



MINISTERIO DE AGRICULTURA Y GANADERIA
INSTITUTO SALVADOREÑO DE INVESTIGACIONES DEL CAFE

UICA-CIDIA

110
0263
366

MEMORIA

Centro Interamericano de
Documentación e
Información Agrícola
18 AGO 1986
IICA - CIDIA



Curso Internacional Sobre Agroclimatología

UICAF

PROMECAFE PROGRAMA COOPERATIVO REGIONAL PARA LA PROTECCION
Y MODERNIZACION DE LA CAFICULTURA EN MEXICO,
CENTRO AMERICA, PANAMA Y EL CARIBE



IICA

INSTITUTO INTERAMERICANO DE COOPERACION PARA
LA AGRICULTURA OFICINA EN EL SALVADOR

SAN SALVADOR, EL SALVADOR, C.A.

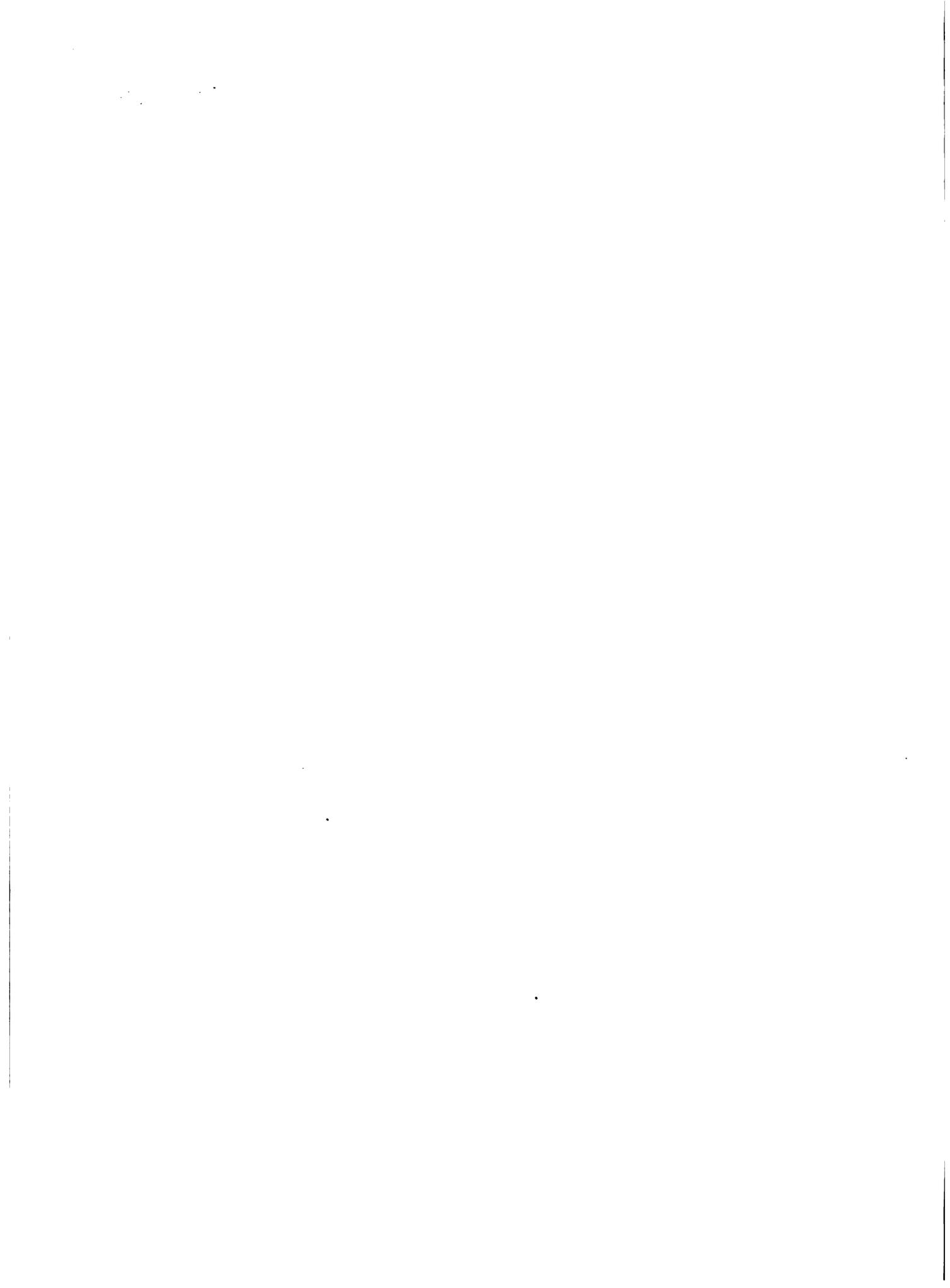
NOVIEMBRE 1985



Centro Interamericano de
Documentación e
Información Científica

18 AGO 1986

IICA — CIDIA



IICA-CIDIA

PROYECTO REGIONAL DE CONTROL DE PESTES DEL CAFE

AID/ROCAP N° 596-0090

SUB-PROYECTO: EPIDEMIOLOGIA Y CONTROL DE LA ROYA DEL CAFETO

M E M O R I A

CURSO INTERNACIONAL SOBRE AGROCLIMATOLOGIA

24 al 28 de Junio de 1985

San Salvador, El Salvador

Editado por: Zía U. Javed*

* Ph.D. Fitopatólogo de PROMECAFE/IICA

~~004715~~

00002089

CURSO INTERNACIONAL SOBRE AGROCLIMATOLOGIA

COORDINADORES:

Dr. Zía U. Javed
Dr. Raúl Soikes
Lic. Eduardo Andrade

INSTRUCTORES:

Dra. Vilma Castro León
Costa Rica
Dra. Raisia Marisol Ruiz
Panamá
Ing. Oscar E. Rojas, IICA
Dr. Zía U. Javed
IICA-PROMECAFE
Dr. Gelio Tomás Guzmán López
El Salvador
Lic. Gladis Moreno Vaquerano
El Salvador

C O N T E N I D O

	<u>PAGINA</u>
INTRODUCCION	
PLAN DEL CURSO	
CARACTERISTICAS CLIMATICAS DE CENTROAMERICA Y EL CARIBE Vilma Castro León	1
NORMA PARA LA CONSTITUCION DE UN BANCO DE DATOS METEOROLOGICOS CON FINES AGROCLIMATICOS Vilma Castro León	9
RADIACION SOLAR Vilma Castro León	12
ASPECTO DE LOS ELEMENTOS METEOROLOGICOS EN LOS CULTIVOS Vilma Castro León	17
ALCANCES Y APLICACIONES DE LA AGROMETEOROLOGIA Gelio Tomás Guzmán López	24
EVALUACION DE LOS REQUERIMIENTOS HIDRICOS EN EL PACIFICO NORTE DE COSTA RICA Oscar E. Rojas	44
ESQUEMA METODOLOGICO DE ZONIFICACION AGROECOLOGICA DE CULTIVOS DEL IICA Oscar E. Rojas	64

PAGINA

NORMAS UTILIZADAS POR EL PROYECTO DE AGROCLIMATOLOGIA DEL IICA EN LA ELABORACION DE UN BANCO DE DATOS METEOROLOGICOS PARA FINES AGROCLIMATICOS Oscar E. Rojas	74
ANALISIS TEMPORAL DE LOS DATOS CLIMATICOS Oscar E. Rojas	77
MODELOS Raisa Marisol Ruiz C.	82
RELACION SUELO-PLANTA Raisa Marisol Ruiz C.	96
NOCIONES GENERALES SOBRE LA EVAPOTRANSPIRACION Y LAS TRANSFERENCIAS DE AGUA Oscar E. Rojas	105
RESUMEN DE LAS PROPUESTAS	120
LISTA DE PARTICIPANTES	122

INTRODUCCION

Siguiendo las recomendaciones hechas en el Taller Regional Sobre Epidemiología de la Roya del Cafeto realizado en noviembre de 1984 en la Antigua, Guatemala, el Programa Cooperativo Regional para la Protección y Modernización de la Caficultura en México, Centroamérica, Panamá y El Caribe -PROMECAFE- del IICA con la colaboración del Instituto Salvadoreño de Investigaciones del Café -ISIC-, organizó un curso internacional sobre Agroclimatología, con especial referencia al café, cuya memoria se presenta en esta publicación.

Es por todos conocido que los factores climáticos influyen en forma decisiva en el desarrollo de las plantas, no solamente desde el punto de vista fenológico sino también en cuanto a las plagas y enfermedades que afectan a los cultivos, en este caso al café, pues es factor predominante en la infestación de la Roya del Cafeto, así como de otras enfermedades y plagas que atacan a este cultivo.

