 1976.

mínima y el protoplasma queda inactivo debido al calor o al frío. En el caso de alcanzar el límite letal, aparecen daños permanentes y se extingue la vida. La capacidad de resistir grandes calores o heladas es una ventaja para los vegetales, pero sobre todo para las plantas que rehuyen la competencia, ya que éstas no consiguen sobrevivir en condiciones favorables de temperatura y se limitan a aquellos lugares con climas extremos, en donde sólo algunas especies son capaces de crecer y multiplicarse.

Para la subsistencia de una población y la propagación de una especie no es suficiente que las plantas aisladas puedan sobrevivir a situaciones extremas y que vivan vegetativamente, sino que han de darse también condiciones de temperatura óptimas para la floración, maduración y germinación de las semillas.

El intervalo de temperatura en que se desarrollan los procesos vitales de las plantas está entre cero y 50°C, determinados respectivamente por el punto de congelación del agua y el punto de desnaturalización de proteínas.

Evidentemente, dentro de este rango de temperatura cada especie tiene sus exigencias particulares, dentro de las cuales realiza las funciones de crecimiento y reproducción en su máxima expresión.

Las especies que tienen una gran distribución geográfica poseen un amplio intervalo de temperaturas en el que son capaces de germinar; además, han desarrollado mecanismos que les permite crecer normalmente cuando existen fuertes oscilaciones de temperatura.

En cuanto a las temperaturas óptimas para la germinación, se ha visto que las plantas tropicales germinan bien entre 15 y 30°C, y las de zonas templadas entre 8 y 25°C.

El desarrollo vegetativo de la mayoría de las especies se observa entre 20 y 25°C. Sin embargo, en el caso de las plantas de clima templado se detecta crecimiento entre 5 y 30°C. En el caso de las especies de clima tropical, este rango está entre 10 y 35°C para algunas y entre 15 y 40°C para otras (Figura 7).

Las cifras anteriores ilustran rangos muy amplios dentro de los cuales es posible incluir todas las especies vegetales. Del análisis más de detallado sobre las exigencias de temperatura en las plantas cultivadas, se desprende que existen algunas muy particulares que llegan a ser evidentes entre cultivares e incluso en los diferentes estados fenológicos de la planta; así por ejemplo, se ha visto que en arroz la temperatura óptima durante la fase reproductiva está entre 22 y 31°C, mientras que en la fase de cosecha el rango está entre 20 y 22°C, temperatura que favorece un mayor peso individual de los granos en la panícula.

Para la mayoría de las especies vegetales cultivadas se desconoce cuáles son las temperaturas óptimas para el desarrollo radical; en el caso de la piña, que tiene un mecanismo de asimilación fotosintética tipo CAM,

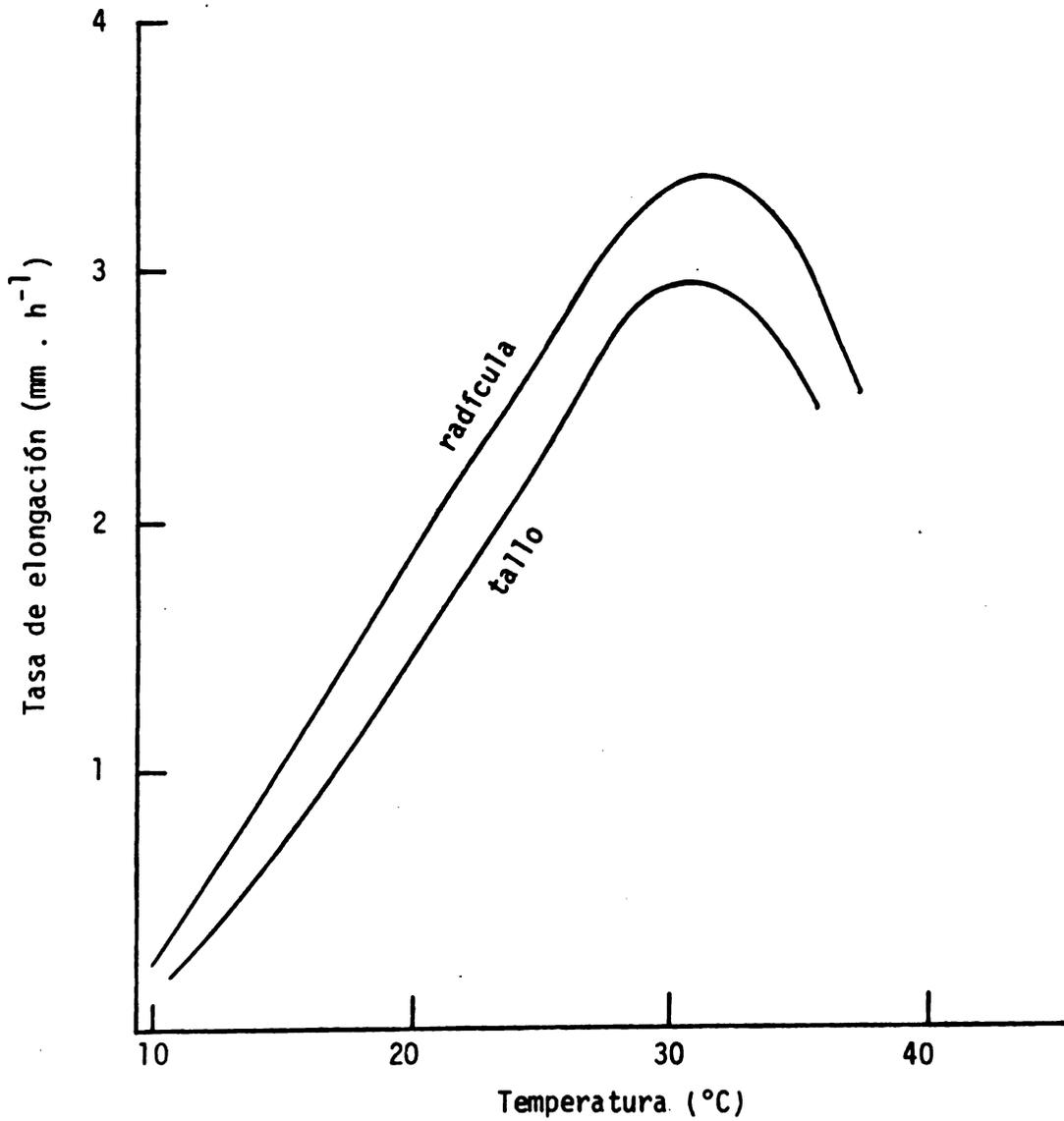


Figura 7. Efecto de la temperatura sobre la elongación de la radícula y del tallo en plántulas de maíz. Según Blacklow 1972 .

se ha determinado que la temperatura óptima para el crecimiento del sistema radical y la elongación foliar está entre 29 y 32°C.

Los zacates tropicales, muchos de ellos con mecanismos de asimilación fotosintética C_4 , tienen capacidad para producir cantidades elevadas de biomasa a temperaturas entre 20 y 40°C. Algunas plantas tuberosa como el camote, producen dentro de un rango de temperatura más estrecho: de 25 a 30°C.

Ciertas plantas tropicales perennes como el café o el cacao, estudiadas exhaustivamente en cuanto a sus manifestaciones de crecimiento, han permitido ilustrar la importancia del termoperiodismo (cambios de temperatura entre el día y la noche) en el desarrollo vegetal. Se ha podido determinar en el cafeto que una temperatura diurna de 26°C y una de 20°C durante la noche favorece la producción de materia seca. Para el caso del cacao la temperatura diurna ideal está alrededor de 27°C con cambios nocturnos de 6 a 7°C.

Los procesos fisiológicos que se afectan con la temperatura son fundamentalmente la fotosíntesis y la respiración. La temperatura influye en la velocidad de reacción de la actividad enzimática, ya que según la ley de Van't Hoff, la velocidad de reacción K se duplica con un aumento de 10°C en la temperatura, según la siguiente relación:

$$Q_{10} = \frac{K_t + 10}{K_t} \approx 2$$

(Larcher, 1976)

En el caso de la actividad fotosintética la temperatura influye únicamente a través de las reacciones oscuras, ya que el proceso fotoquímico es prácticamente independiente de la temperatura.

En las plantas C_3 se ha encontrado que el máximo de fijación de CO_2 ocurre entre 20 y 30°C; en las de tipo C_4 la actividad fotosintética alcanza el máximo entre 30 y 40°C (Figura 8).

El comportamiento diferente entre la actividad fotosintética de las plantas C_3 y C_4 está relacionado con la actividad de las enzimas fosfoenolpiruvato Carboxilasa (PEP-carboxilasa) y la ribulosa difosfato carboxilasa RUDP-carboxilasa que actúan en ambos sistemas (Björkam, 1975).

En lo que atañe al proceso de respiración, se evidencia que su intensidad es distinta según el órgano, el grado de desarrollo y la temperatura del ambiente. Para poder establecer comparaciones se usa la tasa respiratoria específica que se mide en la oscuridad a una temperatura estandar de 20 o 25°C.

En general la tasa de respiración aumenta bruscamente a partir de 20°C,

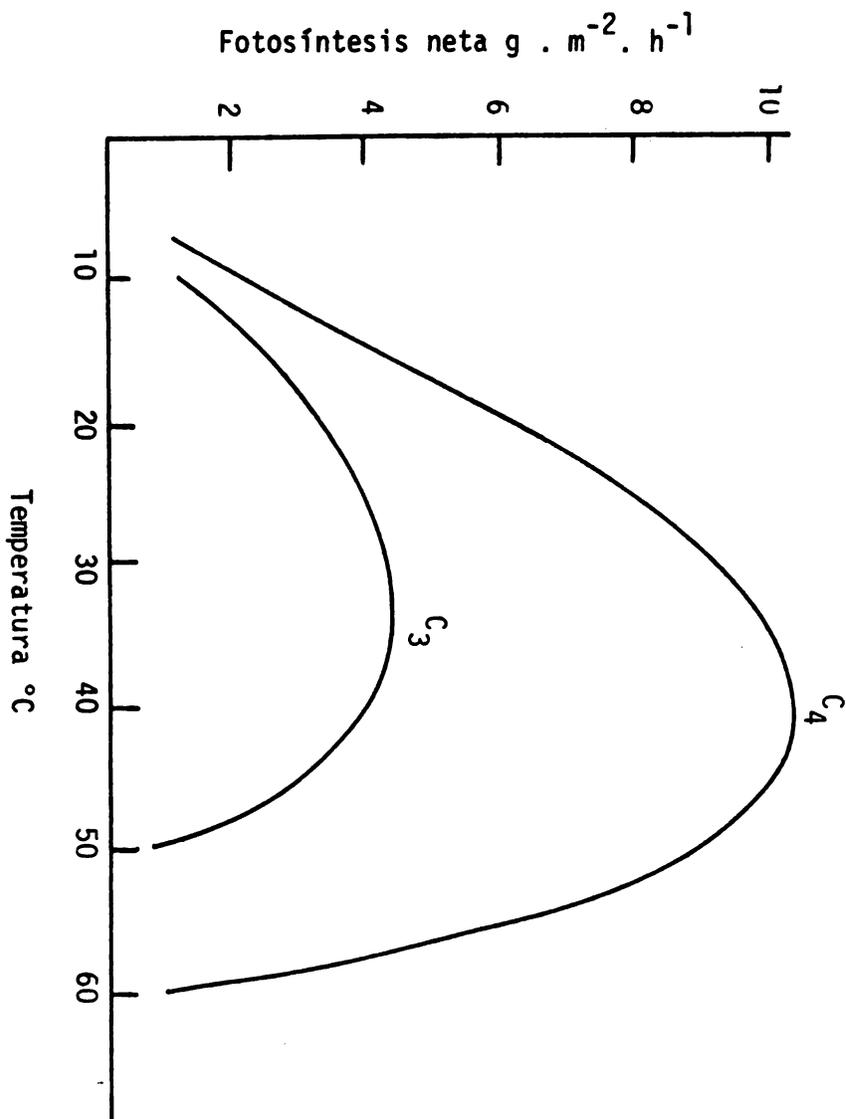


Figura 8. Efecto de la temperatura sobre la fotosíntesis neta en Panicum maximum (especie C_3) y Calopogonium mucunoides (especie C_4). Según Ludlow y Wilson 1971.

alcanzando un máximo alrededor de 50°C, en el punto de desnaturalización de proteínas.

BIBLIOGRAFIA

1. BJORKMAN, O. 1975. Environmental and biological control of photosynthesis. In "Environmental and Biological Control of Photosynthesis. (R. Marrele ed.) pp. 1-16.
2. BOYER, J. S. 1970. Leaf enlargement and metabolic rate in corn, soybeans and simflower at various leaf water potentials. *Plant Physiol.* 46, 233-235.
3. BLACKLOW, W. M. 1972. Influence of temperature in germination and elongation of the radicle and shoot of corn. *Crop Sci* 12, 647-650.
4. GAESTRA, P. 1959. Photosynthesis of crop plants as influenced by light, carbon dioxide, temperature and stomatal diffusion resistance. *Med. Landbowhogeschool, Wageningen* 59, 1-68.
5. HSIAO et al. Water stress, growth, and osmotic adjustment. *Philos Transp. R. Soc. London, Ser. B* 273, 479-500.
6. LARCHER, W. 1976. *Physiological plant ecology.* Springer Verlag, Berlin. 303 p.
7. LUDLOW, M. M. and WILSON, G. L. 1971. Photosynthesis of tropical pasture plants. *Aust. J. Biol. Sci.* 24:449-470.
8. MONTEITH, J. L. 1977. Climate, in *ecophysiology of tropical crops* (P. T. Alvim and T. T. Kozlowski ed.). pp. 1-27. Academic Press Inc. N. Y.
9. SLATER, P. J. 1969. Physiological significance of internal water relations to crop yield. In *physiological aspects of crop yield* (J. D. Eastin et al, eds.) pp. 53-79. Amer. Soc. Agron. Madison, Wisconsin.
10. WILLIAMS, C. N., and JOSEPH, K. T. 1976. *Climate, soil and crop production in the humid Tropics.* Oxford University Press, London. 177. p.

LA AGRICULTURA DE REGIONES CON SEQUIA INTERESTIVAL EN EL SALVADOR

José Arze B.*

INTRODUCCION

El éxito del hombre en adaptar algunos sistemas naturales a través del proceso agrícola, se debe a la habilidad e ingenio con que ha podido armonizar mediante decisiones de manejo, los recursos naturales a su alcance con las fuentes energéticas disponibles.

El medio ambiente, considerado como el conjunto de condiciones climáticas, edáficas y bióticas a que están sometidos los cultivos desde la germinación de la semilla hasta su maduración, no se mantiene constante a través del proceso de cultivo; por el contrario, cambia continuamente y puede considerarse integrado por una serie de ambientes momentáneos. Por otra parte, las plantas tampoco permanecen constantes a través de su desarrollo; ellas cambian continuamente en volumen, peso, forma y estructura, y se puede considerar que pasan por una serie de fenotipos momentáneos. Cada variación de las plantas corresponde a una forma específica de reacción frente a variaciones ambientales.

Las diferentes características ambientales de la tierra permiten la identificación de una diversidad de ecosistemas, donde el hombre participa a través de diferentes grados de manejo, creando y adaptando tecnología tendiente a mejorar la producción agrícola.

En Centro América, las características del clima tropical presentan una serie de variaciones reguladas principalmente por la distribución de agua durante el año, y por la altitud con respecto al mar. La vertiente orientada hacia el Océano Pacífico es más seca que la orientada hacia el Atlántico, y presenta características de regiones semi-áridas. En esta zona los agricultores de El Salvador, especialmente los de más bajos recursos, han desarrollado una agricultura adaptada a sus condiciones.

CARACTERISTICAS CLIMATOLOGICAS GENERALES DE EL SALVADOR

La característica dominante del clima en El Salvador, es una alternancia de estaciones húmedas y secas; esta se produce por el desplazamiento oscilatorio Norte-Sur del ecuador térmico, debido al movimiento aparente del sol entre los trópicos de cáncer y capricornio que origina dos posiciones zenitales solares. Esta perpendicularidad de los rayos

* Ing. Agr. M.S. Departamento de Producción Vegetal, CATIE, Turrialba.

solares para El Salvador, se encuentra entre el 26 y el 28 de abril y entre el 16 y el 17 de agosto. Los máximos de actividad lluviosa se encuentran unas semanas después del paso del sol por el Zenit.

La traslación del ecuador térmico hasta el Norte, de abril a agosto, produce condiciones de inestabilidad máxima en las masas de aire que cruzan el istmo desde el Este; esto origina intensas lluvias que duran hasta el mes de octubre. De aquí a marzo el ecuador térmico se desplaza hacia el sur, las condiciones de inestabilidad del aire ascendente se transforman en calmas tropicales y se alcanza una mayor estabilidad.

La altura sobre el nivel del mar modifica el régimen del clima tropical y causa muchas variaciones locales.

En El Salvador los promedios mensuales de radiación solar, temperatura y humedad relativa durante el año, son poco variables. Las oscilaciones diurnas son varias veces más grandes que las anuales.

Los principales procesos fisiológicos de la planta son afectados directamente por estos tres factores; sin embargo, poco o nada se puede hacer para modificarlos.

El estudio de los factores climáticos se encuentra circunscrito a la forma como estos se distribuyen en el espacio y el tiempo, para poder adoptar los cultivos de acuerdo a sus necesidades.

Las lluvias y los vientos, son factores que se encuentran estrechamente relacionados; estos factores influyen en los procesos fisiológicos de las plantas, modificando otros que actúan directamente sobre ellas. Así por ejemplo, los vientos influyen sobre la temperatura y la humedad del aire.

La lluvia por sí misma no influye directamente sobre el proceso fisiológico del vegetal, pero sí lo hace a través de la disponibilidad de agua en el suelo, de la humedad del aire, etc. El agua de lluvia sólo será utilizada por las plantas, cuando existan las condiciones necesarias que la hagan accesible.

La lluvia está directamente influenciada por los vientos.

En general los vientos en El Salvador, en comparación con las latitudes medias y la región del mar Caribe, tienen velocidades relativamente reducidas. Los huracanes no azotan esta región.

Los vientos predominantes alrededor del rumbo NE son en las mañanas, los Alisios y por las tardes y noches el desarrollo del sistema de brisas de mar y tierra.

De todos los factores climáticos el más condicionante de la actividad agrícola es la lluvia. La presencia o ausencia de agua define la actividad biológica en los cultivos.

Características de la lluvia

La precipitación pluvial se expresa tradicionalmente mediante totales mensuales o anuales, y la media de dichos valores. Sin embargo ésta es una forma muy general de presentar la información ya que nada dice respecto a la duración e intensidad de las precipitaciones.

Las lluvias pueden ser analizadas considerando su distribución espacial y su distribución en el tiempo. Ambas formas son de gran utilidad para el conocimiento de la disponibilidad de agua.

La distribución espacial, permite identificar zonas geográficas con determinadas características de humedad en un período dado. La distribución en el tiempo, ayuda a conocer la variación de la lluvia durante el período en estudio.

Los cultivos, están adaptados a ambas distribuciones. La zonificación de cultivos considera la distribución espacial de la lluvia, y el ciclo de cultivo está relacionado con la distribución cronológica.

La información climática relativa a la lluvia, debe expresarse en forma de períodos mas cortos (10 días), tanto en su forma espacial como cronológica, para poder ser utilizada en el manejo de cultivos.

La actividad agrícola de cultivos anuales, principalmente aquella que adelantan los agricultores de escasos recursos para la producción de alimentos, se lleva a cabo en El Salvador durante el período de lluvias (mayo-octubre). En este lapso se presentan períodos de sequía de diferente duración (Fig. 1).