En el desarrollo del curso, participaron técnicos y especialistas procedentes de México, Guatemala, Honduras, El Salvador, Costa Rica, Panamá y República Dominicana, quienes intercambiaron valiosas experiencias y conocimientos que contribuyeron en forma importante al éxito del evento, en una disciplina de la cual hasta el presente, queda un amplio margen que desarrollar.

Es de esperarse que éste sea el inicio de un importante desarrollo para el mejor conocimiento de la Agroclimatología relacionada al café en los países del área del PROMECAFE.

Las palabras de inauguración estuvieron a cargo del señor Viceministro de Agricultura y Ganadería, señor Gregorio Elías Valladares, dando las

palabras de bienvenida el Director del ISIC y el ofrecimiento y palabras de estilo el Director de la Oficina del IICA en El Salvador.

A la clausura asistió el señor Ministro de Agricultura y Ganadería, Ing. Carlos Aquilino Duarte Funes, ocasión en la que se hizo entrega de los diplomas de participación al evento y los discursos de estilo de parte de uno de los participantes, del Ing. Manuel Flores Berríos, Director del ISIC; del Director de la Oficina del IICA y clausurando el evento el señor Ministro de Agricultura y Ganadería.

Se debe reconocer en forma especial el trabajo de los Coordinadores del curso, Lic. Eduardo Andrade y el Dr. Zía U. Javed, ambos del IICA/PROMECAFE, quienes aunando esfuerzos con el apoyo del ISIC lograron el éxito alcanzado. Se agradece también en forma especial a los expositores Dra. Vilma Castro de León e Ing. Oscar Rojas de Costa Rica, Dra. Raisia Marisol Ruiz de Panamá, Dr. Gelio Guzmán y Lic. Gladys Moreno de Alas de El Salvador y al Dr. Zía U. Javed del IICA/PROMECAFE, Oficina en El Salvador, quienes realizaron las diversas presentaciones.

Raúl Soikes
Director de la Oficina del
IICA en El Salvador



9. Relación suelo-agua-planta
10. Evapotranspiración, balance de energía
11. Balance hídrico

MIERCOLES

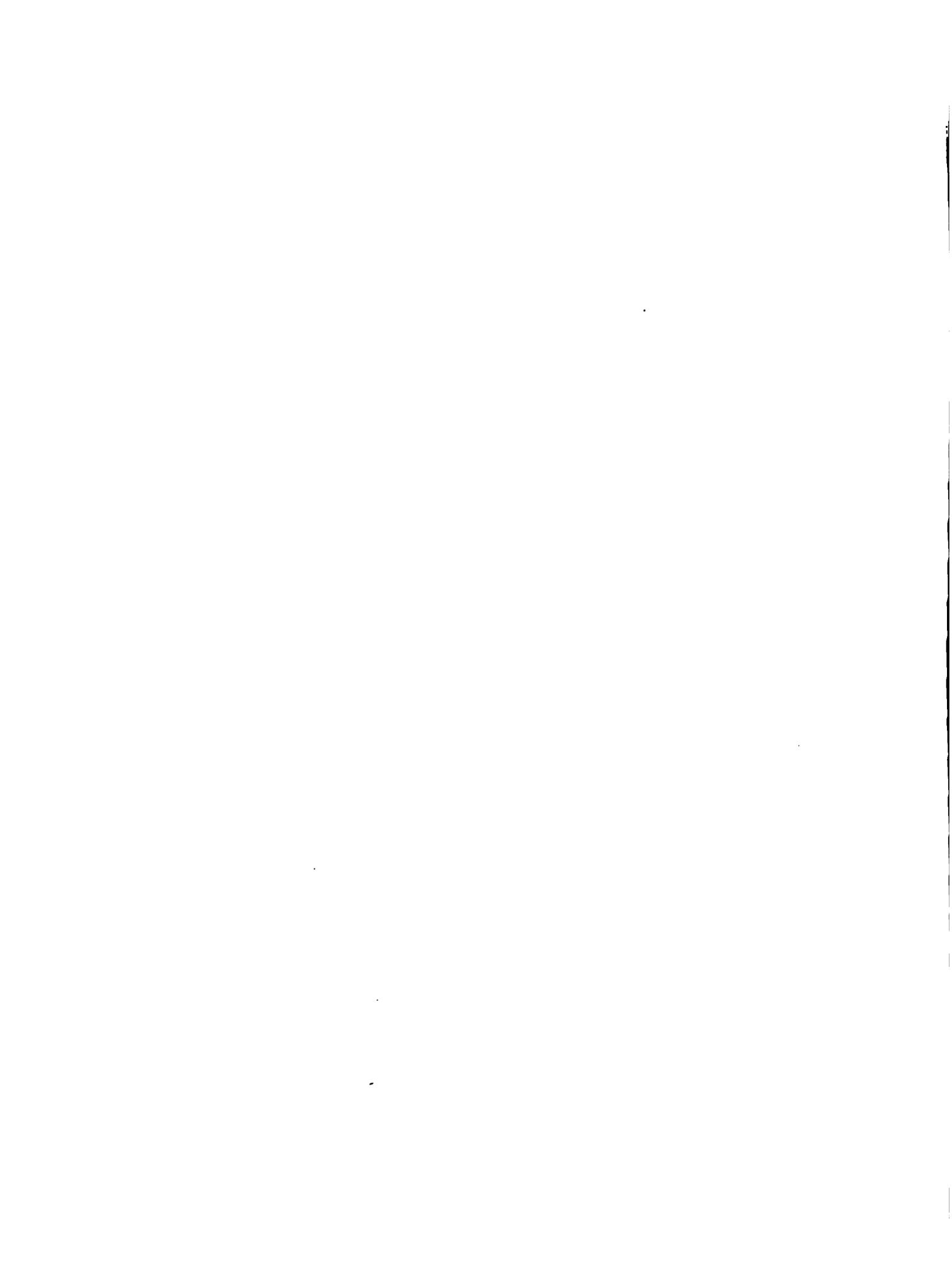
12. Métodos Agrometeorológicos
 - a. Modelos agrometeorológicos
 - b. Simulación de balance hídrico
 - c. Modelo de incidencia de enfermedades
- Visita Estación Experimental Meteorológica.

JUEVES

13. Zonificación agroecológica de cultivos
 - Objetivos
 - Esquema metodológico de zonificación
 - Exposición de un caso
14. Protección de cultivos contra fenómenos climáticos adversos.
15. Modificación del clima.

VIERNES

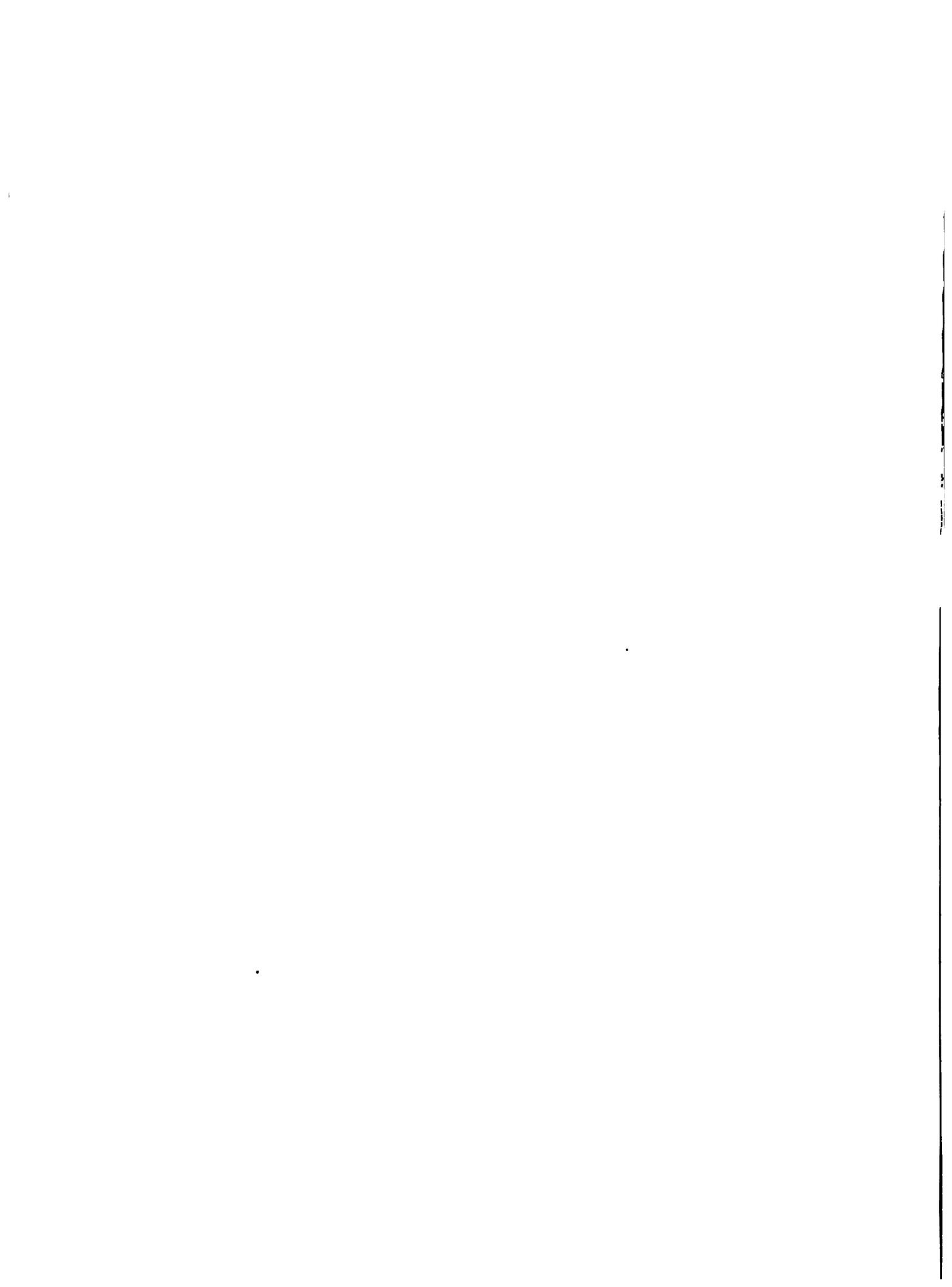
16. Mesa Redonda
 - a. Servicios agrometeorológicos operativos
 - b. Conclusiones y Recomendaciones.