La distribución bimodal de las lluvias durante el período de cultivo, ha hecho que los agricultores hayan adaptado su agricultura al período seco interestival conocido como canícula. Ocasionalmente estos períodos de sequía pueden llegar a ser de 30 días consecutivos o más (Fig. 2). Normalmente coinciden con los períodos de máximo crecimiento de las plantas, aspecto que causa verdaderas catastrofes en la agricultura.

La sequía interestival

La presencia de períodos con disminución de precipitación durante la estación lluviosa, conocidos como "canículas", es en general consecuencia de la actividad lluviosa, frenada o interrumpida muchas veces por corrientes boreales subsidentes en la atmósfera superior. La canícula no es necesariamente un sinónimo de sequía; es más bien una situación en que la actividad lluviosa disminuye notablemente, sobre todo durante el día. La canícula o veranillo de San Juan, como se conoce en otros países, es una característica que se presenta en la mayoría de los años, pero su duración y severidad experimenta fluctuaciones de año a año.

Para fines de este trabajo, se considera período seco al número de días con precipitaciones menores o iguales a 1,0 m. Si bien éste umbral

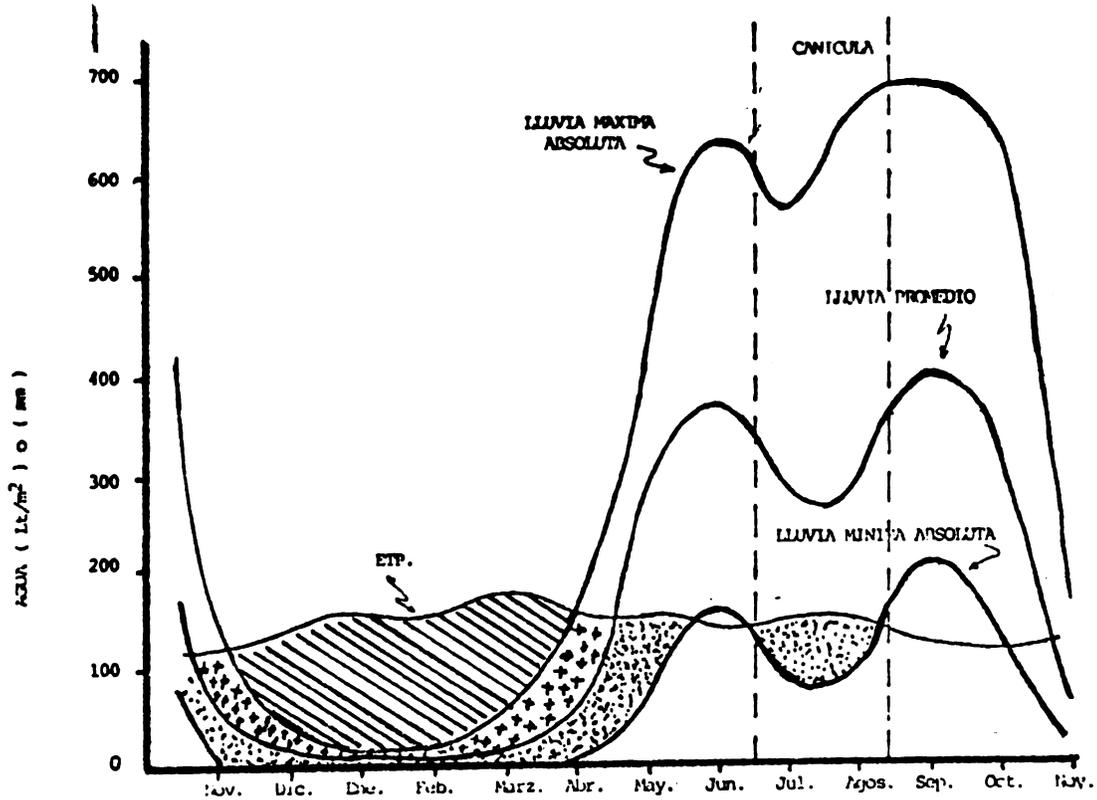


Figura 1. Períodos relativos de deficiencia de agua calculado para el caserío La Trompina.

es arbitrario, tiene cierta relación con la evapo-transpiración potencial.

El análisis de los períodos de sequía interestival (canícula) para fines de interpretación agronómica, requiere la agrupación de las precipitaciones en períodos de 10 días consecutivos (decádicos), considerados adecuados para conocer su distribución espacial y su comportamiento cronológico.

Para cada década se calculan isohyetas, lo que permite conocer la distribución geográfica de cada período y su distribución en el tiempo entre períodos.

Para efectos del balance hídrico climático, se considera como 50 mm la evapotranspiración potencial promedio decádico del mes más crítico (julio, Fig. 3)

En la tercera década del mes de junio, entre el 1 y el 30 del mes, se inicia la canícula en la región oriental del país (Fig. 4). La primera canícula se presenta del 1^a al 10 de julio (Fig. 5), tendiendo a normalizarse en las siguientes décadas del mes (Fig. 6, 7). En la primera década de agosto, se presenta la segunda canícula en la región oriental y en la nor-occidental (Fig. 8), posteriormente tiende a normalizarse (Fig. 9).

En la zona oriental media, 6 de cada 10 años reciben una cantidad de lluvia menor de 50 mm en las décadas más críticas (1a, 2da de julio y 1a. de agosto), condición que no permite suplir las necesidades de evapotranspiración de los cultivos en pleno desarrollo.

Efectos de la canícula

Los períodos de sequía intermedios en la época lluviosa, afectan el desarrollo de los cultivos por la dificultad que tiene la planta para captar el agua en el suelo. El adecuado almacenamiento del agua de lluvia está íntimamente ligado a características fisiográficas, geológicas y edáficas del suelo; por ésto, para poder estimar la posibilidad de daño por sequía, es necesario considerar el déficit hídrico climático, es decir, aquellas características fisiográficas y edáficas, que influyen en la mayor o menor retención del agua aprovechable por las plantas. De esta manera el afecto de la canícula se aproxima con mayor precisión a la realidad.

En la Figura 10 se presentan, en 7 categorías, las agrupaciones climáticas, edáficas y fisiográficas prevaletientes en el área de influencia de la canícula. De éstas las cinco siguientes tienen una marcada importancia.

- c.1 Seco, por condición climática
- c.2 Seco, por condición edáfica (litosoles y/o grumsoles)
- c.3 Seco, por condiciones fisiográficas

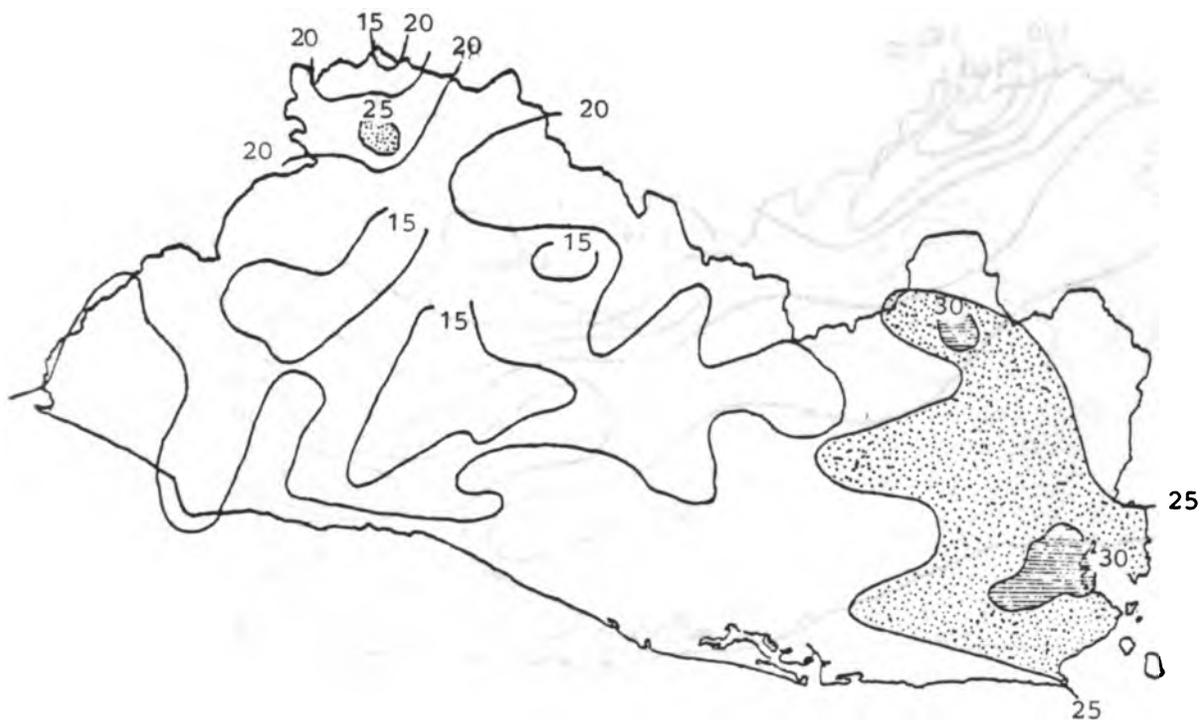


Figura 2. Número de días sin lluvia mes de julio de 1977.

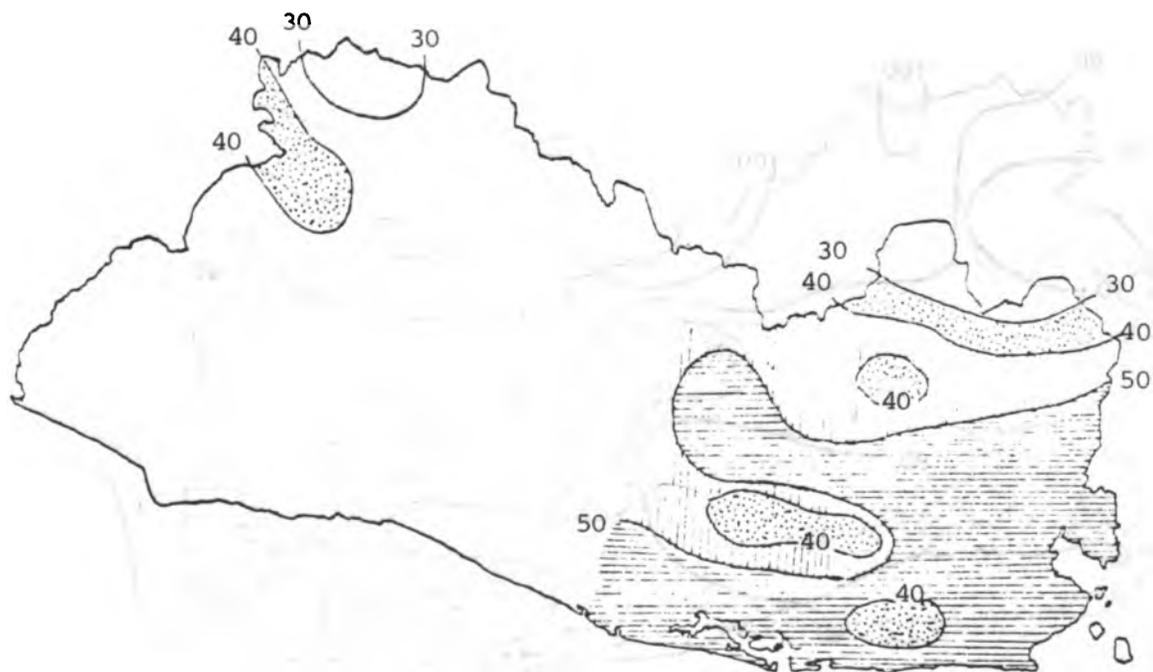


Figura 3. Evapotranspiración potencial promedio decádico en julio

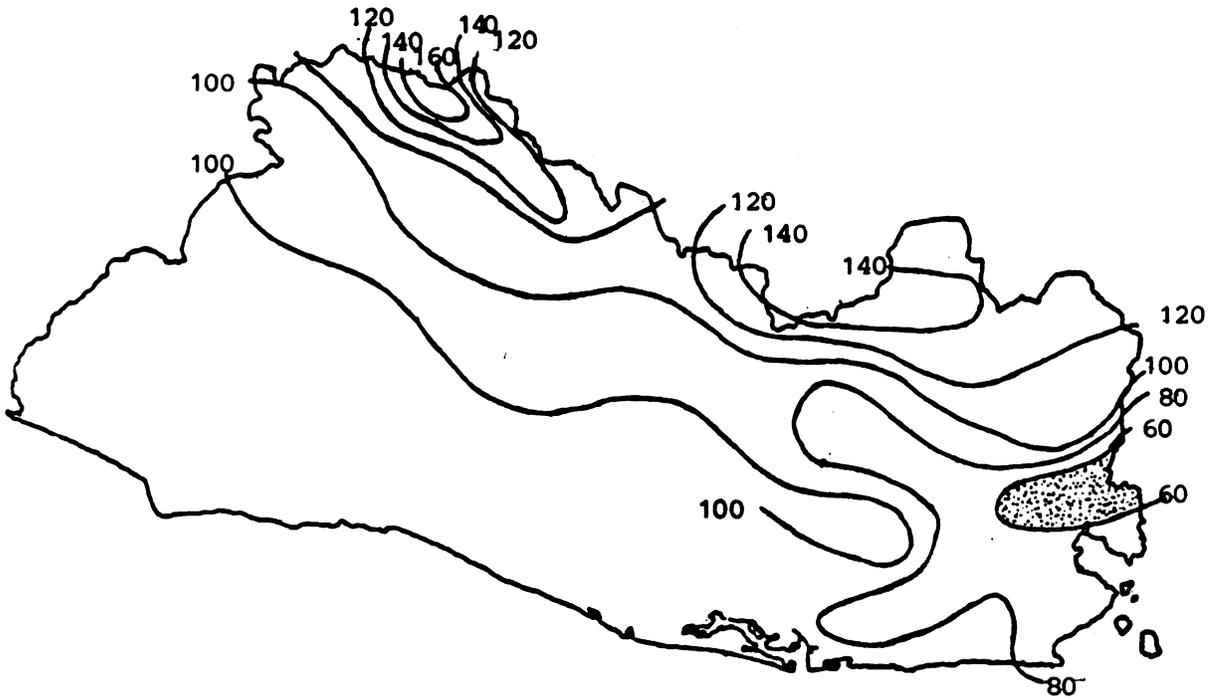


Figura 4. Cantidades promedio de lluvia III década de junio (del 21 al 30 de junio).

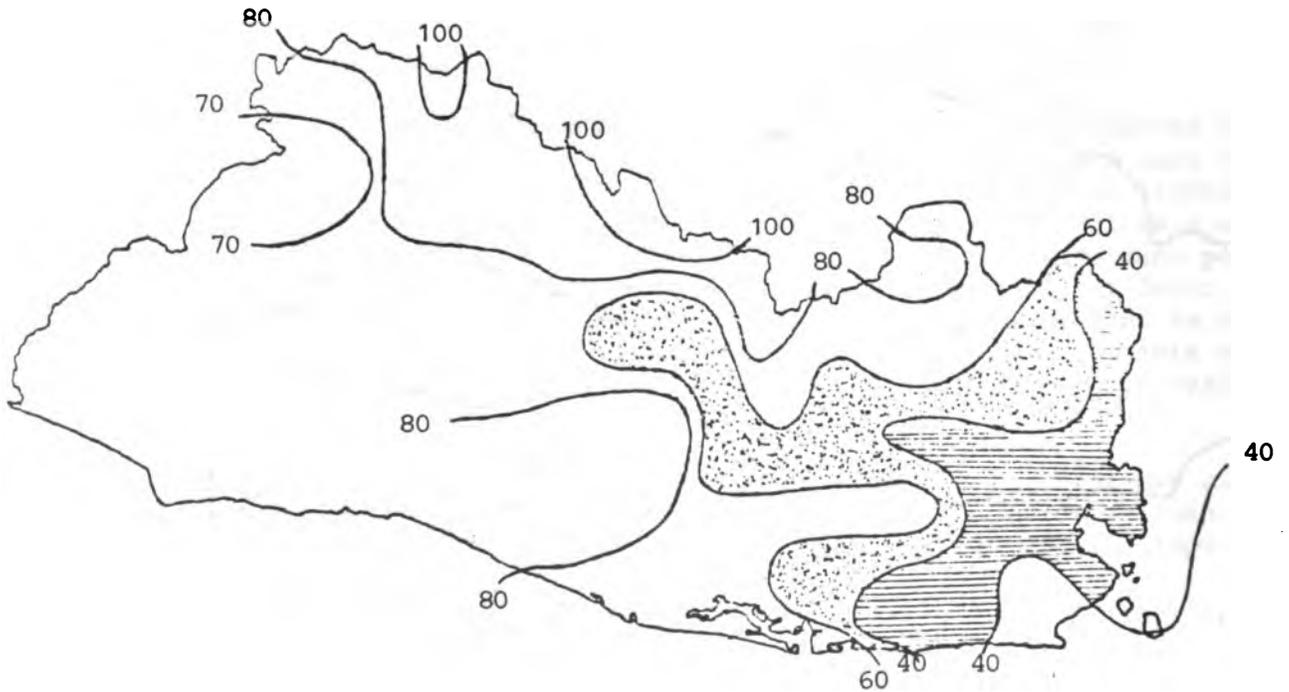


Figura 5. Cantidades promedio de lluvia I década de julio (del 1^a al 10 de julio).

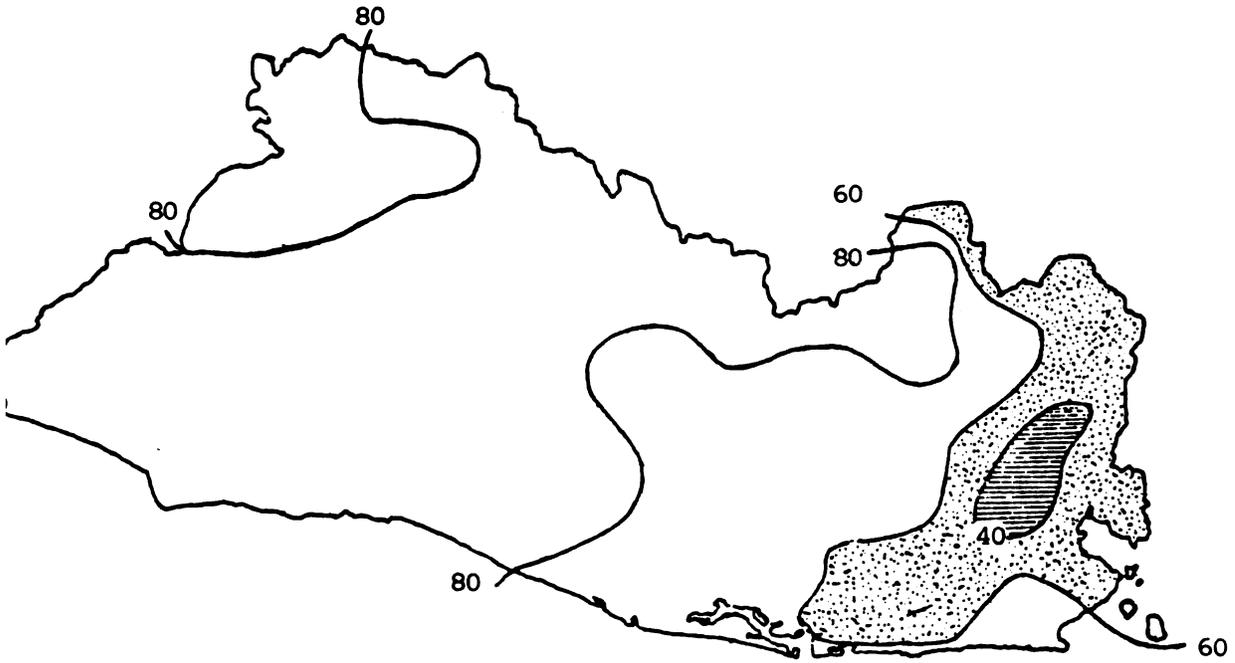


Figura 6. Cantidades promedio de lluvia en la II década de julio (del 2 al 20 de julio).

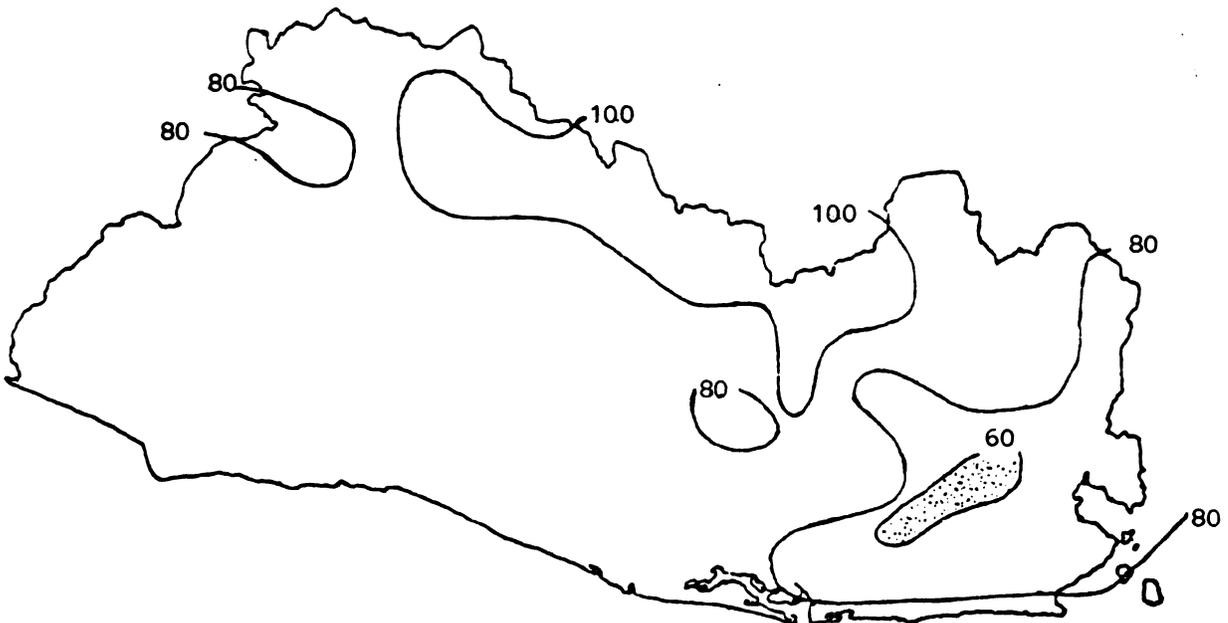


Figura 7. Cantidades promedio de lluvia III década de julio (del 21 al 31 de julio).

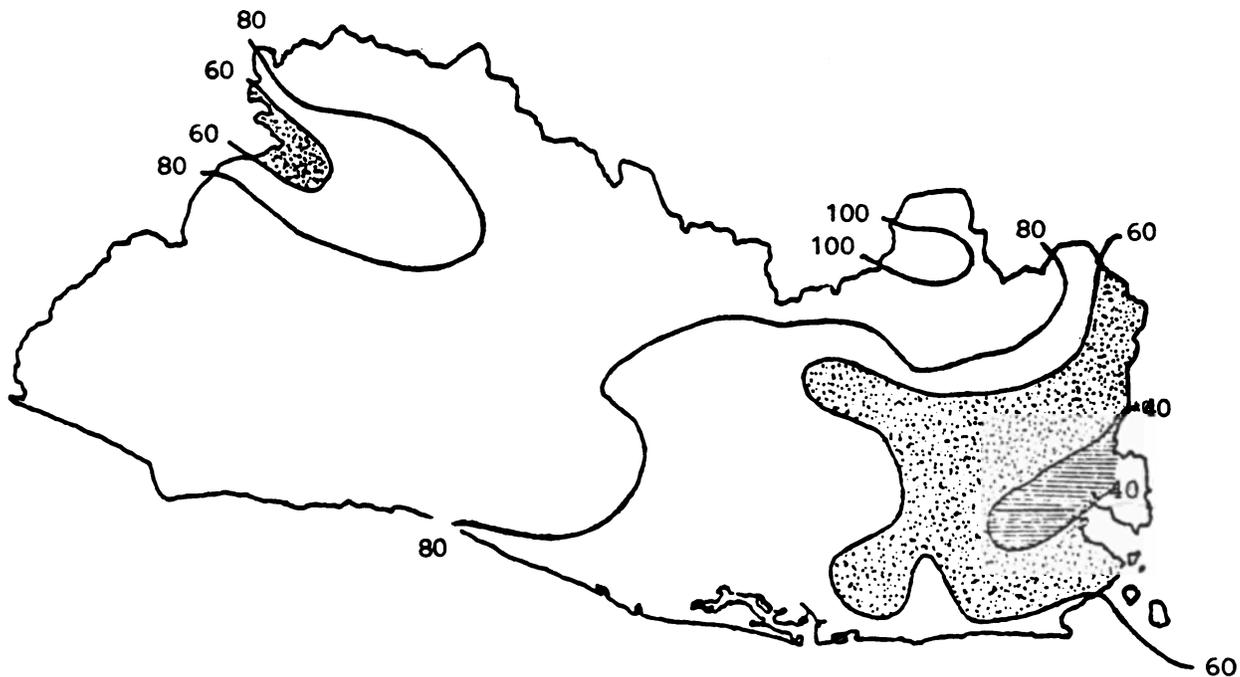


Figura 8. Cantidades promedio de lluvia I década de agosto (del 1^a al 10 de agosto).

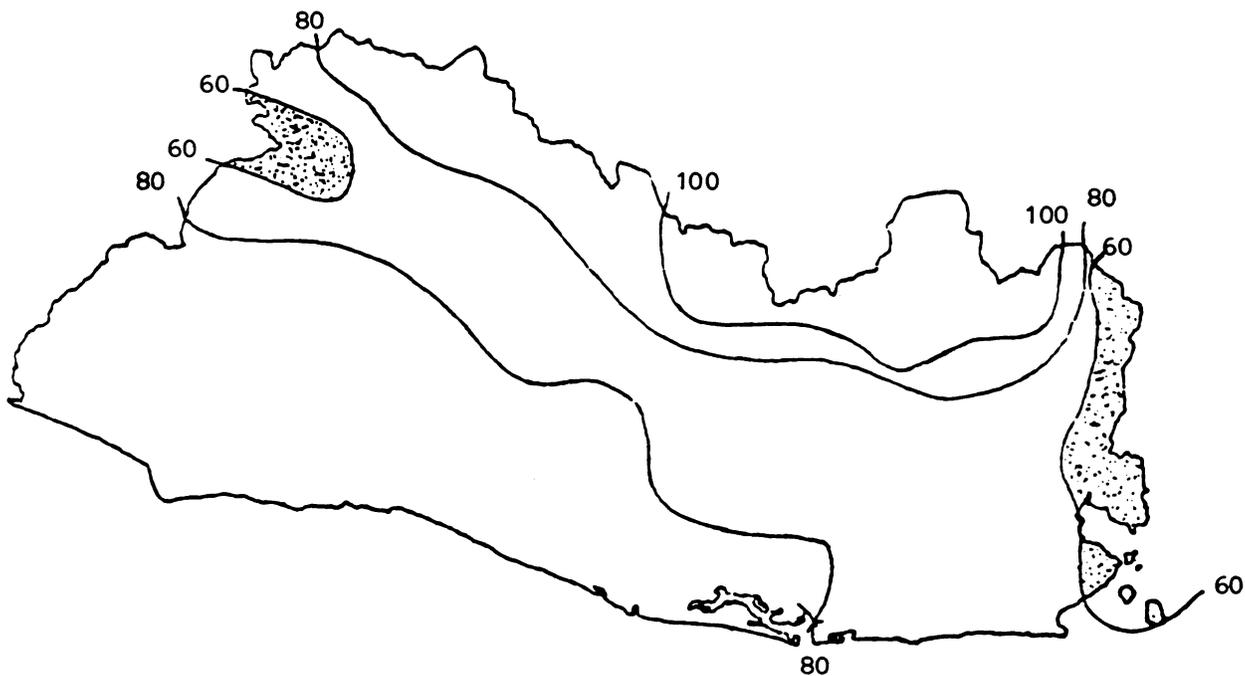


Figura 9. Cantidades promedio de lluvia II década de agosto (del 11 al 20 de agosto).

Seco por condiciones:

Fisiográficas

Climáticas

Edáficas (litosoles y/o grumosoles)

Edáficas (Regosoles arenosos)

Climáticas y edáficas (litosol y/o grumosoles)

Climáticas y edáficas (regosoles arenosos)

Climáticas y fisiográficas y/o edáficas

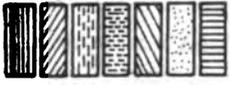


Figura 10. Agrupaciones climáticas, edáficas y fisiográficas de sequía prevalecientes en El Salvador.

- c.4 Seco, por condiciones climáticas y edáficas (litosoles y grumsoles)
- c.5 Seco, por condiciones climáticas y fisiográficas y/o edáficas.

La fisiografía de algunas áreas tiene influencia en el desarrollo de la vegetación, ya sea por su conformación geológica o por la irregularidad del terreno. Además de las lluvias, estas áreas presentan diferente comportamiento con relación al desarrollo de las plantas, debido a características particulares como profundidad efectiva, pedregocidad, textura predominante, estructura y tipo de arcilla, que influyen en el balance hídrico del suelo.

SISTEMAS DE CULTIVOS ANUALES ADAPTADOS A LA SEQUIA INTERESTIVAL

Los cultivos anuales, principalmente aquellos de subsistencia (granos básicos), crecen durante la época lluviosa. El 75% de los productos alimenticios básicos, aproximadamente, provienen de fincas de pequeños y medianos agricultores. Los cultivos están ubicados en regiones de producción agrícola marginal, caracterizada por una fuerte erosión de los suelos y una distribución errática del agua de lluvia. El 70% de los productores de granos siembra más de un cultivo durante un año agrícola.

Los agricultores de escasos recursos de El Salvador, confinados a una agricultura marginal de subsistencia por diferentes razones de índole socioeconómica, se encuentran ubicados en la zona norte y nor-oriental del país. Allí en su lucha con el medio, han adaptado los patrones de cultivo a la canícula en este caso el factor que más limita su producción anual sin considerar las graves repercusiones que a largo plazo, pueden tener sobre el manejo de los recursos naturales. Sin embargo, su actitud es comprensible: Es una lucha por subsistir en donde no hay márgenes para asumir riesgos de producción. Así, se encuentran cultivos anuales en lugares de fuertes pendientes que ocasionan graves problemas de erosión.

Dentro de esta situación el agricultor ha escogido cultivos, y con ellos, diseñado sistemas policulturales que le permiten disminuir el riesgo de producción y utilizar mejor los recursos que le brinda la naturaleza en el período de lluvias. Los sistemas más utilizados son maíz/frijol y maíz/sorgo. En el 80% del área sembrada de frijol, éste se asocia en relevo al maíz; el 93% del sorgo cultivado se asocia también con maíz. En menor proporción se encuentran otros sistemas como Henequén-maíz-sorgo-frijol.

Sistema de cultivo maíz/sorgo

El sistema de mayor rango de adaptabilidad a las condiciones ambientales de las zonas norte y nor-oriental del país, es el de maíz con sorgo (Fig. 11). Una de las razones para su preferencia, es la garantía de producción del sorgo frente a los períodos de canícula que ocasionan la pérdida del maíz.



Figura 11. Distribución del sistema de cultivos maíz/sorgo, asociados o en relevo en El Salvador.

En la figura 12 se muestran, para el caserío las Penas del municipio de Tejutla, las relaciones entre las curvas de crecimiento del maíz y del sorgo, así como la distribución de las lluvias.

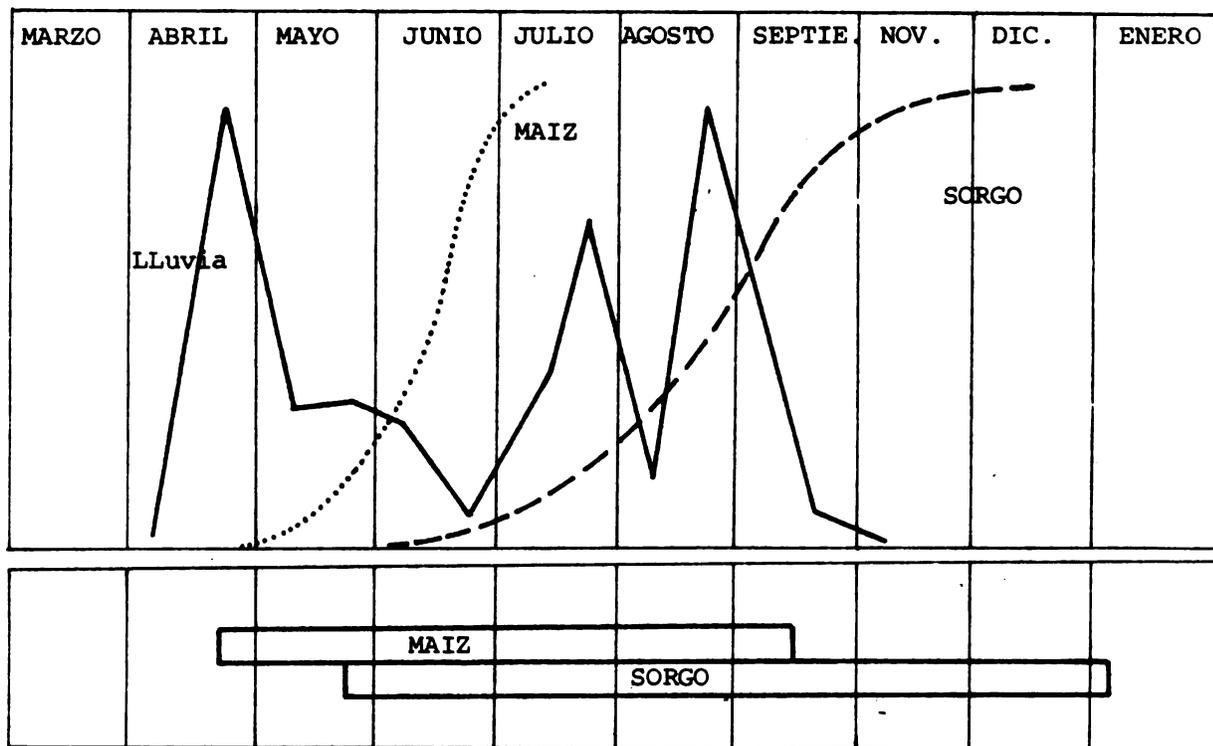


Figura 12. Representación Agroclimática del sistema maíz/sorgo.

Algunas de las características sobresalientes de este sistema son las siguientes:

Casi todos los agricultores de la zona norte y nororiental del país, siembran maíz con sorgo en parcelas menores de dos hectáreas.

Las fechas de siembra varían de mayo a agosto, con el arreglo cronológico que presenta el sistema maíz-sorgo, principalmente por la variación de las fechas de siembra del sorgo. Las siembras de maíz en Tejutla se realizan durante las tres primeras semanas de mayo, mientras en Jocoro se atrasan dos a tres semanas hasta la primera de junio.

En el sorgo se pueden identificar cuatro períodos de siembra en Tejutla (Fig. 13):

- Primera quincena de mayo si el maíz y sorgo son sembrados simultáneamente

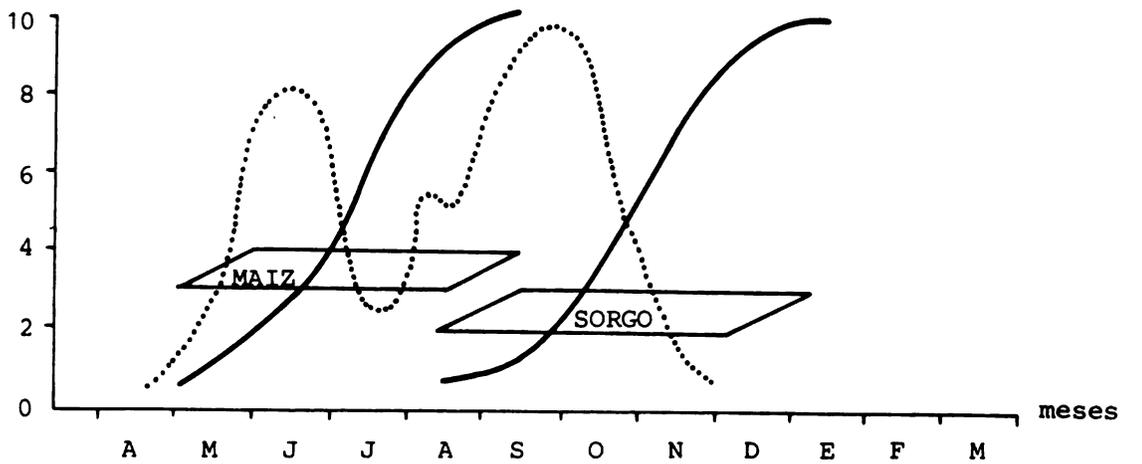
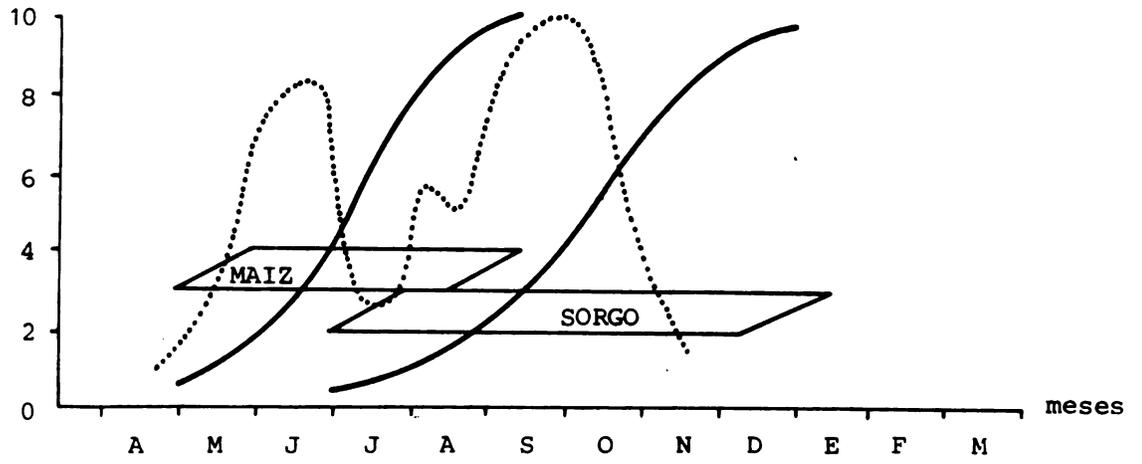
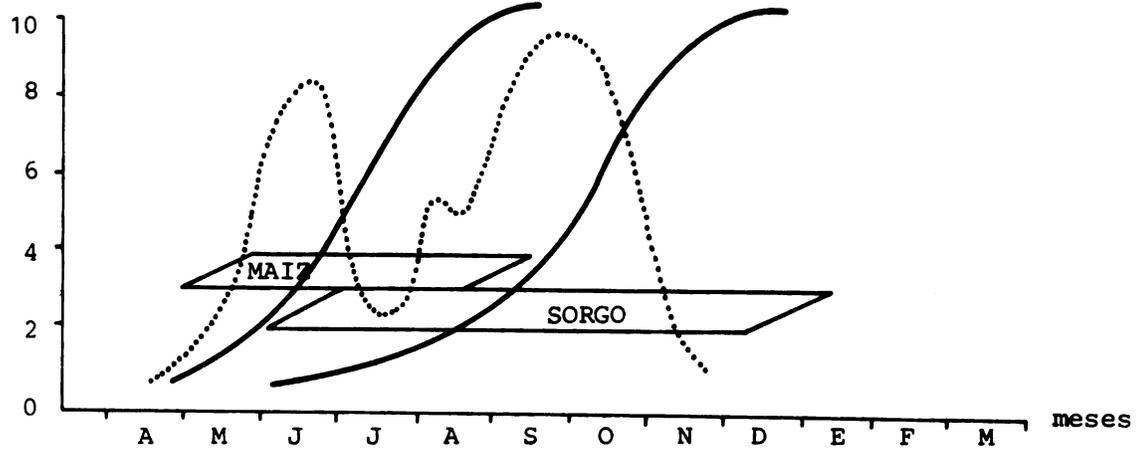
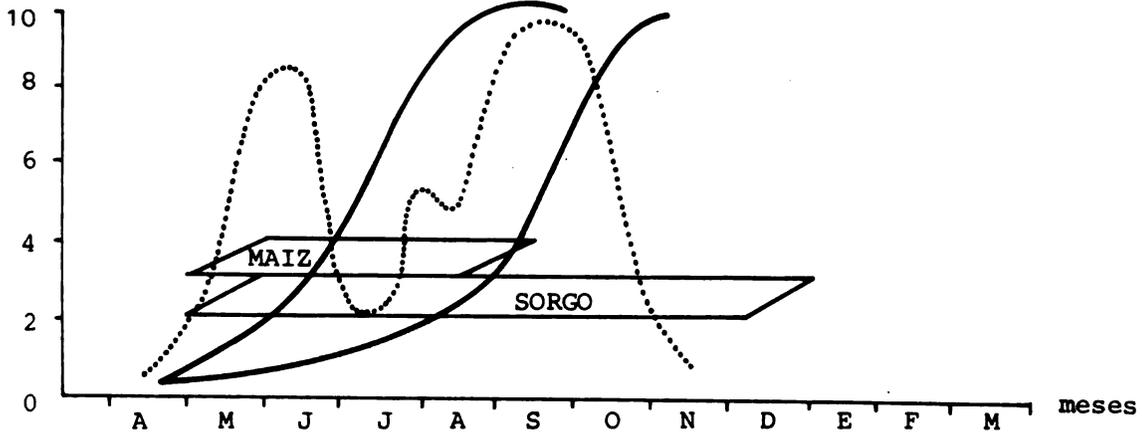


Figura 13. Arreglo cronológico del sistema maíz con sorgo.