INAUGURACION



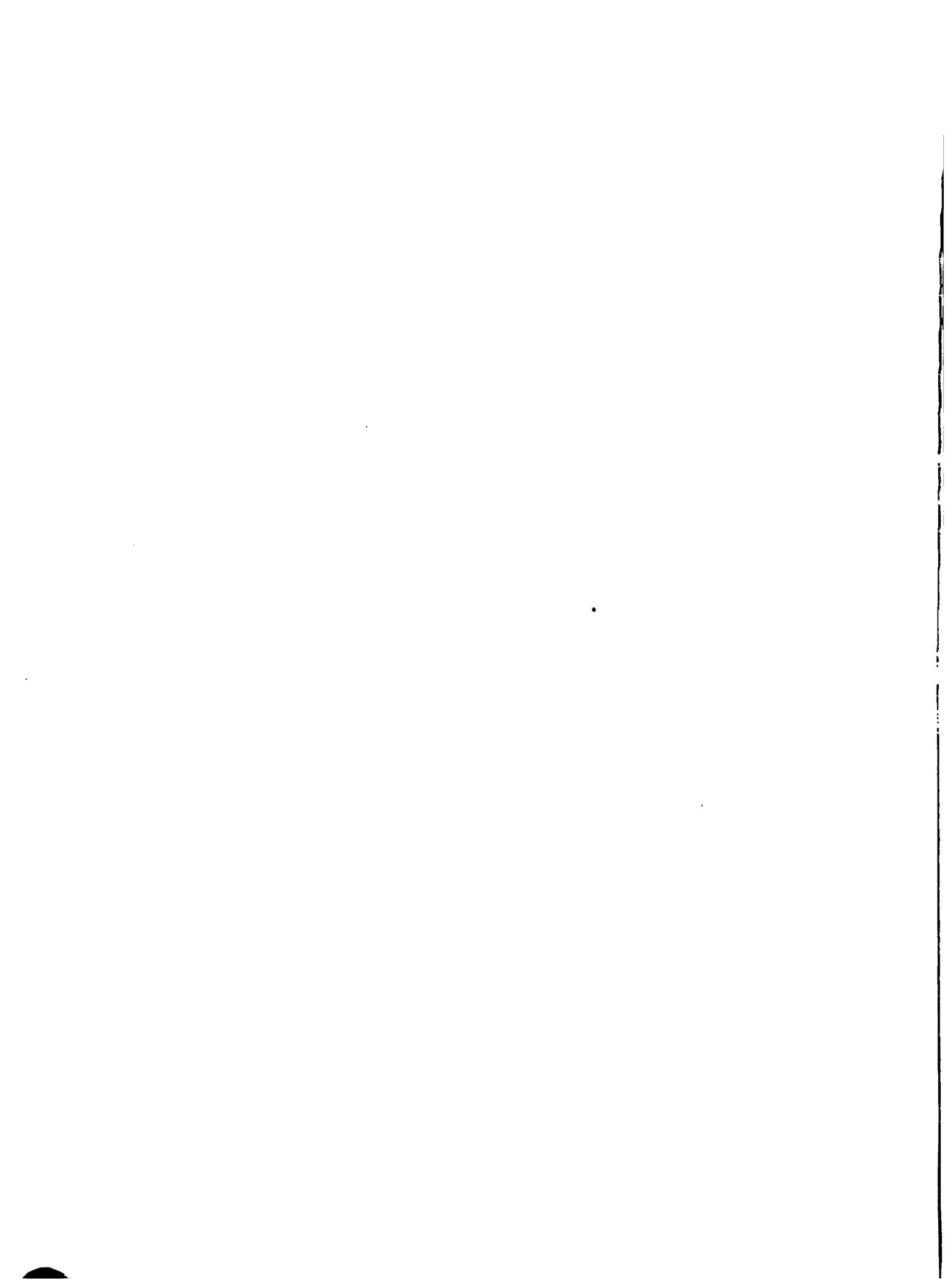
El Director de la Oficina del IICA en El Salvador, Dr. Raúl Soikes pronuncia unas palabras durante la inauguración del Curso.



INAUGURACION



El Director del ISIC, Ing. Manuel Flores Berríos pronunciando las palabras de bienvenida durante el acto de inauguración del Curso.



SESION DE TRABAJO



Una vista general de una sesión del Curso.



C L A U S U R A



Ing. Nestor Macía Tronconi de Honduras recibiendo su diploma de asistencia. De izquierda a derecha: Dra. Vilma Castro León de Costa Rica, Dr. Raúl Soikes del IICA, Ing. Manuel Flores Berríos del ISIC, Dr. Zía U. Javed de PROMECAFE/IICA y Dra. Raisa Marisol Ruiz de Panamá.



CLAU S U R A



Ing. Alvaro Segura Monge de Costa Rica recibiendo su diploma de asistencia. De izquierda a derecha: Dra. Vilma Castro León de Costa Rica, Dr. Soikes del IICA, Ing. Manuel Flores Berríos del ISIC, Dr. Zía U. Javed de PROMECAFE/IICA y Dra. Raisa Marisol Ruiz de Panamá.

CARACTERISTICAS CLIMATICAS DE CENTROAMERICA
Y EL CARIBE

Vilma Castro León*

1. INTRODUCCION

Centroamérica y las Islas del Caribe se encuentran situadas entre 7° y 24° de latitud norte, zona de clima típicamente tropical. Una de las características más importantes en los trópicos es que la variación de la temperatura media del aire y de la radiación solar es pequeña y la marcha anual de los eventos atmosféricos se expresa más bien con la alternación de estaciones secas y lluviosas. La configuración física de la zona es muy variada: islas, planicies, cordilleras altas, valles intermontanos, etc., lo cual produce una gran variedad de características climáticas dentro de distancias muy pequeñas.

2. RADIACION SOLAR

La cantidad de radiación solar que llega al suelo está determinada más que nada por la nubosidad del lugar. Los valores medios mensuales pueden oscilar entre $6 \text{ MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$ (140 Ly dia^{-1}) en las latitudes más altas con nubosidad frecuente y cuando el sol está en el Hemisferio Sur (diciembre); hasta cerca de $30 \text{ MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$ (720 Ly dia^{-1}) en los lugares con poca nubosidad cuando el sol se encuentra cerca del cenit local (de abril a septiembre).

* Profesora Investigadora, Universidad de Costa Rica, San Pedro de Montes de Oca.

3. TEMPERATURA DEL AIRE

Si bien la variación de la temperatura media diaria es de unos cuantos grados centígrados, la oscilación diurna puede alcanzar hasta más de 10°C. En esta oscilación, la humedad del aire y del entorno es mandatoria, ya que el agua juega un papel de amortiguador. En las zonas secas, las oscilaciones son más amplias que en las zonas húmedas.

La velocidad del viento y la presencia de nubes son factores que pueden influenciar la temperatura media de un lugar, pero las diferencias entre un lugar y otro están dictadas por la elevación del terreno. La relación entre altura y temperatura es inversa y se puede expresar con una ecuación del tipo:

$$T = a h + b \quad (1)$$

donde a es el coeficiente de variación de la temperatura T con la altura h, y b es la temperatura en el nivel h = 0.

El valor de a puede variar entre 5 y 8°C/km y el de b entre 20 y 30°C, dependiendo de la zona y de la época del año. En Costa Rica se calculó la relación (1) para varios perfiles y se encontraron correlaciones superiores al 97%.

4. HUMEDAD RELATIVA

Una característica del aire en los trópicos es su alto contenido de humedad. Por debajo de los 3000 m de altura, la humedad relativa media se mantiene entre 70 y 90%. Por las noches muy frecuentemente, se alcanza el 100% y durante el día puede bajar hasta 40 ó 50% por algunos minutos. Por encima de los 3000 m pueden presentarse climas de tipo páramo con humedades relativas más bajas.

5. VIENTO

Los vientos predominantes sobre Centroamérica y el Caribe son los Alisios, vientos con dirección ENE, baja velocidad pero de gran persistencia. Panamá y el sur de Costa Rica también se ven afectados durante una parte del año por los oestes ecuatoriales. La Figura 1 muestra un corte esquemático de la estructura del viento en la vertical para el verano y el invierno. Vientos de alta velocidad ocurren únicamente bajo condiciones especiales (por ejemplo huracanes, frentes fríos) o por topografía (acanalamiento).

6. LLUVIA

En la escala planetaria, la actividad lluviosa refleja las variaciones estacionales de la circulación atmosférica. En la escala local la configuración del terreno y la topografía juegan un papel primordial.

Invierno austral: la presencia de vientos cruzados en altura (Fig. 1), desfavorece la convección. Durante esta época se producen incursiones de aire frío de Norteamérica, conocidas como "los Nortes". El aire de origen polar se calienta y se carga de humedad en su paso por el Golfo de México. Cuando penetra en las costas de Centroamérica se forman densas capas de estratos y lluvia persistente de baja intensidad a barlovento de las montañas, que logra penetrar por los pasos de las montañas a las regiones de sotavento cuando el fenómeno es intenso. Una situación similar se produce cuando, por alguna razón, se refuerza la velocidad del Alisio.

Verano austral: hacia abril, las características de la circulación atmosférica comienzan a cambiar: se empieza a calentar el continente norteamericano, desaparece la cuña de vientos del oeste en altura,

la zona de convergencia intertropical comienza a desplazarse hacia el Norte, penetran los oestes ecuatoriales, se producen las situaciones propicias para la convección. La estación lluviosa no entra por igual en todo el Istmo, sino que comienza por el sur.

7. HURACANES

Nacen en los océanos en latitudes por sobre los 5° cuando la temperatura de la superficie del agua supera los 25°C (entre julio y noviembre). Los huracanes producen fuertes vientos y precipitación en el área bajo su paso. Afectan todos los niveles de troposfera y pueden alterar la circulación del aire a cientos de kilómetros de distancia. Un huracán en el Atlántico "succiona" aire del Pacífico produciendo precipitación orográfica del lado Pacífico de las cordilleras que frecuentemente superan la precipitación producida por el huracán mismo. Los huracanes en el Pacífico raras veces afectan directamente Centroamérica, ya que en su desarrollo se internan en el Océano Pacífico.

8. CARACTERISTICAS VARIAS

La zona del Pacífico se caracteriza por tener una estación seca definida y un veranillo hacia medio año que penetra por el sur: en julio Panamá y Costa Rica, hacia julio y agosto más al norte y en agosto al norte de Guatemala y sur de México.

La zona del Atlántico no tiene una estación seca definida, aunque las lluvias más abundantes comienzan a partir de noviembre. El veranillo no es tan marcado como en el Pacífico.

El veranillo se hace notar en la disminución de lluvia y en el aumento de temperatura, radiación solar y evaporación.

La gran variabilidad de la precipitación de un año a otro es la característica principal de la lluvia en el Caribe.

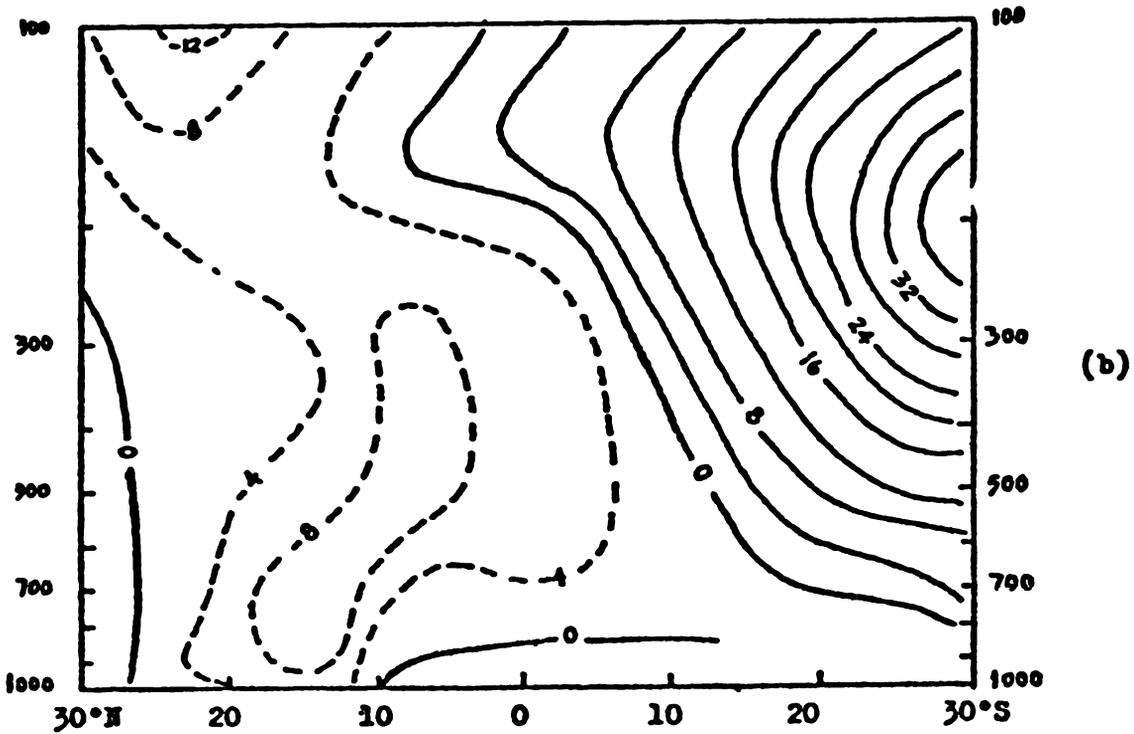
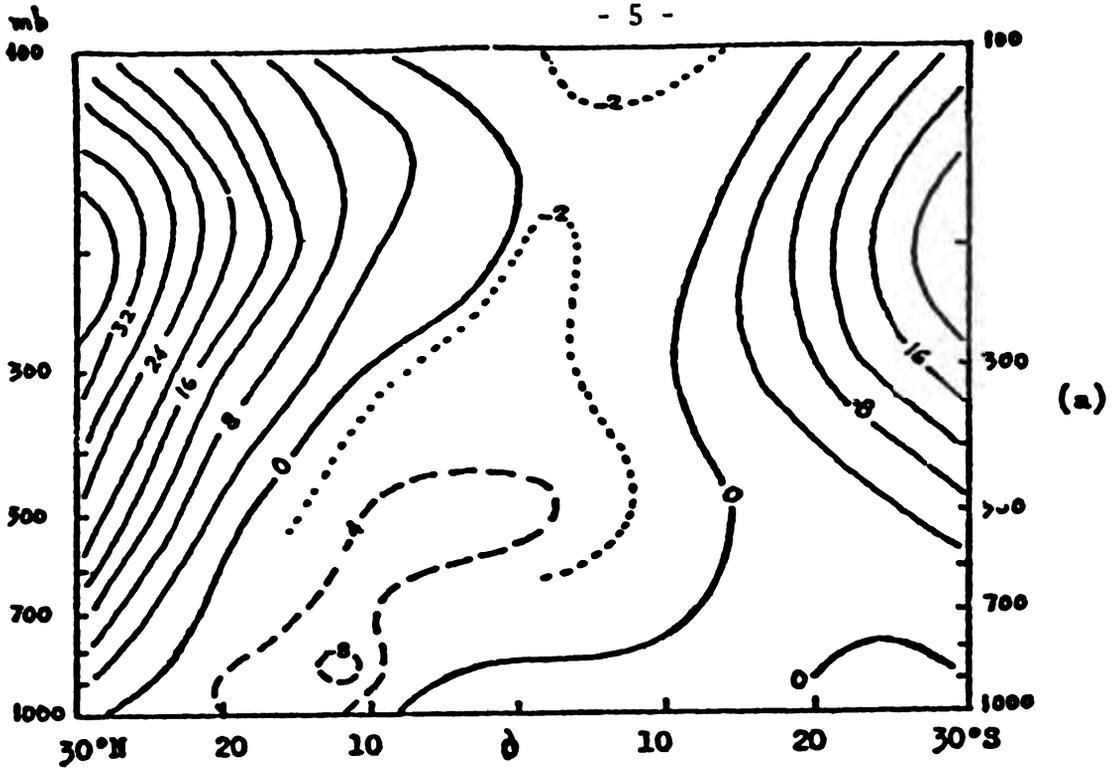


Figura 1: Corte meridional del viento zonal a lo largo del meridiano 80°W. Valores positivos del oeste. Unidades en m/s. (Schvertdfeger y Martin 1964 y Hastenrath 1968).