- Entre la segunda quincena de mayo y la primera de junio, si el sorgo es sembrado a la primera fertilización o al aporque del maíz (21.6%).
- Durante el mes de julio cuando el sorgo se siembra a la floración del maíz (21.6%).
- Durante el mes de agosto si el sorgo se siembra a la dobla del maíz (45.9%).

Las variedades de maíz utilizadas para el sistema, están muy relacionadas con el riesgo que representa la canícula. En la zona norte central predominan los híbridos H₃ y H₅ (89%), y en la zona oriental exclusivamente las variedades criollas (maicito, cincuentaño). Los riesgos de la canícula en la zona norte central son menores que en la oriental, de allí que las variedades mejoradas han tenido buena acogida y se han adaptado al sistema, principalmente el híbrido H₃, considerado como semiprecoz, con 90 días a la maduración y 56 a la floración. Otro factor favorable del maíz H₃ es la estructura de su planta, que permite una mayor disponibilidad de luz dentro del cultivo, en comparación con otras variedades mejoradas. Todas las variedades de maíz son dobladas en agosto.

En la zona oriental los riesgos por canícula son mayores; por esto los agricultores no han cambiado sus variedades criollas por mejoradas. Las variedades criollas como el maicito, tienen una mayor posibilidad de escapar al período de canícula por su precosidad (80 días a la cosecha y 46 a la floración).

Las variedades de sorgo que más se han adaptado al sistema son las criollas, principalmente "criollo leche" y "sapo"; estas tienen plantas altas (3 m) y de doble propósito (grano y forraje). Las variedades criollas son fotoperiódicas; esto hace que las plantas sembradas en mayo o antes de agosto, tengan en comparación con el maíz, un crecimiento muy lento con un largo período vegetativo, debido a la sombra producida por el maíz en el período de días largos, entre mayo y julio. A partir de agosto se reduce la competencia del maíz y los días se hacen más cortos; esta condición favorece al sorgo que inicia una intensa actividad de crecimiento (Fig. 14). Esta característica hace difícil reemplazar en el sistema, los sorgos criollos fotoperiódicos por los mejorados insensibles. La asociación de maíz con sorgos insensibles, sembrados antes de agosto, presenta una marcada competencia ya que ambos tendrían crecimientos similares. Una desventaja adicional que presenta la cosecha del sorgo en agosto, período con gran cantidad de lluvia, es que no permite el secado del grano, favoreciendo la germinación en la panoja; el maíz por el contrario, puede permanecer en el campo después de la dobla.

El sistema maíz con sorgo insensible en relevo (sorgo sembrado en agosto), permite producciones de sorgo en grano entre los meses de octubre y noviembre; en esta época sin embargo, la dificultad estriba en la escasez de mano de obra para realizar la cosecha debido a que los agricultores se encuentran cosechando café.

- Crecimiento maíz
- Crecimiento Sorgo
- Salida del sol
- Puesta del sol

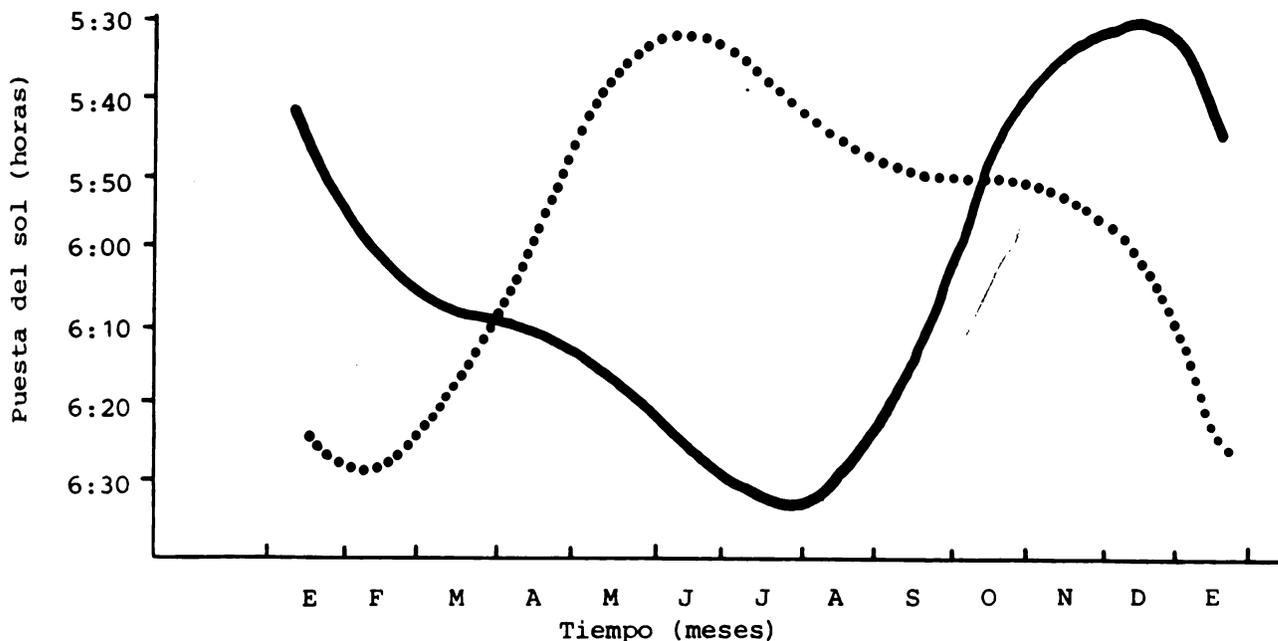
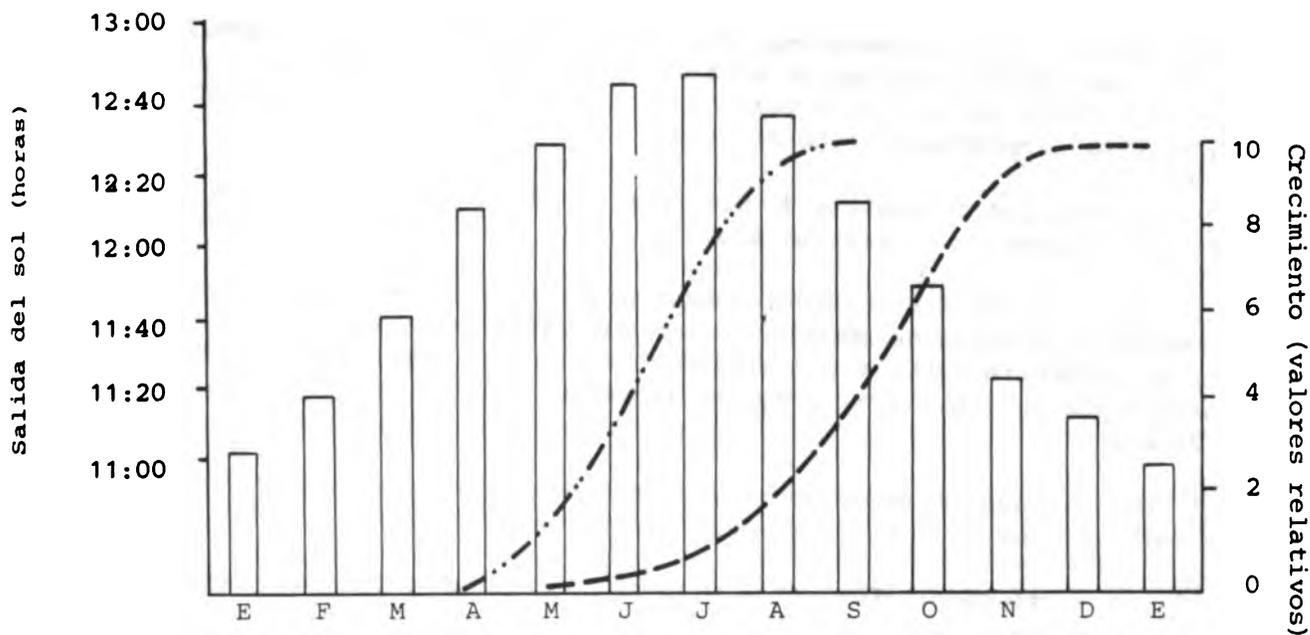


Figura 14. Relaciones entre las variaciones de la salida, puesta del sol, y duración del día con las variaciones del crecimiento relativo del sistema de cultivo Maíz/Sorgo.

Para el sistema maíz-sorgo, el arreglo de cultivo utilizado por la mitad de los agricultores (49%) consiste en sembrar maíz en hileras simples sobre el camellón del surco, colocando el sorgo en hileras simples paralelas al maíz en el fondo del mismo. Más de la cuarta parte de los agricultores (26%) siembran maíz en hileras simples sobre el camellón del surco, con hileras simples de sorgo al pie de la planta de maíz en el camellón. Cerca de la cuarta parte de los agricultores (24%), siembran maíz en hileras simples con sorgo al voleo.

La cantidad de semilla de maíz por hectárea utilizada por la mayoría de agricultores en el sistema asociado varía de 10 a 16 kilos (75%).

Casi los dos tercios de los agricultores (59%), emplean entre 6 y 10 kilos/ha de semilla de sorgo asociado con maíz; gran parte de la frecuencia se concentra entre 6 y 8 kilos/ha (40%). Sin embargo, el rango de utilización de semilla de sorgo en asocio es muy amplio, variando entre 6 y 20 kilos/ha.

Los distanciamientos entre surcos de uso más frecuente para el asocio de maíz con sorgo, varían alrededor de 80 cm, (79% en maíz y 61% en sorgo).

Los distanciamientos entre posturas se encuentran alrededor de 40 cm, (75% maíz, 66% sorgo); en todos los casos la mayor frecuencia se concentra entre 30 y 40 cm (51% maíz, 43% sorgo).

En la fertilización del cultivo asociado maíz-sorgo en Tejutla, se utiliza en diversas épocas y cantidades, la fórmula 20-20-0 y el sulfato de amonio. En la zona oriental el uso de fertilizantes está restringido. El maíz es fertilizado una vez con fórmula 20-20-0, lo mismo que con sulfato de amonio; son muy pocos los agricultores que fertilizan 2 veces con la fórmula; la mayoría no fertiliza el sorgo de ninguna manera.

La cantidad de fertilizante por hectárea utilizado en la zona norte y central, presenta las siguientes características: En maíz asociado con sorgo, el rango de la cantidad utilizada de fórmula 20-20-0 es muy amplio, variando de 50 a más de 400 kg/ha, con una concentración de frecuencia entre 251 y 300 kilos/ha.

La mayoría de los agricultores (78%) no usa la fórmula 20-20-0 para fertilizar el sorgo asociado con maíz, y entre aquellos que la usan, la mayor frecuencia (13%), lo hace en cantidades de 100 g a 150 kilos por hectárea.

El uso de sulfato de amonio presenta tendencias similares a las cantidades empleadas de fórmula 20-20-0. Para el maíz, alrededor de la mitad de agricultores (54%) aplica entre 250 y 300 kilos de sulfato de amonio.

Más de la mitad de los agricultores que cultivan maíz asociado, tienen campos con un número de plantas a la cosecha, que varía entre 30.000

y 50.000 por ha (59%). La dispersión del número de plantas por ha en sorgo es muy amplia, con una concentración de frecuencia (30%) de más de 80.000 plantas por hectárea.

Las plantas de maíz presentan alturas que varían entre 1,80 y 2,40 m; la mayor frecuencia (42%) presenta alturas entre 2,00 y 2,20 m.

En sorgo, la dispersión de la altura es grande, con una concentración del 30% para alturas de planta que varían entre 2,00 y 2,40 m; sin embargo, hay plantas menores de 1,60 m y mayores de 2,80 m.

La biomasa aérea del maíz, evaluada al momento de la cosecha, se concentra entre 4.000 y 8.000 kilos/ha (64%) con un rango que varía entre menos de 4.000 y hasta 16.000 kilos por ha. En sorgo asociado la dispersión es grande; la mayor concentración (60%) se presenta entre 4.000 y 16.000 kilos/ha y dentro éstos, el 24% se encuentran entre 8.000 y 12.000 kilos por ha. El rango varía entre menos de 4.000 y más de 24.000 kilos/ha.

El número de mazorcas o panojas guarda estrecha relación con el número de plantas. Más de la mitad de los cultivos con maíz asociado (57%) producen entre 30.000 y 50.000 mazorcas por ha. En sorgo asociado la dispersión es amplia, notándose una tendencia a producir más de 80.000 panojas/ha.

La mitad de los agricultores que siembran maíz asociado (50%), tienen rendimientos que varían entre 3.000 y 5.000 kilos por ha.

En sorgo asociado con maíz, la mayoría de los agricultores (72%) tienen rendimientos de grano seco entre 1.000 y 4.000 kilos/ha, de estos, más de la mitad (56%) produce entre 1000 y 3000 kilos/ha y un tercio (30%), entre 1.000 y 2.000 kilos/ha.

BIBLIOGRAFIA

1. ARZE, B. J. Alternativas para la producción de cultivos en El Salvador, basados en la incidencia de la canícula. CATIE, Turrialba, Costa Rica. 1980. 28 p.
2. ARZE, B. J. y GUILLÉN. Análisis de crecimiento en asociaciones de maíz (Zea mays L.), sorgo (Sorghum bicolor) y frijol de costa (Vigna seniensis). In XXV Reunión PCCMCA. Memoria. Tegucigalpa. Honduras. 1979. 20 p.
3. ARZE, B. J. y JUAREZ. Caracterización del sistema de cultivo maíz, maíz-sorgo en Tejutla, El Salvador. In XXVII Reunión Anual del PCCMCA. 23-25 Marzo 1981, Santo Domingo, República Dominicana.
4. GUZMAN, G. Caracterización preliminar de la canícula interestival en El Salvador. CATIE, San Salvador, 1979, 14 p. + mapas.

5. GUZMAN, G. T. Estado actual del conocimiento de la canícula en El Salvador y Centro América. In Seminario taller, Agricultura en zonas afectadas por canícula interestival en El Salvador 17-20 nov. 1981. CATIE, San Salvador, El Salvador. 1981.
6. HARGREAVES, G. H. World water for agriculture, climate, precipitation probabilities and adguacies for rainfed agriculture, Utah State University. 1977. 199 p.
7. HENAO, J. y ARZE, B. J. Identificación de determinantes del rendimiento en el sistema de cultivo maíz-sorgo. In XXVII Reunión Anual del PCCMCA 23-25 marzo 1981. Santo Domingo, República Dominicana.
8. LARIOS, J. F., JUAREZ, M. A. y AMAYA, M. C. Importancia de la canícula interestival en El Salvador. In Seminario taller, Agricultura en zonas afectadas por canícula interestival en El Salvador 17-20 nov. 1981. CATIE, San Salvador, El Salvador. 1981.
9. RICO, N. M. A. Efectos de la canícula interestival prolongada en los cultivos. CATIE, El Salvador. 1979, 18 p. + mapas.
10. WALKE, T. S. Evaluación económica y pérdidas de cosecha en maíz debido a sequía. In XXV Reunión Anual del PCCMCA 19-23 marzo 1979. Tegucigalpa, Honduras. 1979.

EFFECTO DE FACTORES METEOROLOGICOS SOBRE LAS PLAGAS

Luis A. Salas *

CONSIDERACIONES GENERALES

En la última década el enunciado MANEJO DE PLAGAS Y ENFERMEDADES ha llegado a ser un término aceptado por quienes tienen que ver con la protección de cultivos contra organismos parásitos tales como insectos, ácaros, nematodos, hongos, bacterias y virus; es decir, por los entomólogos, acarólogos, nematólogos y fitopatólogos. Esto se debe a una forma nueva, si se quiere revolucionaria, de pensar; el concepto, más bien inexacto, de erradicación de una plaga o enfermedad ha cambiado para dar lugar a los de combate supervisado y manejo de plagas y enfermedades. Una para llegar a este cambio en el modo de pensar son las serias reacciones de los ecosistemas en respuesta al exagerado uso de pesticidas. Algunas de estas reacciones son: la aparición de razas resistentes; el resurgimiento de organismos patógenos después de tratados, en poblaciones aún mayores; la aparición de brotes con carácter primario, de plagas que anteriormente eran consideradas secundarias; y las reducciones en la población de organismos beneficiosos y los efectos subsecuentes sobre otros animales, incluyendo al hombre.

El acertado manejo de plagas y enfermedades requiere un conocimiento previo de la biología de los organismos dañinos y de la dinámica de sus poblaciones. Siendo los factores meteorológicos los de mayor influencia en el comportamiento de estos organismos, es conveniente presentar su efecto en forma separada.

NEMATODOS FITOPARASITOS

Temperatura

La influencia de la temperatura sobre los nematodos fitoparásitos puede dividirse arbitrariamente en cinco fases:

1. bajas temperaturas no letales a las cuales es inhibida la actividad;

* Profesor en la Universidad de Costa Rica, Facultad de Agronomía, Departamento de Fitotecnia.