- (a) Diciembre- Febrero hemisferio sur y Enero hemisferio Norte;
- (b) Junio- Agosto hemisferio Sur y Julio hemisferio Norte.

MICROCLIMAS

Vilma Castro León*

El clima se refiere a las características atmosféricas de una zona geográfica extensa y el microclima a las variaciones que existen dentro de ese clima, causadas por irregularidades como cauces de ríos, colinas, bosques o edificios.

Los emplazamientos de las estaciones meteorológicas se escogen evitando los microclimas y buscando condiciones normalizadas: terreno plano sin obstáculos, césped corto, etc. Sin embargo, es interesante conocer cómo determinado factor afecta las condiciones ambientales y produce microclima.

Efecto de los obstáculos sobre el viento

Entre más quebrado sea un terreno mayor es la posibilidad de formación de microclimas, principalmente porque los obstáculos se oponen a la acción uniformadora del viento: el viento se encarga de llevar aire frío a las zonas calientes y de mezclar todo lo que se encuentre entre 0 y 1 km de altura aproximadamente.

Sin la acción del viento, el aire frío tiende a empozarse porque es más denso que el aire caliente y tiende a depositarse en el fondo de valles y concavidades durante la noche, hasta que el sol del día lo calienta por contacto con el suelo y lo obliga a levantarse. Por esta razón, hay riesgo de heladas en los lugares donde el aire frío se puede empozar.

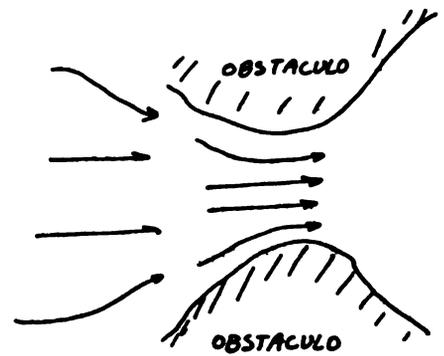
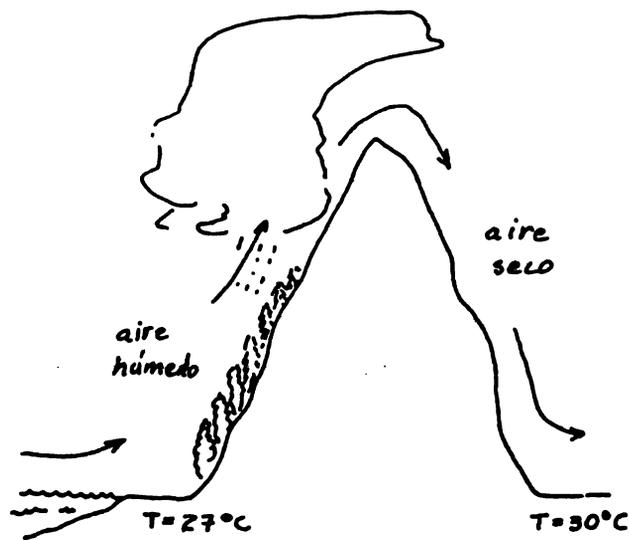
* Profesora Investigadora, Universidad de Costa Rica, San Pedro de Montes de Oca.

La temperatura del aire estancado desciende a veces por debajo de la temperatura del punto de rocío, produciéndose niebla y condensación sobre las plantas. Es importante recalcar que el empozamiento de aire lo puede producir también cualquier obstáculo que detenga el movimiento del aire, por ejemplo, árboles o los surcos en un terreno arado, y que cuanto menor sea la velocidad del viento mayor es la probabilidad de empozamiento.

Las diferencias entre una región a sotavento y a varlovento de un obstáculo son marcadas. Ante todo, la fuerza del viento es menor en el lado resguardado del obstáculo a menos que su configuración no produzca remolinos o acanalamiento.

En forma resumida, a barlovento:

- la velocidad del viento es mayor
- el aire es más húmedo
- llueve más, la radiación solar es menor
- la temperatura del aire al pie del obstáculo es mayor que a sotavento.



Aceleración por acanalamiento

Efecto de obstáculos al paso del viento.

Efecto de los obstáculos sobre la radiación incidente

Para los países del hemisferio norte, las laderas con pendiente hacia el sur reciben más radiación que las laderas con pendiente hacia el norte, ya que el sol está ubicado durante la mayor parte del año hacia el sur. En cuanto a la elevación, los picos de las montañas reciben más radiación que las zonas bajas, pues el espesor de atmósfera que deben atravesar los rayos solares es menor.

NORMAS PARA LA CONSTITUCION DE UN BANCO DE DATOS METEOROLOGICOS
CON FINES AGROCLIMATICOS

Vilma Castro León*

En una estación meteorológica de primera clase se registran las siguientes variables:

Precipitación	Temperatura
Humedad	Radiación
Viento	Evaporación
Temperatura del suelo	Presión

Las normas que dictan los procedimientos para la recolección y tabulación de datos están establecidas por la Organización Meteorológica Mundial. Los datos obtenidos regularmente por los servicios meteorológicos deben ser suficientes y adecuados para trabajos de tipo agrometeorológico, de manera que no sea necesaria la creación de un banco de datos especial. Una característica necesaria del dato para uso agrometeorológico es la continuidad, es decir, registros horarios o diarios. El volumen de un banco de datos de este tipo obliga al uso de un computador.

El clima de Centroamérica y el Caribe tiene determinadas características que hacen necesario tener algunos cuidados con el tratamiento de datos. A continuación se enumeran algunos de ellos:

* Profesora Investigadora, Universidad de Costa Rica, San Pedro de Montes de Oca.

La precipitación es sumamente variable y, por lo tanto:

- Para fines agrícolas es importante conocer la distribución de la lluvia a lo largo del año, si es posible a nivel de década.
- La media es un valor impreciso si no se conoce la desviación standard.
- Es preferible tener un conocimiento de probabilidad de lluvia.
- Para obtener estadísticas válidas es necesario contar con una muestra grande.

La radiación no es tan variable como la precipitación, por lo cual no son necesarios tantos años de registro para obtener un promedio válido como lo es en el caso de la lluvia.

Las demás variables de la lista de la página anterior son mucho más estables:

- Un promedio mensual de temperatura fluctúa alrededor de 1°C de un año a otro, por lo tanto, 3 ó 4 años de registro son suficientes para obtener un promedio válido.
- Las fluctuaciones diurnas superan la fluctuación anual.

Evaluación de la longitud de los registros de precipitación*

$$S = 100 \gamma^{-0.84}$$

* Tomado de HARGREAVES, G. H. y HANCOCK, K. "Evaluation of length of precipitation records for Honduras". Utah State University, CID 76A-169, October 1976, 139 p.

S - desviación standard

Y - número de años de registro

Ejemplo: si $Y = 20$ años, entonces $S = 8$

Esto significa que un valor medio de precipitación basado en 20 años de registro, tiene un 92% de probabilidad de estar dentro de $\pm 8\%$ del promedio a largo plazo.

RADIACION SOLAR

Vilma Castro León*

El sol es la fuente de energía para un proceso básico en la vida de las plantas: la fotosíntesis. También afecta la temperatura del aire y de las plantas y, por ende, el balance hídrico de las mismas. Estas razones son suficientes para interesarnos en conocer las características de la radiación solar en la atmósfera.

El espectro de radiación solar

El sol emite el 99% de su energía entre el ultravioleta (0.3 μm) y el infrarrojo (3 μm), a razón de 1360 J/s m^2 , la cual es interceptada en su paso hasta el suelo por las nubes, la atmósfera y otros objetos, entre ellos las plantas.