2. temperaturas óptimas;
3. altas temperaturas no letales a las cuales es inhibida la actividad;
4. temperaturas bajas letales;
5. temperaturas altas letales.

Teóricamente cada especie debe tener un rango de temperatura que corresponde a cada una de estas categorías, pero los datos confiables faltan por completo. Wallace (1963) da ejemplos para las categorías 1, 2 y 3 pero al mismo tiempo advierte que antes de pretender sacar algunas conclusiones es imperativo entender las limitaciones de tales datos. Las diferentes actividades de los nematodos (eclosión del huevo, reproducción, movimiento, desarrollo, etc.) pueden presentar diferentes requerimientos de temperatura; cuando la actividad del nematodo está asociada con la planta hospedante (desarrollo, reproducción, etc.) las relaciones de temperatura puede variar con la especie vegetal; los individuos de diferente edad o a diferentes grados de inanición, pueden comportarse de modo diferente; las diferentes poblaciones de la misma especie pueden tener diferentes características de temperatura. Por ejemplo, las poblaciones de Meloidogyne javanica de Georgia, U.S.A., Carolina del Norte y Rhodesia del Sur, cada una presenta diferencias en su respectiva tolerancia a altas y bajas temperaturas (Daulton y Nusbaum, 1962). Consecuentemente cada una de las cinco categorías es un ámbito térmico. Del mismo modo los límites de temperatura a los cuales una especie sucumbe (categorías 4 y 5) son muy variables y dependen del tiempo de exposición.

Hay probablemente, suficientes datos de observaciones en especies tales como Heterodera rostochiensis y Ditylenchus dipsaci para poder definir estas categorías, pero no es posible hacer generalizaciones para los nematodos fitoparásitos tomados en conjunto. Al examinar los datos disponibles en la literatura para los requerimientos de temperatura de los nematodos en las cinco categorías, se pone en evidencia que el rango de la temperatura baja a la cual la mayoría de los nematodos fitoparásitos quedan inactivos, es alrededor de 5 a 15°C; el rango óptimo está entre 15 y 30°C y la temperatura alta para presentar la inactividad es de 30 a 40°C. Fuera de estos rangos las temperaturas son a menudo mortales para los nematodos. Muchos otros organismos tienen ámbitos muy similares a los señalados aquí, pero para el fitonematólogo lo más importante son los factores que causan esta variación en cuanto a los requerimientos de temperatura.

El desarrollo de Heterodera rostochiensis (= Globodera rostochiensis) dentro de la planta hospedante es inhibido a temperaturas de 29 a 32°C (Fenwick, 1951), pero la emergencia de las larvas de los quistes pueden continuar hasta temperaturas de 36 y 37°C (Mai, 1952). La temperatura óptima para la invasión de esta especie a las plantas es de 15 a 16°C (Chitwood y Buhner, 1946); para emergencia de los quistes es de 21 a 25°C

(Lownsbery, 1950); y para su desarrollo de 18 a 24°C (Ferris, 1957).

La temperatura óptima para la emergencia de las larvas de quistes de Heterodera schactii es de alrededor de 25°C, pero para el movimiento ésta es de 15°C (Wallace, 1958). Estos ejemplos nos indican por qué al dar la temperatura óptima para una especie debe definirse la actividad particular del nematodo, y ésto probablemente explique por qué un fenómeno tan complejo como el aumento de población tenga un amplio rango de temperatura óptima.

Los estudios sobre las relaciones de la temperatura con la reproducción de los nematodos en plantas, son complicados porque la planta misma es afectada por la temperatura. Godfrey (1926) por ejemplo, demostró que el número de agallas en raíces de plantas de lechuga fue el más alto a 20°C y cayó empinadamente a 23°C. En apio y papa, sin embargo, el número de agallas aumentó con la temperatura hasta 27°C. La reducción de la formación de agallas en lechuga a 23°C se atribuyó al pobre desarrollo de raíces en la planta. Krusberg (1959) halló que la temperatura óptima para la reproducción de Tylenchorhynchus claytoni era de 21 a 27°C en trigo y de 29 a 35°C en tabaco. Blake (1962) demostró que la reproducción de Ditylenchus dipsaci en avena fue mayor a 8°C que a 15°C. Aún más, Blake halló que en cultivos de tejido de zanahoria, cuando a 8°C el crecimiento del mismo era lento, la reproducción se favorecía, mientras que cuando se aceleraba a 15°C la reproducción se inhibía. Por lo tanto, la reproducción está relacionada no sólo a la temperatura sino al crecimiento del hospedante. Esto puede explicar por qué en Inglaterra las infestaciones de Ditylenchus dipsaci son más severas en avena sembrada en otoño que en la sembrada en primavera.

Influencia de temperaturas alternas. El estudio de la actividad del nematodo a temperaturas constantes es obviamente artificial porque en el suelo las temperaturas fluctúan. Bishop (1953) mostró que la rata de emergencia de larvas de quistes de Heterodera rostochiensis aumentó con temperatura alternante. Después de 13 días a 25°C emergió alrededor del 45% de las larvas. Cuando la temperatura se bajó de 25 a 15°C por 5 horas, dos veces por semana, aproximadamente el 63% emergió, y cuando se bajó cinco veces por semana la emergencia fue del 82%. La rata de emergencia también aumentó en el caso de quistes de Heterodera Schactii cuando la temperatura fluctuó entre 24 y 15°C, aunque la cantidad recibida de calor fue menor que aquella para el óptimo de la temperatura constante. Slack y Hamblen (1961) expusieron quistes de Heterodera glycines a fluctuaciones de temperaturas similares a aquellas exactamente descritas para H. schactii pero no encontraron aumento en la rata de emergencia de larvas. Lewis y Mai (1957) demostraron que en suelo húmedo la viabilidad de los huevos y las larvas dentro de los quistes de H. rostochiensis decreció más con temperatura alternante que con constante. En suelo seco la temperatura fluctuante no tuvo efecto. Más información es claramente necesaria en lo referente a la influencia de temperaturas alternantes sobre la actividad de los nematodos fitoparásitos antes de que su verdadera importancia pueda ser establecida, o de cualquier intento para expresar cuantitativamente

las relaciones entre temperatura y desarrollo, eclosión, movimiento, etc. Por razones similares, la correlación entre la dinámica de poblaciones de los nematodos, la temperatura diurna y los ciclos estacionales de temperatura en el suelo, deben también esperar futuras investigaciones. Expresar la temperatura del suelo en término de medias diarias es claramente inadecuado.

Temperaturas bajas letales. Temperaturas de 0 a 5°C mataron las larvas de Meloidogyne incognita acrita pero los huevos fueron más resistentes (Bergeson, 1959). Las masas de huevos de Meloidogyne hapla toleraron -6°C por 5 días y -8°C por dos días (Guillard, 1961). Por lo tanto, los nematodos fitoparásitos en estado de quiescencia pueden soportar muy bajas temperaturas, mientras que en estados activos probablemente mueren al punto de congelación o justamente por debajo de ese punto; aunque el tiempo de exposición es obviamente importante.

Temperaturas altas letales. El tratamiento con agua caliente, de material vegetal infestado, es un método que ha sido considerado de utilidad en el combate de nematodos fitoparásitos. Investigaciones con tal método han proporcionado valiosas informaciones sobre los efectos letales de las altas temperaturas. Cuando se trazan curvas letales termales de las diferentes especies, se pone en evidencia que hay una amplia variación entre ellas. Probablemente, esta variación es causada por varios factores aparte de las diferencias entre las especies. En efecto las diferentes especies del mismo género pueden tener diferentes curvas letales termales. Christie y Crossman (1953) demostraron que las diferentes razas de Aphelenchoides fragariae necesitaron diferentes tiempos de exposición a una temperatura particular para alcanzar el punto de muerte. A 42°C, por ejemplo, la raza de fresa de Carolina del Norte (A. besseyi) necesitó 15 horas; la raza de crisantemo (A. ritzemabosi) 5 horas; y la raza de fresa de massachusetts (A. fragariae) 1 hora. Walker (1960) halló que el tiempo requerido para matar el 50% de las larvas de diferentes especies de Meloidogyne a 44°C fueron como sigue: M. arenaria, 35 minutos; M. javanica, 26,6 minutos; M. incognita acrita, 21,6 minutos; M. incognita, 18,3 minutos; y M. hapla, 8,3 minutos. Así, M. arenaria, el nematodo de nódulos de la raíz del sur, es más resistente a altas temperaturas que la especie del norte, M. hapla.

Luz

La luz especialmente en la categoría de ultravioleta, puede ser letal para los nematodos; pero la información sobre tiempo de exposición, intensidad y longitud de onda es escasa. La luz puede afectar aquellas especies que se hallan sobre el nivel del suelo, por ejemplo especies de Ditylenchus y Aphelenchoides, pero es de dudar si tiene alguna influencia sobre los nematodos del suelo, excepto a través de su efecto indirecto en la planta hospedante.

En el mes de diciembre de los años 1976 y 1977, en una misma localidad en Río Grande de Atenas, Costa Rica, se constató la presencia de una

enfermedad en las hojas de frijol (Phaseolus vulgaris L.), que por la gran similitud con la ocasionada por el hongo Isariopsis griseola Sacc. se le dio el nombre de "falsa mancha angular" del frijol. El agente causante fue determinado como Aphelenchoides besseyi, un nematodo foliar, y por lo tanto del grupo de los que atacan las plantas en sus partes aéreas. Su presencia se observó en plantas que se hallaban a la sombra proyectada por árboles del borde del campo o por la proporcionada por la planta en las hojas de los estratos inferiores; en ambos casos se mantenía un ambiente húmedo, en una época muy lluviosa (octubre, noviembre). En forma indirecta la reducción de la luz mantuvo un ambiente húmedo favorable al desarrollo del nematodo productor de la enfermedad.

Agua, lluvia y viento

El agua es una de las sustancias más importantes en la vida; sin ella la vida no podría continuar. El agua no sólo permite la continuación de la especie sino que también es factor de dispersión, y, aún más de control. Los nematodos terrestres son considerados algunas veces acuáticos por cuanto ellos viven ya sea en sitios con alto contenido de humedad o en una película de agua alrededor de su cuerpo. Sin embargo, pocos nematodos fitoparásitos pueden sobrevivir por mucho tiempo en agua, donde no pueden conseguir ni abastecimiento de alimento ni rápido intercambio de gases.

El agua es un medio frecuente de dispersión pasiva que puede presentarse en la forma de escorrentía o deslizamiento superficial, arroyos, ríos, canales de irrigación, percolación y corrientes de agua subterránea. Algunas formas son sin duda, más importantes que otras. Aunque mucho se puede especular al respecto, lo cierto es que la información sobre el transporte de los nematodos por el agua está muy dispersa. Su transporte mediante el agua de escorrentía es comúnmente aceptado, pero hay pocos datos disponibles. Heterodera rostochiensis fue citada haberse dispersado 259 m por agua de escorrentía en una sola estación (Chitwood, 1951). Dolichodoros heterocephalus y Hirschmanniella gracilis son hallados a lo largo de las playas del Lago Champlain (Fisher, 1968) y sin duda son acarreados por el agua en algún grado, como ocurre también muy probablemente en cualquier otro nematodo de la zona litoral.

La diseminación de los nematodos por el agua de riego ha sido demostrada en forma conclusiva por Faulkner y Bolander (1966) en la cuenca del Columbia al Este de Washington. Ellos hallaron de 25 a más de 200 nematodos por galón (3.785 l) de agua de riego, y 10 a 20% de éstos eran fitoparásitos. La mayor concentración de formas parásitas tuvo lugar a mediados de la estación e incluía Ditylenchus, Paratylenchus, Pratylenchus, Tylenchorhynchus, Heterodera, Meloidogyne, Trichodorus y Hemicycliophora. Camellones fumigados que fueron irrigados con agua de un canal de riego llegaron a infectarse fuertemente con nematodos fitoparásitos en un período de tres años, mientras que aquellos irrigados con agua de pozo no llegaron a infectarse (Faulkner y Bolander, 1970).

La infiltración y la percolación del agua probablemente sean las responsables de la dispersión vertical de los nematodos en el suelo, aunque la

distancia a que puedan profundizar varía con las propiedades del suelo y la precipitación. En zonas templadas la percolación generalmente es mayor durante la primavera, decreciendo con el advenimiento de temperaturas más cálidas y el aumentado crecimiento vegetativo. Pareciera que cualquier movimiento de los nematodos hacia abajo debiera seguir patrones similares, aunque no a la profundidad a que se encuentra el agua. La importancia de la percolación en el acarreo de nematodos a profundidades mayores es cuestionable ya que la mayoría de las raíces se encuentra en el estrato superior, de 30 cm, que es generalmente, el área en que se presenta la mayor actividad de los nematodos. El movimiento de Criconemoides curvatum alrededor de claveles en cajas de observación fue lento y mayormente vertical en vez de horizontal. El mayor movimiento vertical de los nematodos fue atribuido al movimiento hacia abajo con el agua de percolación (Streu et al., 1961). También, se ha demostrado que el movimiento de Radopholus similis es facilitado por la percolación (DuCharme, 1955). La circunstancia varía, y por lo tanto, el investigador debe evaluar cada caso individualmente.

La influencia de la humedad del suelo es a veces evidente en las relaciones entre lluvia y cambios poblacionales de nematodos. Minton y sus colegas (1960) hallaron que la lluvia y el tamaño de la población no estaban estrechamente relacionados para Meloidogyne incognita acrita, Trichodorus christiei, Pratylenchus brachyurus y Criconemoides curvatum, pero que había alguna correlación para Hoplolaimus tylenchiformis, un nematodo ectoparásito migratorio. Poblaciones de Paratylenchus projectus, Tylenchorhynchus brevidens y Aphelenchus avenae aumentaron después de las lluvias, y Norton (1959) sugiere que esto es causado por la aumentada eclosión cuando el suelo está húmedo. El aumento en el número de agallas en papa por Meloidogyne sp. está asociado con la lluvia caída durante el período de crecimiento (Parris, 1948), mientras que el número de Tylenchorhynchus martini en frijol de soya decrece con el aumento en la cantidad de lluvia (Hollis y Johnston, 1957). La población de Ditylenchus dipsaci en el suelo, en una parcela de avena, subió después de las lluvias y declinó a un bajo nivel en un subsecuente período seco (Wallace, 1962).

Aunque los microorganismos pueden ser llevados a largas distancias por el viento hay poca información sobre las distancias a que pueden ser acarreados los nematodos por él o sobre la duración de su viabilidad. Probablemente, éste fenómeno se experimenta en mayor grado en suelos desnudos desprovistos de vegetación; a mayor vegetación sobre el suelo menor la erosión eólica y por lo tanto, menor el transporte de nematodos por este elemento.

Petherbridge y Jones (1944) reportaron que Heterodera schachtii es dispersado por el viento, y Chitwood (1951) halló que los quistes de Heterodera rostochiensis pueden ser "soplados" a una distancia de 285 m y aún contener formas viables. White (1953) halló que la recuperación de quistes de Heterodera rostochiensis declinó notoriamente en trampas que habían sido colocadas a mayor altura en el aire cuando se comparó con las que habían sido colocadas cerca del nivel del suelo. Orr y Newton en Texas (1971), colectaron nematodos de 28 géneros, tanto de trampas colocadas sobre el nivel del suelo como de los arrastres de suelo por el viento. Muchos de los nematodos recuperados se hallaron en estado viable, y aproximadamente la mitad de los géneros contenían formas portadoras de estilete tales como Criconemoides,

Helicotylenchus, Meloidogyne, Pratylenchus, Merlinius y Tylenchorhynchus. Se puede concluir por lo tanto, que el viento es un medio de diseminación de nematodos más importante de lo que había sido señalado. Su importancia aumenta conforme una mayor porción de tierra llega a ser más extensamente cultivada, con la subsecuente exposición del suelo.

Límites geográficos aparentes de tres especies de Meloidogyne en Costa Rica

López y Salazar (1978) al estudiar la caracterización morfométrica de algunas poblaciones de Meloidogyne hapla con miras a aportar datos para el reconocimiento de la especie con fines de diagnóstico, señalan su presencia muy diseminada en una área de la Cordillera Volcánica Central de Costa Rica donde la altitud varía entre 1.360 y 2.550 m snm, con temperaturas promedio entre 14 y 19°C y con una precipitación sobre los 2.000 mm por año. El límite inferior de esta área corresponde a la localidad conocida como San Luis de Santo Domingo, provincia de Heredia (1.360 m snm y 19°C de temperatura promedio). En ella, Perlaza et al. (1978) señalan a M. incognita atacando lechuga en asocio de M. hapla. Aparentemente esta localidad, es el límite geográfico superior para M. incognita; sin embargo, es posible que investigaciones posteriores permitan subir este límite para M. incognita a la altura de Pacayas de Cartago (1.760 m snm y 17,3°C) o tal vez de Llano Grande de Cartago y Tapezco de Alfaró Ruiz, Alajuela (1.900 m snm, 15°C y 1.900 m snm, 16,6°C, respectivamente).

Salazar (1980) informó acerca de la presencia de M. javanica en plátano, en Río Frío de Heredia y Palmar Norte de Puntarenas; y en la misma publicación, da a conocer los resultados obtenidos en su estudio morfométrico de la especie y de respuesta de hospedantes con poblaciones procedentes de La Cuesta, cantón de Corredores y de Parrita, cantón de Aguirre, de la provincia de Puntarenas, y de Guápiles, cantón de Pococí, de la provincia de Limón. Todas estas localidades se hallan entre 0 y 100 m snm y a una temperatura promedio probable entre 26 y 30°C. El límite geográfico de esta especie podría situarse entre esos rangos de latitud y de temperatura.

Hidalgo y López (1980) para su trabajo sobre caracterización morfométrica de cuatro poblaciones de M. incognita usaron material proveniente de San Isidro de El General y de Puriscal, de la provincia de San José, y de San Ramón de la provincia de Alajuela. Esta zona podría considerarse intermedia entre las localidades citadas de la Cordillera Volcánica Central y las llanuras cálidas del Atlántico y el Pacífico, donde se sospecha la presencia de esta especie en asocio de M. javanica en plátano y banano. Así es posible señalar un amplio rango geográfico para M. incognita desde 0 hasta 1.360 m snm y uno estrecho para M. javanica.

ACAROS FITOPARASITOS

Por ser los tetraníquidos (Tetranychidae: ACARI) más comúnmente conocidos como arañas rojas, los más ampliamente distribuidos y mejor conocidos, se hace uso de ellos para tipificar el efecto de los factores meteorológicos sobre los ácaros fitoparásitos.

Las arañas rojas, al igual que otros artrópodos, son grandemente afectados por las condiciones meteorológicas. Un buen número de ejemplos evidencian que las especies se han adaptado de varias maneras para hacerle frente a los estados de emergencia y a los riesgos estacionales involucrados que atentan contra su vida; esto lo consiguen mediante respuestas a estímulos para enfrentarse a la adversidad por factores meteorológicos. Así, el fotoperíodo, un índice más confiable que la misma temperatura para "presentir" el advenimiento de la estación, es un factor clave, particularmente en la inducción a la diapausa. Esta última se define como un estado fisiológico de desarrollo retenido, que permite a un organismo sobrevivir más fácilmente a un período de condiciones desfavorables.