La energía en el rango del U.V. (0.3 a 0.4 μm) constituye de un 3 a un 7% de la energía solar total. Los seres humanos la podemos "sentir" aunque no la podamos "ver", ya que es la responsable del bronceamiento y del cáncer en la piel, también activa las enzimas responsables de la síntesis de la vitamina D y de la desactivación de algunos virus.

La radiación entre 0.4 y 0.7 μm , comúnmente llamada luz, es la responsable de la visión en los animales, y la fotosíntesis, fotoperiodismo y fotomorfogénesis en las plantas. Cerca del 50% de la energía solar recibida en el suelo pertenece al rango de luz visible.

* Profesora Investigadora, Universidad de Costa Rica, San Pdero de Montes de Oca.

La energía en el infrarrojo (0.7 a 3.0 μm) produce aumento de calor sensible (temperatura) o de calor latente (evaporación) en los cuerpos que la absorben.

Atenuación de la Radiación

La cantidad de energía que llega al suelo depende de la constitución de la atmósfera, de su espesor y de la presencia de nubes:

La atenuación de la radiación es mayor en atmósferas sucias y húmedas.

Hasta un 90% de la energía puede ser devuelta al espacio si hay nubes espesas.

Cuanto mayor sea el espesor de atmósfera a atravesar, mayor es la atenuación.

El espesor de atmósfera que debe atravesar un rayo de luz disminuye con la altura, es inferior en el Ecuador que en los Polos y disminuye hacia las horas del mediodía.

Balance de Radiación

La energía solar que incide sobre un objeto puede seguir tres caminos: ser reflejada, ser absorbida o atravesarlo. Veremos como se comportan diferentes superficies naturales ante la radiación incidente.

1. AGUA: el agua es casi transparente en rango del visible, aunque absorbe más la luz roja que la luz azul, en el infrarrojo la absorbtividad es casi 100%. La reflectividad de una superficie de agua aumenta con el ángulo de incidencia de la luz.
2. SUELOS: La reflectividad de los suelos depende del ángulo de incidencia de la luz, del color, de la textura y del contenido de agua

y de materia orgánica. Los suelos de grano grueso, oscuros, húmedos y con alto contenido de materia orgánica son menos reflectores. El coeficiente de reflexión de un suelo puede variar desde un 10% para suelos orgánicos hasta un 30% para arena del desierto. El porcentaje restante es absorbido y transformado en calor.

3. VEGETACION: de un 80 a un 90% de la radiación en el visible es absorbida por las plantas, el porcentaje restante se reparte por partes iguales en reflexión y transmisión. En el rango del infrarrojo la reflectividad es cercana al 100%: una especie de protección de las plantas contra calentamiento excesivo. La reflectividad global de la vegetación oscila desde un 10% para vegetación tupida y en crecimiento hasta un 25% para césped corto.
4. ANIMALES: la radiación solar penetra en la piel de los animales dependiendo de su pigmentación. La reflectividad depende más que nada del color de la piel.

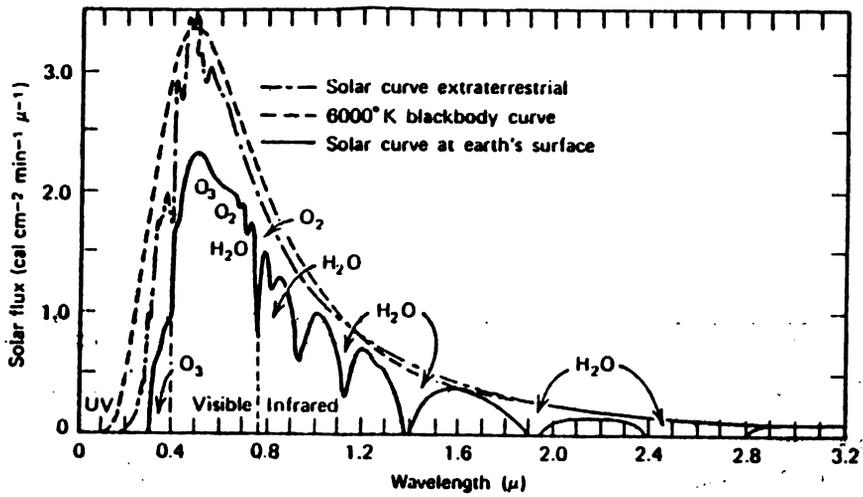


Fig. 1. Espectro de radiación solar at tope de la atmósfera y en la superficie de la tierra (Gates, 1962)

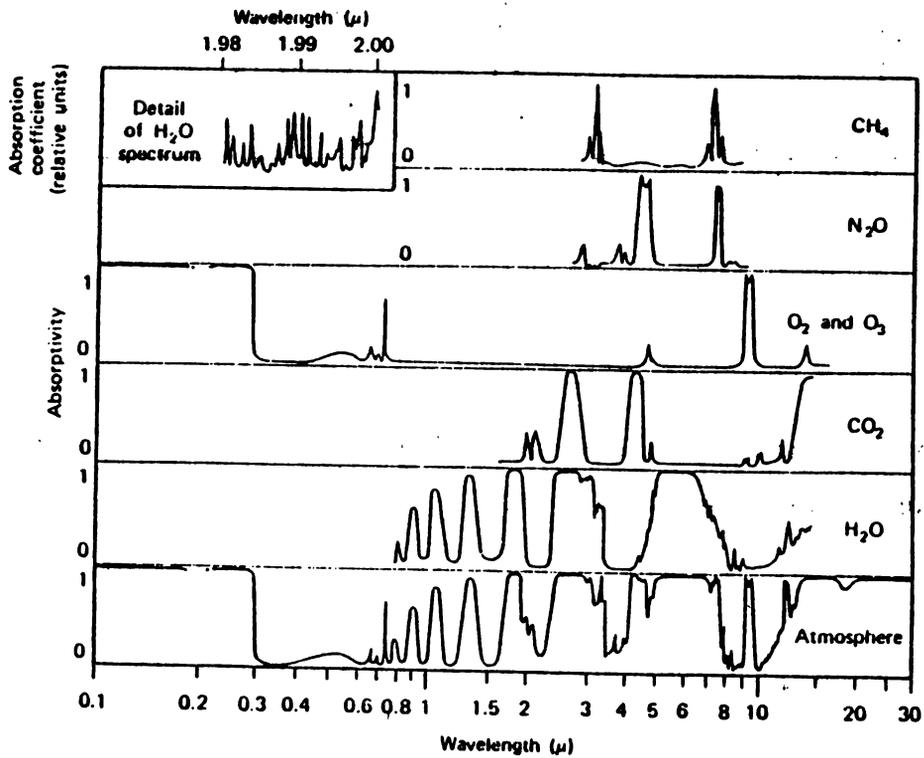
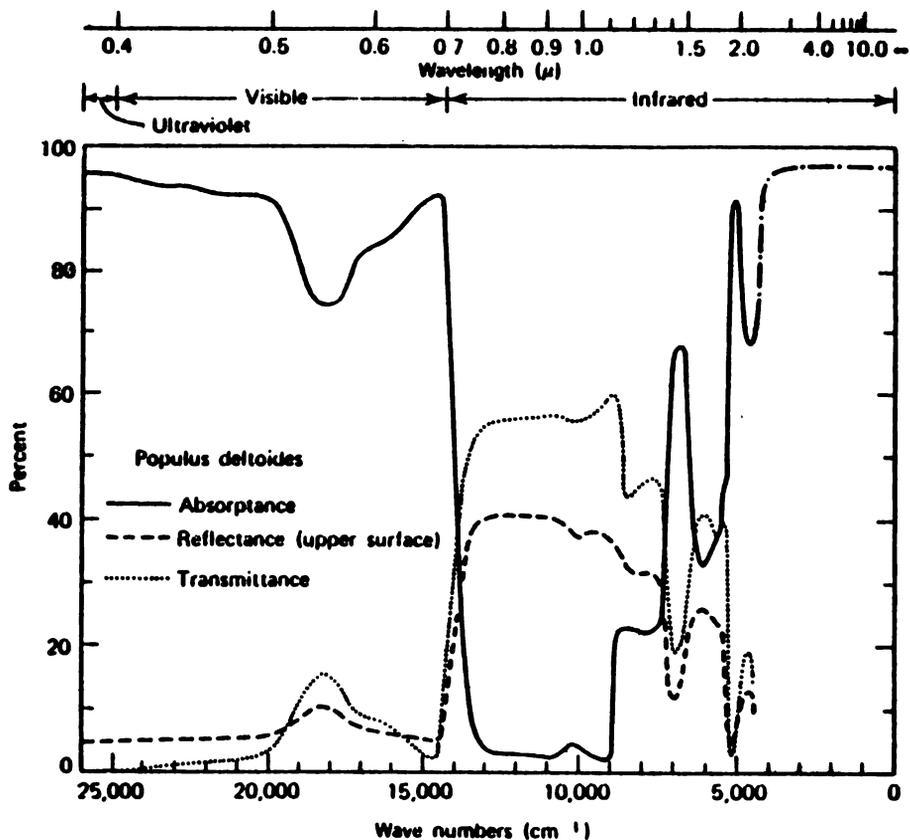


Fig. 2. Espectro de absorción de los gases atmosféricos (Fleagle and Businger, 1963).



Reflectividad, transmisividad y absorptividad espectral de una hoja de *Populus deltoides* (Gates, 1965).

EFECTO DE LOS ELEMENTOS METEOROLOGICOS EN LOS
CULTIVOS

Vilma Castro León*

Las condiciones atmosféricas afectan diversos aspectos del desarrollo y crecimiento de las plantas y pueden producir reducciones drásticas en la producción agrícola. El propósito fundamental de estudiar las relaciones entre el clima y la producción agrícola es el de determinar:

- Los factores necesarios para una producción óptima
- Los factores climáticos limitantes de determinado lugar

Estas relaciones no son fáciles de determinar. Se han estudiado utilizando diferentes métodos, por ejemplo: métodos estadísticos, invernaderos o modelos de crecimiento vegetal.

Las correlaciones estadísticas se obtienen comparando registros a largo plazo de cosechas contra registros climáticos. Estas relaciones son útiles pues son sencillas de obtener y dan una primera visión sobre el problema, pero por lo general son empíricas, no se pueden generalizar a situaciones diferentes de las cuales fueron derivadas y es muy difícil establecer relaciones entre la producción y un parámetro climático aislado.

El efecto de un factor ambiental aislado sobre las plantas se puede observar en un invernadero, haciendo variar un factor mientras se

* Profesora Investigadora, Universidad de Costa Rica, San Pedro de Montes de Oca.

mantienen los demás constantes. Mucho se ha descubierto acerca de la respuesta fisiológica de las plantas a determinado parámetro observándolas en ambientes controlados. Sin embargo, a veces es difícil extrapolar los resultados a condiciones de campo, ya que las condiciones ambientales reales son muy diferentes.

Los modelos de crecimiento vegetal intentan representar en forma simplificada las relaciones entre los factores ambientales y la producción vegetal, combinando el conocimiento de los procesos básicos de fisiología vegetal y bioquímica contra conocimientos de micrometeorología y física de suelos.

En un modelo, el peso de materia seca vegetal acumulada W desde un tiempo t_1 hasta un tiempo t_2 se puede obtener a través de la integral:

$$W = \int_{t_1}^{t_2} (P - R) dt$$

donde P es la materia seca acumulada por fotosíntesis y R la materia utilizada en respiración. Tanto P como R dependen de los factores ambientales.

RADIACION SOLAR

Se ha demostrado que la acumulación de materia seca vegetal es proporcional al monto de radiación interceptada por las plantas.

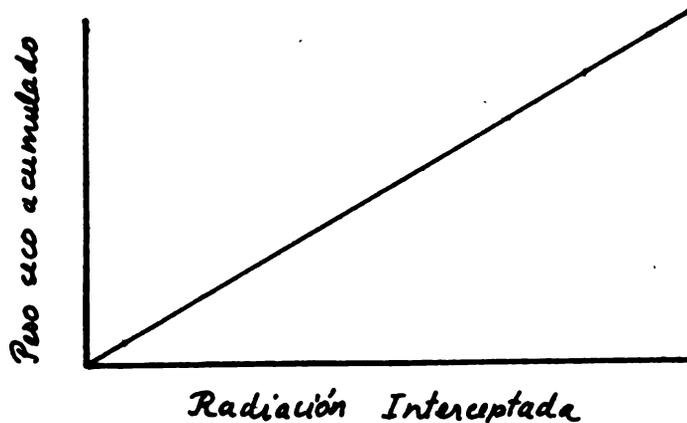


Fig. 1. Acumulación de materia seca en función de radiación solar interceptada.

La fracción de radiación interceptada depende del área foliar (área de hojas/unidad de área de suelo), de la disposición geométrica de las hojas en relación al sol y de las propiedades radiativas de las hojas: reflectividad, transmisividad y absortividad. La mayoría de los cultivos interceptan más de 80% de la radiación incidente una vez que alcanzan un área foliar de 4 ó 5. Es evidente que cualquier factor que impida el desarrollo del área foliar: plagas, sequía, falta de nutrientes, etc., afecta la acumulación de materia seca por una planta. Por otro lado, cuando la cantidad de follaje es suficiente para interceptar cerca de 100% de la radiación, cualquier follaje extra puede ser perjudicial, ya que no contribuye a la fotosíntesis y utiliza materia y agua en respiración y transpiración.

La fotosíntesis depende también de la calidad de la luz. Las plantas usan únicamente la energía de la radiación en el rango de 0.4 a 0.7 μ .m, conocida como radiación fotosintética activa. La siguiente figura muestra la velocidad con que el CO_2 del aire es asimilado en función de la intensidad de radiación:

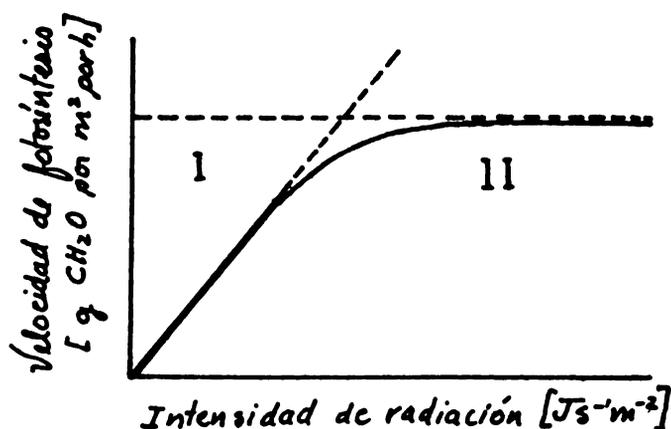


Fig. 2. Velocidad de asimilación de CO₂ en función de la intensidad de radiación fotosintética.

TEMPERATURA

En diferentes investigaciones se ha demostrado que el desarrollo de área foliar es una función lineal de la temperatura, por lo tanto una temperatura adecuada es esencial cuando el follaje se está formando.

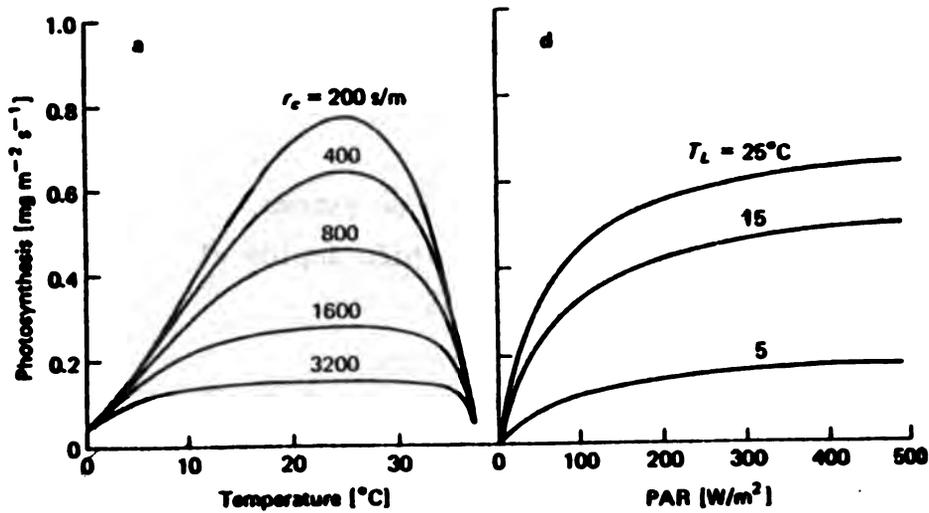
La velocidad de desarrollo de las plantas es proporcional a la temperatura y se necesita determinado número de "grados día" para que la planta alcance cierto punto de desarrollo tal como floración, maduración del fruto, etc.