La temperatura, la humedad, la lluvia, la luz y el viento, son también importantes en la vida de los ácaros fitoparásitos. La ecología fisiológica de los insectos en la forma presentada por Andrewartha y Birch (1954) y Messenger (1959) provee la orientación general para estas relaciones. Más adelante se dan algunos datos específicos en relación con ciertas especies de arañas rojas, aunque la información sobre el papel de los factores meteorológicos en el campo de la ecología de los tetraníquidos es más bien limitada. Mucha de esta información está basada en observaciones generales, otra en estudios específicos que muestran la influencia de uno o más factores en el desarrollo y supervivencia, o en el inicio de la diapausa al nivel fisiológico. Algunas observaciones se refieren a aspectos fenológicos del ciclo de vida y a las posibilidades de pronosticar aumentos súbitos de poblaciones de ácaros mediante la utilización de los datos meteorológicos. Un reciente intento en este sentido ha sido presentado por Allen y Syvertsen (1981) en relación con el "ácaro de herrumbre" de los cítricos.

Temperatura

Un buen número de investigadores han escrito sobre la temperatura y su relación con el desarrollo de los tetraníquidos, su supervivencia y reproducción. Seguidamente se da alguna información al respecto.

Las bajas temperaturas invernales son causa de mortalidad en los estados hibernantes y representan el principal reto al que se han enfrentado muchas especies mediante el desarrollo de estados tolerantes al frío o de diapausa, comúnmente en el estado de huevo o de hembra adulta. La temperatura tiene un papel en el inicio o terminación de la diapausa. McGregor (1914), Klein (1963), Lienk y Chapman (1958), McPhee (1961) y Stenseth (1965) reportaron tolerancia de los tetraníquidos al frío o al calor. Durick (1948) halló que las atomizaciones usadas contra los huevos hibernantes de Panonychus ulmi., en Holanda, retardó la eclosión del huevo que no fue afectado. De modo que el uso de tales materiales puede resultar en una falsa impresión de las inherentes relaciones tiempo-temperatura-desarrollo.

Elmer (1965) reporta que Eotetranychus yumensis (McGregor) puede tener un estado estival, y como especie de desierto un estado inactivo en verano. Durante un período de observación de 11 años, en Yugoslavia, Kac (1963) halló que existía una relación entre los niveles poblacionales alcanzados por Tetranychus urticae y las condiciones a las cuales las hembras hibernantes

fueron expuestas. Las temperaturas medias durante el mes de febrero fueron de mucha importancia; temperaturas relativamente altas durante ese mes casi invariablemente fueron seguidas de rápidos aumentos de esta especie. En Florida, las temperaturas relativamente bajas en un ambiente moderado pueden favorecer a Eotetranychus sexmaculatus en citrus (Pratt y Thompson, 1953; Muma, 1958), pero pueden reducir Panonychus citri y Eutetranychus banksi por un período considerable (Simanton, 1965).

El tiempo frío en primavera aparentemente causa mortalidad de las larvas recién nacidas de Panonychus ulmi (Cutright, 1963; Oatman, 1965). En Colombia Británica, Canadá, Anderson y Morgan (1958) hallaron que Bryobia rubrioculus (= B. arborea) y B. praetiosa fueron más abundantes durante años fríos y húmedos que en años cálidos.

Las especies tropicales y subtropicales no tienen estados con tolerancia al frío o de diapausa. Las áreas de distribución de estas especies pueden estar limitadas por las temperaturas mínimas medias. Nickel (1960) consideró que la especie T. desertorum estaba limitada al oeste de los Estados Unidos por temperaturas medias de aproximadamente 4,4°C, durante el invierno en pruebas de laboratorio halló que 10°C tenían algún efecto letal.

Los períodos medios de incubación para Tetranychus urticae fluctuaron entre 2,5 días a 32,5°C y 33,2 días a 11,5°C (Harrison y Smith, 1961). De acuerdo con Cagle (1949), Gasser (1951), van Marle (1951), Sinke (1953), y Bravenboer (1959), estos valores varían entre 2,5 días a 34° - 38°C y 19 a 20,5 días a 12° - 15°C. El tiempo requerido para el desarrollo desde la eclosión del huevo al estado adulto varía entre 3 días a 32,5°C - 38°C y 21 días a 12° - 15°C. De acuerdo con Das y Das (1967) el tiempo requerido para el desarrollo de Oligonychus coffeae desde la eclosión del huevo hasta el estado adulto varía entre 4,9 días a 30°C y 8,7 días a 20°C.

En Japón, Tsugawa, Yamada y Shirasaki (1961), trabajando con el ácaro rojo europeo, Panonychus ulmi. (Koch), hallaron que no hubo desarrollo de los huevos de invierno a 7°C o a temperaturas más bajas que ésta. También hallaron una alta correlación entre las temperaturas en abril y la eclosión inicial de los huevos en invierno, de utilidad para efectos de pronóstico.

La eclosión de los huevos en estado de diapusa y la reactividad de los adultos hibernantes está generalmente sincronizada con el desarrollo del follaje de la planta hospedante, y ambas están asociadas con el avance de apropiadas temperaturas de primavera. En Canadá, la eclosión de los huevos de invierno de Panonychus ulmi comenzó alrededor de mediados de mayo (Guilliatt, 1935; Parent y Beaulieu, 1957) mientras que en Virginia la eclosión comenzó en la última semana de abril (Cagle, 1946).

Miller (1952) estudió el efecto de la temperatura sobre el desarrollo de P. ulmi y halló una rata escasamente más rápida de desarrollo bajo temperaturas fluctuantes, en contraste con las constantes de aproximadamente los mismos valores. Parent (1965) estudió la influencia de la temperatura sobre el desarrollo embrionario y postembrionario de P. ulmi en Quebec, él encontró que el desarrollo embrionario comienza a 8,9°C, aumenta entre 11,5°

y 24,5°C y decrece sobre 24°C. De modo similar, el desarrollo de los estados postembrionicos comienza a 8°C, aumenta entre 11,5° y 22,5°C y decrece más allá de ese punto.

André (1942) manifiesta que los daños por los tetraníquidos en Francia, a menudo son peores después de un invierno severo que uno suave porque sus predadores tienen menos oportunidad de alimentarse.

El número de generaciones en los tetraníquidos y su actividad estacional, está correlacionada con la temperatura y modificado por otros factores como la condición nutricional de la planta hospedante. Ejemplos son Olygonychus punicae (Hirst) McMurtry y Johnson, 1966), Tetranychus desertorum (Mickel, 1960), Panonychus citri (Jeppson et al., 1957) y Tetranychus urticae (Gasser, 1951; Linke, 1953; Hussey, Parr y Crocker, 1957; Bravenboer, 1959). Jeppson et al. (1957) hallaron que altas poblaciones de P. citri pueden presentarse aún en invierno en el sur de California, y Hussey, Parr y Crocker (1957) hallaron que en los invernaderos la duración del estado de huevo para las hembras de Tetranychus urticae decreció de 5,9 días a 21,1°C a 2,3 días a 35°C, y que la duración para la larva, protoninfa y deutoninfa combinada decreció de 7,4 días a 21,1°C a 3,4 días a 32°C, y que subió a 4,1 días a 36,7°C.

Mori (1961) reportó las preferencias en temperatura (en °C) para cuatro especies de tetraníquidos: Panonychus ulmi, 25 a 28; Bryobia praetiosa, 21 a 24; Tetranychus viennensis, 25 a 30; y T. urticae, 13 a 35.

Relativamente poco se conoce sobre los límites superiores de tolerancia de temperatura de tetraníquidos. Mori (1961) reporta las siguientes temperaturas (en °C) a las cuales la muerte ocurrió para las hembras adultas: Panonychus ulmi, 44 a 47; Tetranychus viennensis, 43,5 a 45; T. telarius (= urticaei), 45 a 46,5. Se dan también valores para los machos. Shinkaji (1962) halló que hembras adultas de P. citri son matadas a 46 - 47°C. Roesler (1953) observó que en Pfalz, República Federal Alemana, las densidades de P. ulmi en árboles frutales declinaron drásticamente después de que las temperaturas alcanzaron valores de 40°C por varios días.

Humedad y temperatura

La humedad, y la humedad en combinación con la temperatura, son factores importantes en la ecología de las arañas rojas. La pérdida o ganancia por absorción de agua de la atmósfera para los pequeños organismos como los ácaros es fundamental para su existencia (Less, 1946; Winston, 1963 a,b, 1964). El volumen de alimentación efectuado por ellos, y por lo consiguiente el daño que ocasionan puede estar relacionado con el balance hídrico (Wharton y Cross, 1957; Wharton, 1963). Los tetraníquidos se alimentan de tejidos vegetales cargados de humedad y así se las arreglan para reponer la pérdida de agua hacia la atmósfera. El estado de huevo sin embargo, puede llegar a desecarse rápidamente en aire seco. Huffaker (1958) y Huffaker, Shea y Herman (1963) hallaron que huevos de Eotetranychus sexmaculatus en naranjos, en un estudio ecosistémico de laboratorio, se deshidrataron y no pudieron eclosionar si la humedad se redujo a 40% por un largo período a

temperaturas de alrededor de 27°C.

Nickel (1960) demostró que un stock de la Costa Oeste de Tetranychus telarius (= T. urticae) se desarrolló más rápidamente, con una más alta producción de huevos a una baja humedad (25 a 30%) en contraste con una alta (85 a 90%); sin embargo, halló lo contrario para T. desertorum. Boudreaux (1958) observó un reducido período de producción de huevos y de oviposición y una aumentada mortalidad de larvas recién nacidas a alta humedad, en contraste con baja humedad, para cuatro especies de tetraníquidos; y postuló que la pérdida de agua por evaporación determina la cantidad que el ácaro puede ingerir por alimentación. Así, a bajas humedades, la ingestión de nutrientes y la reproducción serán mayores. La concepción de Boudreaux concuerda con los resultados de Nickel para T. urticae y con los propios para las cuatro especies, pero no con los de Nickel sobre T. desertorum (McEnroe, 1963). Más aún, los resultados de McEnroe para la raza de Blauvelt de T. urticae fueron contrapuestos a los hallados por Nickel. McEnroe concluyó que aunque los ácaros pueden perder una considerable cantidad de agua a través de su sistema traqueal a una baja humedad, la excreción fluida por esta ruta no es un requerimiento absoluto. Boudreaux (1963) con más informes resume los hallazgos así:

"La solución al problema de la conservación del agua en animales tan pequeños como las arañitas rojas se logra mediante una combinación de adaptaciones. El estilóforo (segmentos basales de los quelíceros fusionados) puede retraerse de tal manera que los peritremas y aberturas espiraculares pueden cerrarse completamente (Blauvelt, 1954) restringiéndose así la evaporación a voluntad o cuando se considera necesario. La cutícula es relativamente impermeable (Gibbs y Morrison, 1959; McEnroe, 1961 a) y la dieta es líquida. La conservación adicional de agua se logra a través de la producción de guanina, una purina insoluble típica de los arachnoideos, como la principal excreción nitrogenada (McEnroe, 1961 b). La cantidad de agua suficiente para mantener la vida es obtenida por el ácaro por medio de la oxidación de la grasa almacenada durante el estado de diapausa en hembras hibernantes, y en los huevos, mediante el recubrimiento de los mismos con una capa cerosa extremadamente impermeable. El consumo de oxígeno en las formas en estado de diapausa de Tetranychus telarius (= T. urticae) es muy bajo en comparación con el de las formas activas, y el estilóforo generalmente restringe la pérdida de agua mediante el cierre de las tráqueas (McEnroe, 1961 a)."

Mori y Chant (1966) estudiaron la influencia de la humedad del aire sobre la hidrotaxis y la hidrokinesis de Tetranychus urticae bajo condiciones de laboratorio a 23,3°C. En combinaciones de altas versus bajas humedades, agudas reacciones fueron observadas para evitar altas humedades. En combinaciones menos extremas las respuestas de los ácaros fueron menos obvias. T. urticae mostró respuestas kinéticas completamente diferentes a distintos niveles de humedad. Casi se abstuvo de todo movimiento después de una exposición a altas humedades por cuatro horas, pero cuando se expuso a más bajas humedades (76 y 33 %) continuó su movimiento por 24 y 12 horas

respectivamente. No se notaron diferencias en las reacciones de los machos y las hembras.

Numerosos reportes señalan que el tiempo caluroso y seco conduce a aumentos violentos de los tetránquidos. Tal es el caso con Oligonychus yothersi en café durante la época seca de febrero, marzo y abril en algunas zonas cafetaleras del país.

Datos recientes arrojaron luz sobre las muy significativas diferencias entre varias especies y situaciones. Rodríguez (1964) sugiere que cambios en la fisiología de la planta bajo condiciones de sequía pueden tornar la planta más adecuada para la reproducción de los ácaros. Andrés (1957) estudió la relación de temperatura y humedad con la reproducción y supervivencia de tres tetránquidos en California. Altas temperaturas y bajas humedades fueron más favorables a T. pacificus que a T. urticae y T. atlanticus. El último se mostró mejor adaptado a bajas temperaturas y altas humedades, y se encontró a T. urticae entre ambos. Leigh (1963) consideró que estas posiciones relativas que operan presumiblemente en conjunción con la competencia interespecífica, parecen explicar la presencia de estas tres especies en algodón en el Valle San Joaquín, en California; por ejemplo T. pacificus domina en el seco y más caliente lado oeste, T. urticae, en el lado este más húmedo y más frío, y T. atlanticus, en el área central o traslapando las otras dos.

Das y Das (1967) estudiaron las interrelaciones de temperatura y humedad del aire con los huevos de Oligonychus coffeae en el norte de la India, hallaron que ningún huevo eclosionó a los 34°C, prescindiendo de la humedad del aire, o a 17 por ciento de humedad del aire prescindiendo de la temperatura. Las condiciones óptimas para una eclosión superior al 90% fueron proporcionadas por una combinación de temperaturas dentro de los límites de 20° a 30°C, y de 49 a 94 por ciento de humedad relativa.

Lluvia y viento

Los primeros investigadores atribuyeron a la lluvia y al viento la reducción de poblaciones de ácaros por el efecto del lavado sobre el follaje (Frost, 1919; Ross and Robinson, 1922; C.C. Hamilton, 1926; Franklin, 1929). Después de períodos lluviosos Kremer (1956) halló gran cantidad de ácaros muertos de la especie Bryobia rubrioculus (= B. praetiosa) sobre las hojas. En experimentos de laboratorio este autor halló que la exposición de esta especie a condiciones de humedad por 4, 8 y 16 horas causó la muerte del 30, 70 y 95 por ciento de la población respectivamente. Los datos correspondientes para Panonychus ulmi fueron 5, 10 y 40 por ciento de mortalidad respectivamente. Los estados quiescentes no fueron afectados. Tanaka e Inoue (1959) y Cheng (1966) presentan datos que muestran reducciones de P. citri después de fuertes lluvias, como resultado de observaciones personales. En Costa Rica se puede concluir lo mismo de Eutetranychus banksi en citrus y de Oligonychus (O.) yotherse en café; las poblaciones de Oligonychus (O.) coffeae en café son grandemente reducidas durante los monzones (Das, 1959), como se indicó de otra región.

Podría esperarse que fuertes lluvias causen severas reducciones de población, particularmente en especies que habitan la superficie superior de las hojas y que no son eficientes tejedores de hilos de seda; esto sucede con las especies de los géneros Oligonychus y Eutetranychus, en las que el efecto puede llegar a intensificarse si las fuertes lluvias van acompañadas por turbulencias, que tienden a exponer la superficie inferior del follaje. Tanaka (1963) reportó que en Japón no sólo los estados activos sino también, los huevos de Panonychus citri son barridos por tifones. Osakabe (1967) halló que la multiplicación de Tetranychus kanzawai en té en Japón, fue sorprendentemente inhibida por la lluvia y especialmente, por la combinación de lluvia y viento.

Luz

La importancia de la luz en la fotosíntesis y en la producción de alimento es obvia. Suski y Naegele (1963), al estudiar la reacción de Tetranychus urticae a la luz, reportaron que esta especie exhibe fases "sedentarias" y "dispersantes". Sobre una hoja fresca de alimento adecuado, los ácaros mostraron poca o ninguna respuesta a la luz, pero, los autores señalan:

"tan pronto como las hojas son destruídas por la alimentación del ácaro, se presenta una escasez de la disponibilidad de alimento y una disminución de la humedad relativa en la superficie de la hoja (Boulanger, 1958) con consecuente desecación. La insuficiente alimentación y la desecación produce un aumento en la actividad de la población acarina: en otras palabras, ocasiona un cambio hacia la fase "migratoria", y en la interacción con algún factor aún desconocido, causa una respuesta a la luz del tipo taxis. Ambas cosas, la aumentada actividad y la reacción positiva a la luz con otras secuencias de respuesta a estímulos, capacitan al animal más efectivamente para la búsqueda de nuevas fuentes de alimento".

La morfología de los ojos de Tetranychus urticae fue estudiada por McEnroe (1969). Después de describir la morfología y la anatomía de los ojos manifiesta:

"La morfología del ojo anterior muestra que éste puede actuar como un detector del grado de rastreo. Las lentes movibles desvían el eje óptico dorsoventralmente, mientras que las células de la retina permanecen estacionarias en la base del cuerpo vítreo. La densa masa de gotitas de aceite rojo escudan o protegen las células de la retina, y el cambio de un índice bajo de refracción del cuerpo vítreo a uno más alto de la guarda de aceite rojo que la circunda, impide las reflexiones internas. Esta eliminación de reflexiones internas hace que sólo la luz que entra a lo largo del eje central del cuerpo vítreo pueda estimular las células de la retina.

"La estructura del ojo posterior, con su ausencia de guarda de aceite aparejado de la cutícula transparente del ácaro, indicaría que la luz, aunque reunida más eficientemente por los lentes convexos, no necesita penetrar a través de los

lentes para estimular las células de la retina. Verdaderamente, al examinar los ácaros vivos bajo el microscopio muestra que la luz dirigida desde abajo pasa a través del cuerpo de los ácaros y sale a través del ojo posterior. El gran número de celdas en el ojo anterior sugiere que receptores para ambas, luz verde y ultravioleta (U.V.) están presentes en el ojo posterior. Este, en contraste con el anterior, parecería ser casi un receptor omnidireccional con su máxima eficiencia en el cuadrante dorsal. Estos ojos obviamente no configuran una imagen sino que más bien sirven como detectores de grados. Las pocas células sensoriales presentes restringirían el alcance dinámico de los ojos. La masa óptica en la base del nervio óptico, por la apariencia y analogía a otros artrópodos, parecería ser un primer candidato para un rol neurosecretor".

LITERATURA CITADA

1. ALLEN, J. C. y J. P. SYVERTSEN. 1981. The world of citrus rust mite: microclimate prediction problem. Proc. of Symposia IX Intern. Congr. of Plant Protect., Washington, D. C. (1979) 1:138-140.
2. ANDREWARTHA, H. G. y L. L. BIRCH. 1954. The distribution and abundance of animals. Univ. of Chicago. Press, 782 p.
3. ANDERSON, U. H. y C. V. G. MORGAN. 1958. Life-histories and habits of the clover mite, Bryobia praetiosa Koch, and the brown mite Bruobia arborea M. y A. in British Columbia (Acarina: Tetranychidae) Can. Entom. 90:23-42.
4. ANDRE, M. 1942. L'hivernation chez le tétranyques Tetranychus et Paratetranychus et ses rapports avec la lutte contre ces acariens phytophages. Bull. Mus. His. Nat., Paris (2) 14:57-62.
5. ANDRES, L. A. 1957. An ecological study of three species of Tetranychus (Acarina: Tetranychidae) and their response to temperature and humidity. Ph.D. Thesis, Univ. of California, Berkeley, 49 p.
6. BERGESON, G. B. 1959. The influence of temperature of the survival of some species of the genus Meloidogyne in the absence of a host. Nematologica 4:344-354.
7. BISHOP, D. D. 1953. Hatching the contents of cysts of Heterodera rostochiensis with alternating temperature conditions. Nature, Lond. 172:1108.
8. BLAKE, C. D. 1962. Some observations on the orientation of Ditylenchus dipsaci and invasion of oat seedlings. Nematologica 8:177-192.
9. BLAUVELT, W. E. 1945. The internal morphology of the common red spider mite (Tetranychus telarius L.). Cornell Univ. Agr. Exp. Sta. Mem. 270.

10. BOUDREAU, H. B. 1958. The effect of relative humidity on egg-laying, hatching, and survival in various spider mites. *J. Insect Physiology* 2:65-72.
11. _____. 1963. Biological aspects of some phytophagous mites. *Ann. Rev. Entom.* 8:137-154.
12. BOULANGER, L. W. 1958. The effect of European red mite feeding injury in certain metabolic activities on Red Delicious apple leaves. *Maine Agr. Exp. Sta. Bull.* 570, 34 p.
13. BRAVENBOER, A. 1959. De chemische en biologische bestrijding van de spintmijt Tetranychus urticae Koch (In Dutch; English Summary). Diss. Landbouwhogeschool Wageningen, 85 p.
14. CAGLE, L. R. 1946. Life history of the European red mite. *Tech. Bull. Virginia Agr. Exp. Sta.* 98:1-19.
15. _____. 1949. Life history of the two-spotted spider mite. *Tech. Bull. Virginia Agr. Exp. Sta.* 113:1-31.
16. CHENG, C. 1966. Observations on the ecology of citrus red mite (Panonychus citri (McGr.)) in Taiwan. (In Chinese; English Summary). *Pl. Prot. Bull., Taiwan* 8:80-89.
17. CHITWOOD, B. G. 1951. The golden nematode of potatoes. U. S. Dept. Agric. Circ. 875. 48 p.
18. _____, y E. M. BUHRER. 1946. Further studies on the life history of the golden nematode of potatoes, Heterodera rostochiensis Wollenweber. *Proc. Helm. Soc. Wash.* 13(2):54-56.
19. CHRISTIE, J. R. y L. CROSSMAN. 1935. Water temperatures lethal to begonia, chrysanthemum and strawberry "strains" of the nematode Aphelenchoides fragariae (Anguillulidae). *Proc. Helm. Soc. Wash.* 2(2):98-103.
20. DAS, G. M. 1959. Bionomics of the tea red spider Oligonychus coffeae (Nietner). *Bull. Ent. Res.* 50:265-274.
21. _____ y S. C. DAS. 1967. Effect of temperature and humidity on the development of tea red spider mite Oligonychus coffeae (Nietner). *Bull. Ent. Res.* 57:433-436.
22. DAULTON, R. A. y C. J. NUSBAUM. 1962. The effect of soil temperature on the survival of the root-knot nematodes Meloidogyne javanica and M. hapla. *Nematologica* 6:280-294.
23. DIERICK, G. F. M. 1948. Factoren welke van belang zijn bij de beoordeling van de mate van spintbestrijding dor wintersprocimiddelen. *Tijdschr. Plziekt.* 54:81-85.

24. DUCHARME, E. P. 1955. Subsoil drainage as a factor in the spread of the burrowing nematode. Proc. Fla. State Hort. Soc. 68:29-31.
25. ELMER, H. S. 1965. The Yuma spider mite, Eotetranychus yumensis, on citrus. J. Eco. Ent. 58:534-536.
26. FAULKNER, L. R. y W. J. BOLANDER. 1966. Occurrence of large nematode populations in irrigation canals of South Central Washington. Nematologica 12:591-600.
27. _____ y W. J. BOLANDER. 1970. Agricultural-polluted irrigation water as a source of plant-parasitic nematode infestation. J. Nematol. 2:368-374.
28. FENWICK, D. W. 1951. Investigations on the emergence of larvae from the cysts of the potato root ulworm, Heterodera rostochiensis. 4. Physical conditions and their influence on larval emergence in the laboratory. J. Helminth. 25(1/2):37-48.
29. FERRIS, J. M. 1957. Effect of soil temperature on the life cycle of the golden nematode in host and non-host species. Phytopathology 47:221.
30. FISHER, K. D. 1968. Population patterns of nematodes in Lake Champlain Nematologica 14:7 (Abstr.).
31. FRANKLIN, H. J. 1929. Injurious and beneficial insects affecting cranberry. Bull. Mass. Agr. Exp. Sta. 247:314-314.
32. FROST, S. W. 1919. The imported red spider (Paratetranychus pilosus C. & F.) attacking apple foliage. J. Eco. Ent. 12:407-408.
33. GASSER, R. 1951. Zur keuntnis der gemeinen spinmilbe Tetranychus urticae Koch. 1. Mitteilung: Morphologie, Anatomie, Biologie and Oekologie. Mit. schweiz. ent. Ges. 24:217-262.
34. GIBBS, K. E. y F. O. MORRISON. 1959. The cuticle of the two-spotted spider mite Tetranychus telarius. Can. Jour. Zool. 37:634-637.
35. GULLIATT, F. C. 1935. The European red mite, Paratetranychus pilosus C. & F. in Nova Scotia. Can. Jour. Res. D. Zool. 13:1-17.
36. GODFREY, G. H. 1926. Effect of temperature and moisture on nematode rootknot. J. Agric. Res. 33(3):223-254.
37. GUILLARD, A. 1961. Onderzockingen omtrent de biologie, de verspreiding en de bestrijding van wortelknobbelaaltjes (Meloidogyne spp.). Meded. LandbHooges. Gent. 26(2):515-646.
38. HAMILTON, C. C. 1926. The European red mite. New Jersey Agr. Exp. Sta. Circ. 187.

39. HARRISON, R. A. y A. G. SMITH. 1961. The influence of temperature and relative humidity on the development of eggs and on the effectiveness of ovicides against Tetranychus telarius L. (Acarina: Tetranychidae) N. Z. Jour. Sci. 4:540-549.
40. HIDALGO, L. y R. LOPEZ. 1980. Caracterización morfométrica de cuatro poblaciones de Meloidogyne incognita de Costa Rica. Turrialba 30 (2):129-135.
41. HOLLIS, J. P. y T. JOHNSTON. 1957. Microbiological reduction of nematode populations in water saturated soils. Phytopathology 47(1):16.
42. HUFFAKER, C. B. 1958. Experimental studies on predation: dispersion factors and predator-prey oscillations. Hilgardia 27(14):343-383.
43. _____, K. P. SHEA y S. G. HERMAN. 1963. Experimental studies on predation: complex dispersion and levels of food in an acarine predator-prey interaction. Hilgardia 34(9):305-330.
44. HUSSEY, N. W., W. J. PARR y C. D. CROCKER. 1957. Effect of temperature on the development of Tetranychus telarius L. Nature. London 179:739-740.
45. JEPSON, L. R., C. A. FLESCNER, M. J. JESSER y J. O. COMPLIN. 1957. Influence of season and weather on citrus red mite populations on lemons in southern California. J. Eco. Ent. 50:293-300.
46. KAC, M. 1963. Der Einfluss der Februartemperatur auf die Dynamik der Spinnmilbenpopulation in der Hopfenkultur. Mitt. schweiz. ent. Ges. 36:58-59.
47. KLEIN, H. Z. 1963. Contributions to the knowledge of the red spider in Palestine. Bull. Agr. Res. Sta. Rehovot 21, 63 p.
48. KREMER, F. W. 1956. Untersuchungen zur Biologie, Epidemiologie and Bekämpfung von Bryobia praetiosa Koch. Hofehnbr. Bayer Pf1 Schutz-Nachr. 4:5-65.
49. KRUSBERG, L. R. 1959. Investigations on the life cycle, reproduction, feeding habits and host range of Tylenchorhynchus claytoni Steiner. Nematologica 4:187-197.
50. LEES, A. D. 1946. The water balance in Ixodes ricinus L. and certain other species of ticks. Parasitology 37:1-20.
51. LEIGH, T. F. 1963. Considerations of distribution, abundance, and control of acarine pests on cotton. In: Advances in Acarology, Vol. I Ithaca, N. Y. Cornell Univ. Press, pp. 14-20.
52. LEWIS, F. J. y W. F. MAI. 1957. Survival of encysted eggs and larvae of the golden nematode to alternating temperatures. Phytopathology 47:527.

53. LIENK, S. E. y P. J. CHAPMAN. 1958. Effect of winter temperature of 1956-57 on the survival rate of the European red mite eggs. J. Eco. Ent. 51:263.
54. LINKE, W. 1953. Untersuchungen uber Biologie and Epidemiologie der gemeinen Spinnmilbe, Tetranychus althaeae v. Haust. unter Berucksichtigung des Hopfens als Wirtspflanze. Hofchenbr. Bayer Pfl Schutz Nachr. 6: 185-283.
55. LOPEZ, R. y L. A. SALAZAR. 1978. Morfometría y algunos hospedantes de Meloidogyne hapla en la Cordillera Volcánica Central de Costa Rica. Agronomía Costarricense 2(1):29-38.
56. LOWONSBERRY, B. F. 1950. Stimulation of golden nematode larvae by root leachings. Phytopathology 40:18.
57. MAI, W. F. 1952. Temperature in relation to retention of viability of the encysted larvae of the golden nematode of potato, Heterodera rostochiensis Wollenweber. Phytopathology 42(2):113.
58. McENROE, W. D. 1961 a. The control of water loss by the two-spotted spider mite (Tetranychus telarius. Ann. Ent. Soc. Am. 54:883-887.
59. _____. 1961 b. Guanine excretion by the two-spotted spider mite Tetranychus telarius (L.) Ann. Ent. Soc. Am. 54: 925-926.
60. _____. 1963. The role of the digestive system in the water balance of the two-spotted spider mite. In: Advances of Acarology, Vol. 1. Ithaca, N. Y. Cornell Univ. Press, pp. 225-231.
61. _____. 1969. Eyes of the female two-spotted spider mite, Tetranychus urticae. I. Morphology. Ann. Ent. Soc. Am. 62:461-466.
62. MCGREGOR, E. A. 1914. Red spider control. J. Eco. Ent. 7:324-336.
63. McMURTRY, J. A. y H. G. JOHNSON. 1966. An ecological study of the spider mite Oligonychus punicae (Hirst) and its natural enemies. Hilgardia 37(11):363-402.
64. MCPHEE, A. W. 1961. Mortality of winter eggs of the European red mite Panonychus ulmi (Kock), at low temperature, and its ecological significance. Can. J. Zool. 39:229-243.
65. MESSENGER, P. S. 1959. Bioclimatic studies with insects. Ann. Rev. Ent. 4:183-206.
66. MILLER, L. W. 1952. The hatching of the over wintering eggs of the European red mite. Tasm. Jour. Agr. 23(2):102-116.

67. MINTON, N. A., E. J. CAIRNS y A. L. SMITH. 1960. Effect on root-knot nematode populations of resistant and susceptible cotton. *Phytopathology* 50(11):784-787.
68. MORI, H. 1961. Comparative studies of thermal reaction on four species of spider mites (Acarina: Tetranychidae) *Jour. Fac. Agr. Hokkaido (imp.) Univ.* 52:1-9.
69. _____. y D. A. CHANT. 1966. The influence of humidity on the activity of Phytoseiulus persimilis Athias-Henriot and its prey Tetranychus urticae (C. L. Koch) (Acarina: Phytoseiidae, Tetranychidae). *Can. Jour. Zool.* 44:863-871.
70. MUMA, M. H. 1958. Predators and parasites of citrus mites in Florida. *Proc. 10th Intern. Congr. Ent., Montreal (1956)* 4:633-648.
71. NICKEL, J. L. 1960. Temperature and humidity relationships of Tetranychus desertorum Banks with special reference to distribution. *Hilgardia* 30(2):41-100.
72. NORTON, D. C. 1959. Relationship of nematodes to small grains and native grasses in north and central Texas. *Plant Dis. Rep.* 43:227-235.
73. OATMAN, E. R. 1965. Effects of preblossom miticides and subsequent insecticide applications on mite populations on apple in Wisconsin. *J. Eco. Ent.* 58:335-343.
74. ORR, C. C. y O. H. NEWTON. 1971. Distribution of nematodes by wind. *Plant Dis. Rep.* 55:61-63.
75. OSAKABE, M. 1967. Biological studies on the tea red spider mite, Tetranychus kanzawai Kishida, in tea plantation. *Bull. Tea Res. Sta. Min. Agr. For.* 4:35-156.
76. PARENT, B. y A. A. BEAULIEU. 1957. Life history of the European red mite. *Can. Ent.* 89:328-333.
77. _____. 1965. Influence de la température sur le développement embryonnaire et post-embryonnaire de tétranyque rouge du pommier, Panonychus ulmi (Koch) (Acariens: Tetranychidae) *Ann. Soc. Ent. Quebec* 10:3-10.
78. PERLAZA, F., R. LOPEZ y E. VARGAS. 1978. Efecto de la aplicación combinada de nematicidas y fungicidas en el combate de Meloidogyne incognita, M. hapla y Alternaria sp. en lechuga. *Fitopatología* 13(2):90-96.
79. PETHERBRIDGE, F. R. y F. G. W. JONES. 1944. Beet ulworm (Heterodera schachtii Schm.) in East Anglia, 1934-1943. *Ann. App. Biol.* 31(4):320-332.

80. PRATT, R. M. y W. L. THOMPSON. 1953. Spray programs, varieties, and weather conditions in relation to six-spotted mite and purple mite infestations. Proc. Fla. State Hort. Soc. 66:65-69.
81. RODRIGUEZ, J. G. 1964. Nutritional studies in the Acarina. Acarología, fasc. h. s. 1964:324-337.
82. ROESLER, R. 1953. Rote Spinne and Wittering. Z. angew Ent. 36:197-200.
83. ROSS, W. A. y W. ROBINSON. 1962. Notes on the plum spider mite or European red mite. Rept. Ent. Soc. Ontario 52:33-42.
84. SALAZAR, L. A. 1980. Variaciones morfométricas y respuesta de nueve hospedantes diferenciales a tres poblaciones de Meloidogyne javanica de Costa Rica. Turrialba 39(3):344-351.
85. SHINKAJI, N. 1962. Some investigations on the behaviour of citrus red mite (Panonychus citri McGregor) (In Japanese; Englis summary). Bull. Hort. Res. Sta. (Ser. B) 1:192-205.
86. SIMANTON, W. A. 1965. Mite populations in Florida citrus groves before and after severe freezes. Proc. 12th Intern. Congress Ent., London (1964):364-366.
87. SLACK, D. A. y M. L. HAMBLEN. 1961. The effects of various factors on larval emergence from cysts of Heterodera glycines. Phytopathology 49(6):350-355.
88. STENSETH, C. 1965. Cold hardiness in the two-spotted spider mite (Tetranychus urticae Koch). Entomologia exp. app. 8:33-38.
89. STREU, H. T., W. R. JENKINS y M. T. HUTCHINSON. 1961. Nematodes associated with carnations, Dianthus caryophyllus L., with special refetence to the parasitism and biology of Criconemoides curvatum Raski. New Jersey Agr. Exp. Sta. Bull. 800. 32 p.
90. SUSKI, Z. W. y J. A. NAEGELE. 1963. Light response in the two spotted spider mite. 2. Behavior of the "sedentary" and "dispersal" phases. In: Advances in Acarology. Vol. I: Ithaca, New York: Cornell Univ. Press, pp. 445-453.
91. TANAKA, M. y K. INOUE. 1959. The relation between seasonal variation of citrus red mites and ramfall. (In Japanese). Rep. Ann. Mtg. Jap. Jour. App. Ent. Zool. 1959: 15.
92. _____. 1963. The bionomics of spider mites and their control (In Japanese). Nogyo oyoki Engei 38:87-92.
93. TSUGAWA, C., H. YAMADA y S. SHIRASAKI. 1961. Forescasting the outbreak of destructive insects in apple orchards. III. Forecasting the initial date of hatch in respect to the overwintering eggs of the European red mite, Panonychus ulmi (Koch), in Aomori Prefecture. Jap. Jour. App. Ent. Zool. 5:167-173.

94. VAN MARLE, G. S. 1951. The control of red spider with modern insecticides in the Aalsmer flower-growing industry. Mede. Inst. plziektenk. Onderz. No. 18.
95. WALKER, J. T. 1960. The effect of hot water at different temperatures on larvae of various species of Meloidogyne. Phytopathology 50(9): 658.
96. WALLACE, H. R. 1958. Movement of ulworms. A comparative study of the movement in soil of Heterodera schactii Schmidt and Ditylenchus dipsaci (Kuhn) Filipjev. Ann. App. Biology 46:86-94.
97. _____. 1962. Observations on the behavior of Ditylenchus dipsaci in soil. Nematologica 5(1):37-42.
98. _____. 1963. The biology of plant parasitic nematodes. Arnold, London.
99. WHARTON, G. W. 1963. Equilibrium humidity. In: advances in Acarology. Vol. I: Ithaca, N. Y. Cornell Univ. Press. pp. 201-208.
100. _____. y H. F. CROSS. 1957. Studies on the feeding habits of three species of Laelaptid mites. J. Parasit. 43:45-50.
101. WHITE, J. H. 1953. Wind-borne dispersal of potato-root ulworm. Nature 172:686-687.
102. WINSTON, P. W. 1963a. Humidity relations in the clover mite, Bryobia praetiosa Koch. Ecology 44:669-678.
103. _____. 1963b. Possible humidity receptor mechanisms in the clover mite Bryobia praetiosa Koch. Jour. Inst. Physiol. 9:89-103.
104. _____. 1964. The physiology of water balance in Acarina. Acarologia, fasc. h. s. 1964:307-314.

EFFECTO DE LOS FACTORES METEREOLÓGICOS SOBRE LOS VIRUS DE LAS PLANTAS

Rodrigo Gómez*

INTRODUCCION

Es un hecho bien establecido que las condiciones ambientales bajo las cuales las plantas han crecido antes de ser infectadas por un virus, las condiciones existentes al momento de la infección y las prevalecientes durante el desarrollo de la enfermedad, pueden tener efectos muy marcados en el curso de una infección. Se sabe que una planta puede ser altamente susceptible a un determinado virus bajo ciertas condiciones, pero puede ser totalmente resistente bajo otras. Dependiendo de las condiciones ambientales (Mathews, 1970), cuando una infección ocurre la planta puede alcanzar una concentración viral muy baja o muy elevada, y puede desarrollar síntomas severos o permanecer sin mostrar síntomas evidentes de la enfermedad.

Pero el efecto de los factores del medio ambiente no ocurre solo cuando el virus está en estrecho contacto con las células de la planta; para sobrevivir los virus requieren de medios eficaces de diseminación. La manera en que los factores meteorológicos influyen esos medios, va a determinar en gran parte que una enfermedad viral se desarrolle o no en una población de plantas. Por ello estos factores tienen una importancia crucial en la ecología de las enfermedades virales.

El efecto de los factores meteorológicos se analiza aquí, desde el punto de vista de su influencia en la interacción virus-planta y en su efecto sobre la dispersión de los virus, principalmente por vectores.

EFFECTO EN LA INTERACCION VIRUS-PLANTA

Los factores climáticos afectan directamente la interacción virus-planta en dos etapas principales: 1) antes de que ocurra la infección afectando la susceptibilidad de la planta, y 2) después de que la infección ha ocurrido afectando la multiplicación del virus y la expresión de los síntomas de la enfermedad (Mathews, 1970).

* Centro de Investigación en Biología Celular y Molecular, Universidad de Costa Rica.

Factores que afectan la susceptibilidad a la infección

La luz. Reduciendo la intensidad de la luz, o dando a las plantas una oscuridad absoluta por períodos de días se aumenta la susceptibilidad de muchas plantas a la infección por virus. Este efecto de sombreo o oscurecimiento por cerca de un día, antes de la inoculación, se usa como una medida práctica para aumentar la susceptibilidad de plantas experimentales a virus que son de difícil transmisión. Debe hacerse notar sin embargo, que la edad de la planta puede afectar el grado en que el oscurecimiento preinoculación incrementa la susceptibilidad. Por ejemplo, se ha notado, que las plantas jóvenes de frijol son susceptibles a incrementar su susceptibilidad, mientras que las plantas más maduras no lo son.

Resultados obtenidos con diversos virus sugieren que la luz puede tener efectos de dos tipos opuestos: la iluminación excesiva puede reducir la susceptibilidad, pero después de un período de oscurecimiento, una iluminación corta puede aumentarla.

Un período de oscuridad después de la inoculación puede suprimir el establecimiento de una infección. Algunos virus que forman lesiones locales en ciertas especies de plantas, dependen de la ocurrencia de un período de iluminación después de la inoculación para formar dichas lesiones. Cuando las hojas se iluminan por períodos largos (48 h o más) después de la inoculación, el oscurecimiento posterior no tiene ningún efecto en la formación de lesiones. Pero si las hojas se oscurecen después de la inoculación el número de lesiones no sólo se reduce significativamente sino que ocurre un atraso notorio en la aparición de esas lesiones.

En casi todos los estudios sobre el efecto de la luz, las plantas experimentales se han desarrollado bajo condiciones comunes de invernadero. Se ha notado que la hora del día en que se realice un experimento puede tener un marcado efecto en los resultados. Con mucha frecuencia la susceptibilidad de las plantas aumenta desde las 8:00 a.m., alcanzando un máximo a las 5:00 p.m.

La temperatura. En términos generales la preincubación de las plantas a temperaturas ligeramente más altas que lo normal, antes de la inoculación, incrementa la susceptibilidad. No obstante, este tratamiento previo a la inoculación puede variar con el virus o las razas del virus de que se trate.

Los tratamientos con temperatura pueden tener efectos interesantes. Las plantas de caña de azúcar desarrolladas de tallos que han sido sujetos a termoterapia para eliminar la enfermedad conocida como "ratón stunting", son mucho más susceptibles a la infección por el virus del mosaico de la caña. Esta mayor susceptibilidad no es transmitida a la primera generación de plantas derivadas de las cañas calentadas.

La hora del día. Como muchos de los procesos básicos que ocurren en las hojas son influenciados por los ciclos diurnos y nocturnos, no es

sorprendente que la susceptibilidad de las hojas a la infección viral varíe con la hora del día. Cuando esa susceptibilidad, medida por lesiones locales, es examinada durante un ciclo de un día, se observa que el número de lesiones locales se incrementa desde la mañana para alcanzar un máximo en la tarde y decrece a un mínimo durante la noche, usualmente cerca del amanecer.

Existen probablemente, muchos factores que influyen la magnitud de la variación diurna en susceptibilidad y que no han sido adecuadamente estudiados. Aunque los experimentos críticos no han sido realizados, es posible pensar que la luz es más importante que la temperatura como factor ambiental causante de tal variación. Es probable también que los cambios en la hoja que provocan esa variación, sean de naturaleza bioquímica y no se relacionen al estado físico de la misma.

La estación del año. Donde existan diferencias importantes entre las estaciones del año, las plantas pueden variar marcadamente en su susceptibilidad a un determinado virus durante las diferentes épocas del año. Así ciertas especies pueden comportarse como casi inmunes a un virus en ciertas épocas y aparecer como susceptibles en otras. Para las plantas desarrolladas bajo condiciones de invernadero, el factor principal pareciera ser la luz, pero es probable que la temperatura sea también de importancia en ciertas condiciones.

Factores que afectan la multiplicación viral y la expresión de síntomas

La luz. La intensidad de la luz y la duración del período lumínico afectan la multiplicación viral y la expresión de síntomas de la enfermedad en diferentes maneras con los distintos virus. En términos generales puede decirse que intensidades lumínicas altas y días largos favorecen la multiplicación. El efecto de la luz en la expresión de síntomas es también variable y depende de la combinación virus-planta. En algunas plantas como el cacao en Africa, los síntomas de la enfermedad denominada "swollen shoot" son más severos cuando los árboles se encuentran a la sombra. Los síntomas del rayado fino del maíz son más severos en el campo que en las plantas de invernadero.

La temperatura. Dentro del rango de temperaturas bajo las cuales las plantas crecen normalmente, usualmente las más elevadas aumentan la tasa de multiplicación de los virus y su movimiento dentro de la planta. Al igual que otros fenómenos biológicos, si la temperatura aumenta sobre un cierto nivel la tasa de multiplicación puede mas bien reducirse.

Parecen existir dos grandes grupos de virus, respecto al efecto de la temperatura en su multiplicación. Algunos virus como el del mosaico del tabaco y el X y el Y de la papa, pueden multiplicarse hasta temperaturas de 36°C, mientras que otros como el de la necrosis del tabaco, no pueden hacerlo a esta temperatura.

Al aumentar la temperatura hasta cierto nivel, aumenta la tasa de

movimiento sistémico del virus y decrece el tiempo requerido para la aparición de los primeros síntomas de infección de la planta. El período de incubación más corto requerido para que ocurra la infección sistémica, no se presenta necesariamente a la misma temperatura a la que ocurre la máxima multiplicación del virus.

Una correlación entre la severidad de los síntomas de la enfermedad y la concentración del virus en la planta puede o no existir. El virus del mosaico del tabaco y el virus X de la papa muestran esta correlación en un rango de temperatura de 16 a 28°C. Para otros virus sucede lo contrario, mostrando por ejemplo, síntomas muy severos a temperaturas cercanas a los 36°, cuando las mayores concentraciones del virus se alcanzan a temperaturas cercanas a los 20°C.

Los cambios en temperatura pueden inducir también cambios notorios en el tipo de síntomas. Frecuentemente los síntomas se tornan mas leves a temperaturas más elevadas y la enfermedad puede aún enmascarse totalmente; pero los efectos varían enormemente en las diferentes combinaciones virus-planta hospedante. Por ejemplo, un caso interesante lo presenta el virus del mosaico del tabaco en Nicotiana glutinosa. A temperaturas cercanas a los 20°C la planta reacciona a la infección del virus formando lesiones locales necróticas, quedando el virus confinado a ellas. A 36°C se forman lesiones difusas amarillentas seguidas por una infección sistémica de la planta. Si estas se retornan a temperaturas de 20°C, colapsan y mueren de una necrosis severa en un corto tiempo. Los síntomas del virus del enrollamiento de las hojas de la papa se enmascaran a las temperaturas más bajas que prevalecen en las partes altas del Volcán Irazú, pero son muy severos en las partes bajas y más cálidas de esa región.

Otro aspecto interesante del efecto de la temperatura lo constituye el hecho de que los cambios en la temperatura a la que una planta crece normalmente, pueden llevar a la replicación selectiva de ciertas razas del virus, mejor adaptadas a esa condición particular.

Ciertos virus pueden ser selectivamente inactivados in vivo a temperaturas elevadas, lo cual ha dado una aplicación práctica a la termoterapia.

La época del año. El complejo de factores que incluye la longitud del día, la intensidad de la luz, la temperatura del aire y del suelo, unidos a la disponibilidad de agua, cambian normalmente durante el año. Esto afecta lógicamente el crecimiento de las plantas y por ende la enfermedad producida por un determinado virus, además del grado de multiplicación de ese virus en esas plantas.

Efecto de los factores metereológicos en el desarrollo de epidemias de enfermedades virales

Existen numerosos ejemplos que ilustran la gran variabilidad que puede existir en la incidencia de enfermedades virales en un cultivo, en diferentes años. Una secuencia de condiciones metereológicas fuera de lo

usual, puede llevar a un brote severo una enfermedad que está normalmente presente a niveles bajos en plantaciones de una determinada región.

Factores aéreos. Como componentes individuales del clima de una área particular, la temperatura del aire, la humedad y el viento pueden tener efectos muy marcados sobre la tasa de multiplicación y el movimiento de los vectores aéreos de virus. Las temperaturas altas del aire pueden ser particularmente eficaces en reducir las poblaciones de ciertos insectos vectores. Los vientos pueden constituir factores importantes no solo en favorecer o inhibir la diseminación de los virus por vectores aéreos, sino también en determinar la dirección prevalente de diseminación de la enfermedad. Las barreras rompeviento pueden afectar la incidencia local de vectores y virus.

El viento afecta de diferentes maneras a los artrópodos vectores de virus. Las cochinillas harinosas que son relativamente inactivas y se mueven solo cortas distancias en las plantas, pueden ser acarreadas a alguna distancia por el viento. Los áfidos alados no vuelan cuando la velocidad del viento es demasiado fuerte, aunque su dirección de vuelo puede ser influenciada por la dirección prevalente de los vientos. Sin embargo los áfidos pueden ser transportados a largas distancias por corrientes fuertes de viento. La dirección del movimiento de los saltahojas puede ser influenciada notoriamente por la velocidad y dirección de los vientos.

El efecto de los factores meteorológicos, unido al de otros elementos del medio ambiente, puede ser muy diverso dependiendo de la interacción virus-vector-planta (Gibbs & Harrison, 1976; Matthews, 1970; Thresh, 1978). El virus del rayado fino del maíz transmitido por el saltahojas Dalbulus maidis, muestra una extraordinaria adaptación a diferentes condiciones ambientales; este virus se encuentra desde regiones cálidas costeras, húmedas o secas, hasta regiones altas y frías en los altiplanos mexicanos o andinos (Gámez, 1982). Una situación muy diferente la presentan los virus transmitidos por crisomélidos en las regiones tropicales. La capacidad como vectores de estos insectos está determinada por una compleja interacción de factores del medio ambiente; su vuelo y actividad dentro de la plantación es afectado entre otros por la hora del día, la precipitación, la temperatura y la sombra. Notoriamente este último factor actúa en detrimento de la actividad del insecto, situación que se presenta por ejemplo, cuando el frijol crece asociado con el maíz (Gámez & Moreno, 1982).

Factores del suelo. Al igual que los vectores aéreos, la temperatura y la humedad tienen un efecto importante en la diseminación de enfermedades virales por vectores del suelo, particularmente nemátodos y hongos. Estos factores ambientales influyen de muy diversa manera las poblaciones y el comportamiento de los vectores aéreos (Matthews, 1970; Thresh, 1978).

BIBLIOGRAFIA

GAMEZ, R. The ecology of maize rayado fino virus. In Plant Virus Disease Epidemiology. M. Thresh & R. Plumb, Eds. Blackwell Scientific Publications, Oxford. 1982. (En imprenta).

GAMEZ, R. & MORENO, R. Epidemiology of beetle-borne viruses of grain legumes in Central America. In Plant Virus Disease Epidemiology. M. Thresh & R. Plumb, Eds. Blackwell Scientific Publications, Oxford. 1982. (En imprenta).

GIBBS, A. J. & HARRISON, B. Plant Virology; The Principles. E. Arnold (Publishers) Ltda. London. 1976.

MATTHEWS, R. E. F. Plant Virology. Academic Press, Inc. New York. 1970.

THRESH, M. The epidemiology of plant virus diseases. In Plant Disease Epidemiology. P. R. Scott & Rainbridge, A. Blackwell Scientific Publications, Oxford. 1978.

GLOSARIO METEOROLOGICO

Meteorología: Ciencia que estudia los fenómenos de la atmósfera. No solo incluye la física, la química y la dinámica de la atmósfera, sino además los efectos directos de ésta sobre la superficie de la tierra, los océanos y la vida en general.

Elemento meteorológico:

Variable atmosférica o fenómeno que caracteriza el estado del tiempo en un momento y lugar.

Observación meteorológica:

Medición y evaluación de uno o más elementos meteorológicos.

Instrumento meteorológico:

Equipo diseñado específicamente para la medición de elementos meteorológicos. Pueden ser de lectura directa o graficadores que registran las variaciones de un elemento en forma continua.

Observador meteorológico:

Servidor del Instituto Meteorológico o persona que voluntariamente registra y reporta elementos meteorológicas al Instituto u otra entidad.

Estación meteorológica:

Terreno adecuado escogido para la medición de elementos meteorológicos. La cantidad de instrumentos varían con la importancia de la estación, desde un pluviómetro hasta un pequeño edificio de cemento donde observan y laboran empleados permanentemente durante 12 o 24 horas.

Símbolo meteorológico:

Letra, número o signo internacionalmente para indicar un fenómeno meteorológico.

Red de estaciones meteorológicas:

Conjunto de estaciones meteorológicas instaladas en todo el país.

Ubicación de la estación:

Coordenadas geográficas que determinan la posición de una estación.

Altitud:

Distancia vertical de un punto medido desde el nivel medio del mar.

Elevación:

Distancia vertical de un punto medido desde la superficie terrestre.

Escala de temperatura Celsius (llamada anteriormente escala centígrada):

Escala en la que se considera como temperatura de congelación del agua, cero grados (0°C) y la temperatura de ebullición del agua como 100°C.

Normas de instalación de los instrumentos meteorológicos:

Condiciones bajo las cuales se instalan internacionalmente los instrumentos meteorológicos para que sus mediciones sean representativas del verdadero estado de la atmósfera.

Pluviómetro:

Instrumento para medir la precipitación supuesta uniformemente distribuida sobre la superficie de la tierra impermeable y sin evaporarse. Un milímetro de lluvia equivale a un litro de agua por metro cuadrado. Lo constituyen dos secciones cilíndricas sostenidas por un poste.

Pluviógrafo:

Instrumento para medir y graficar la precipitación mediante un sistema de relojería, lo que permite evaluar la lluvia horariamente.

Temperatura del aire:

Temperatura indicada por un termómetro de mercurio expuesto al aire en un abrigo meteorológico que lo protege de la radiación solar directa.

Temperatura máxima:

La temperatura más alta registrada en un período dado. Se determina con un termómetro para ese fin.

Temperatura mínima:

La más baja temperatura registrada en un período dado. Se determina con un termómetro para ese fin.

Temperaturas extremas:

La temperatura más alta y la más baja alcanzadas en un intervalo dado.

Rango de temperatura:

Diferencia entre la temperatura máxima y la mínima.

Temperatura media diaria:

Promedio de las temperaturas registradas durante el período de 24 horas.

Barómetro de mercurio:

Instrumento que mide la presión atmosférica al ser balanceada por el peso de una columna de mercurio.

Termohigrógrafo:

Instrumento meteorológico que grafica la temperatura y la humedad relativa. El elemento sensible de la temperatura lo constituyen dos láminas metálicas de diferente coeficiente de dilatación unida entre sí. El elemento sensible de la humedad lo constituye un haz de cabellos que varían de longitud según la humedad.

Psicrómetro:

Instrumento para medir el contenido de humedad en la atmósfera. Consiste en dos termómetros de mercurio uno de los cuales tiene el bulbo cubierto con una muselina que permite humedecerla. La diferencia de temperatura entre ellos permite determinar la humedad con una tabla psicrométrica.

Anemocinemógrafo:

Instrumento que grafica la dirección, recorrida y fuerza del viento.

Tanque de evaporación:

Tanque circular de 25 cms de profundidad y 120.7 cms de diámetro para medir la evaporación de agua a la atmósfera. Se coloca sobre una tarima de madera nivelada horizontalmente y la variación del nivel de agua se determina con un tornillo graduado convenientemente (tornillo micrométrico).

Heliógrafo:

Instrumento que registra el tiempo durante el cual es sol brilla. Una esfera de cristal perfecta concentra los rayos solares quemando una banda de papel especialmente diseñada.

Actinógrafo:

Instrumento que registra la intensidad de la radiación solar directa y difusa.

Radiosonda:

Instrumento equipado con elementos sensibles que determinan la presión, humedad, temperatura, etc. , conforme asciende en la atmósfera y los transmite a tierra por una señal de radio a una estación receptora.

Radar meteorológico:

Instrumento electrónico para detectar la presencia, distancia e intensidad de algunos fenómenos tales como nubes, precipitación, crecidas, etc.

La atmósfera:

Capa de aire que rodea la tierra y es afectada por la atracción de la gravedad terrestre. Su dinámica, propiedades químicas y procesos físicos son objeto de estudio de la meteorología.

Capas atmosféricas (según la distribución de temperaturas):

Conforme ascendemos en la atmósfera podemos considerar la siguiente división:

Troposfera: Capa inferior de la atmósfera de 10 a 20 kms de espesor, la temperatura desciende con la altura a razón de $6.5^{\circ}\text{C}/\text{km}$ aproximadamente.

Estratosfera: Capa que se extiende desde la tropopausa (límite entre la troposfera y estratosfera en que el gradiente de temperatura desciende a menos de 0 a $2^{\circ}\text{C}/\text{km}$) su espesor puede ser de 20 a 30 kms. En esta zona se encuentra la mayor concentración de ozono.

Mesosfera: Capa que se extiende hasta unos 80 kms con temperatura máxima alrededor de los 50 kms.

Termosfera: Capa en que la temperatura aumenta con la altura, llegando a valores extremadamente altos.

Atmósfera tipo:

Atmósfera en referencia que representa las condiciones promedio de ésta. Según la Comisión Internacional de Navegación Aérea (ICAN), la presión es de 760 mm. Hg. la temperatura 15°C, la gravedad 980,6 cm/Sec², todo a nivel del mar.

Densidad del aire:

Masa por unidad de volumen de aire.

Clasificación de las masas de aire:

Polar, tropical, continental, marítima.

Aire húmedo:

Aire mezclado con vapor de agua.

Humedad relativa:

Es la relación entre la presión de vapor existente en el aire, y la presión de vapor del aire saturado. Se expresa en porcentaje.

Presión de vapor:

Presión parcial del vapor de agua en la atmósfera.

Capa atmosférica isoterma:

Capa a través de la cual no hay variación de la temperatura con la altura.

Inversión de temperatura:

Distribución vertical de temperatura tal que la temperatura aumenta con la altura.

Capa de inversión:

Capa de la atmósfera en que la temperatura aumenta con la altura.

Proceso adiabático:

Cambio de estado de un sistema en el cual no existe intercambio de calor o masa con el medio que lo rodea.

Gradiente de temperatura:

Disminución de la temperatura con la altura.

Estabilidad atmosférica:

Cuando una parcela de aire se desplaza verticalmente sin mezclarse con el medio, estando ese aire que lo rodea en equilibrio hidrostático, las fuerzas existentes después del desplazamiento tienden a regresar la parcela a su posición original, se dice entonces que la atmósfera está en equilibrio estable.

Inestabilidad atmosférica:

Cuando una parcela de aire se desplaza verticalmente sin mezclarse con el medio, estando el aire que la rodea en equilibrio hidrostático, las fuerzas existentes después del desplazamiento tienden a acelerar la parcela alejándola de su posición original, se dice que la atmósfera es inestable.

Nivel de condensación:

Nivel en que el aire se satura sujeto a un proceso específico.

Nivel de condensación por convección:

Nivel en que el aire se satura debido a la convección del aire desde la superficie de la tierra.

Isobara:

Línea que une puntos de igual presión.

Carta sinóptica:

Mapa en que se presenta y se realiza el análisis que describe el estado de la atmósfera sobre cierta área en un tiempo dado.

Sistema de presión:

Características de la circulación atmosférica en la escala sinóptica, cuando se presenta un centro de presión alta o baja.

Onda diurna de presión:

La variación de la presión atmosférica durante el día forma una onda sinusoidal con un período de 24 horas según el gráfico del barógrafo.

Advección:

Transporte de una propiedad atmosférica por el campo de velocidades (vientos).

Viento:

Movimiento del aire respecto a la superficie de la tierra.

Dirección del viento:

La dirección del viento se da respecto a la dirección de donde procede.