El número de grados día se calcula mediante la integral

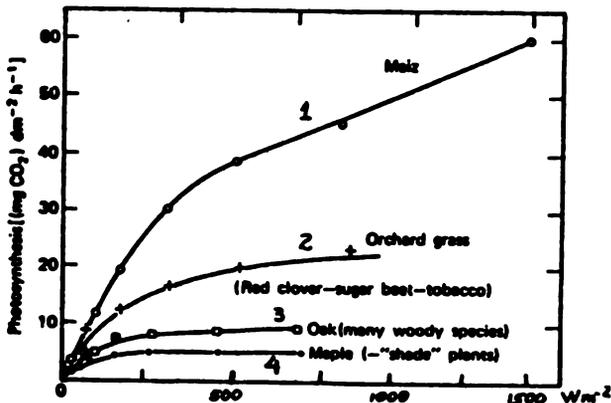
$$\int_0^t (T - T_b) dt ; \quad \text{si } t < T_b \Rightarrow T - T_b = 0$$

donde T es la temperatura media diaria y T_b una temperatura base por debajo de la cual no ocurre ningún desarrollo. En un modelo, los registros de temperatura permiten estimar el tiempo de vida de una plantación.

La figura a continuación ilustra otros efectos de la temperatura sobre las plantas.



En la sección I de la curva la energía no es suficiente para realizar la fotosíntesis a mayor velocidad. En la sección II la resistencia en los poros de la planta no permiten que la reacción ocurra a mayor velocidad: en este caso se dice que la planta ha alcanzado su nivel de saturación. La Fig. 3 muestra las respuestas a la intensidad de la luz de diferentes plantas.



- | | |
|---|--------------------------------|
| 1. Maiz, caña de azúcar | 3. Roble (especies maderables) |
| 2. Césped, trébol rojo, tabaco, remolacha | 4. Maple (plantas de sombra) |

Fig. 3. Respuesta de la fotosíntesis de algunas plantas a la intensidad de la luz.

En resumen, en un modelo de crecimiento vegetal, la acumulación de materia seca se puede estimar en función de la radiación interceptada y de las características fisiológicas de cada especie vegetal.

VIENTO

La escasez de agua produce el cierre de estomas para evitar el escape de agua por transpiración. Esto también impide el paso de CO_2 y, por lo tanto, se detiene la fotosíntesis.

Las plantas absorben CO_2 de hasta una altura de 30 m, gracias a la mezcla de aire por turbulencia. En los invernaderos se ha comprobado la efectividad de "abonar" enriqueciendo el aire con CO_2 . Por esta razón, la presencia de viento moderado es favorable ya que ayuda a producir turbulencia y pone mayores cantidades de CO_2 en disponibilidad para las plantas. Por lo general, la concentración de CO_2 en el aire es aproximadamente constante en 300 ppm, siguiendo un ciclo diurno cuyo mínimo ocurre en la tarde y el máximo en la madrugada.

El viento también puede tener efectos perjudiciales: si es muy fuerte produce daños mecánicos y en condiciones de escasez de agua favorece la evaporación.

CONCENTRACION DE CO₂

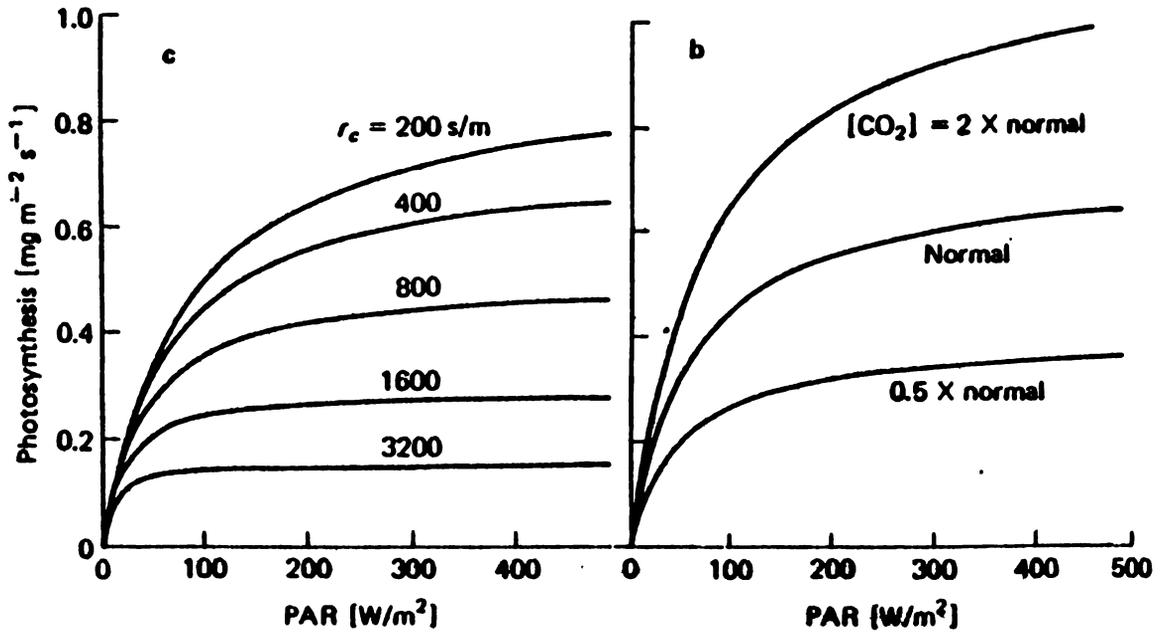


Fig. 5. Efecto de la concentración de CO₂ en la fotosíntesis. (r_c = resistencia de las plantas a la absorción de CO₂)

ALCANCES Y APLICACIONES DE LA AGROMETEOROLOGIA

Gelio Tomás Guzmán López*

GENERALIDADES

De acuerdo a la definición de la O.M.M. (1982), la Agrometeorología o Meteorología Agrícola es la ciencia que estudia la interacción entre los factores meteorológicos e hidrológicos por una parte y por otra la agricultura en general, incluyendo la horticultura, ganadería y silvicultura. Su objetivo es definir tales efectos y así aplicar los conocimientos de los procesos atmosféricos en la utilización de prácticas agrícolas. En adición al clima natural y a sus variaciones locales, la Meteorología Agrícola también se ocupa de las modificaciones artificiales del medio (como por ejemplo, rompevientos, riego, invernaderos, etc.), además de las condiciones climáticas del almacenamiento y transporte de productos agrícolas y de las condiciones ambientales de establos, bodegas y construcciones agrícolas.

Las relaciones entre el tiempo y la agricultura pueden ser consideradas bajo seis puntos de vista:

Suelos

La erosión es un proceso facilitado por la abundancia o escasez de lluvias, además por el viento. Por otra parte los factores meteorológicos tienen gran incidencia en los cambios de propiedades físicas y químicas del suelo.

* Servicio de Meteorología e Hidrología de El Salvador.

Plantas

La planta se ve afectada por las condiciones del medio ambiente durante todas las fases de su desarrollo. Las influencias del tiempo se hacen sentir desde antes de la siembra hasta después de la cosecha. La calidad de la semilla y de los productos agrícolas dependen del tiempo.

Ganado

Además de las influencias directas, el tiempo afecta a los animales a través de las plantas y de las condiciones de campo de pastoreo. Además afecta su alimentación, crecimiento, desarrollo, fecundidad y salud. Distribución, crecimiento. Distribución geográfica. Producción y la calidad de los productos.

Plagas y Enfermedades

El tiempo aumenta la susceptibilidad de las plantas y animales a los ataques de plagas y enfermedades. También influye en la biología de los insectos y organismos patógenos. Además, tiene incidencia en el tiempo efectividad de la medida de control y en la cantidad y toxicidad de los residuos.

Construcciones y Equipos Agrícolas

Deben de tomarse en cuenta las condiciones climatológicas en el diseño y planificación de establos, silos y bodegas. El tiempo también ejerce su influencia en la selección, mantenimiento y mejor uso de maquinaria agrícola.

Modificaciones Artificiales del Régimen Meteorológico e Hidrológico

Riego, rompevientos, almacenamiento y conservación de agua, al mismo tiempo que prácticas de conservación de suelos tiene una gran influencia

en ciertos aspectos del medio ambiente local como en la humedad del suelo y de la atmósfera, velocidad del viento. El asesoramiento en la magnitud y dirección de los cambios climáticos debido a la actividad humana es también una importante tarea de la Agrometeorología.

RELACIONES ENTRE LOS ELEMENTOS DEL MEDIO Y LA PRODUCCION

El siguiente esquema (Arze, 1978) nos muestra la complejidad de las influencias e interrelaciones de los factores físicos del medio en la productividad agrícola. El hombre debe saber intervenir con sumo cuidado para poder aprovechar los factores favorables, defenderse de los nocivos o mejorar los que estén en deficiencia y emprender aquellos cambios posibles, generalmente a nivel de microescala, siempre que no se produzcan desequilibrios en el ecosistema.

En vista de la diversidad de procesos, su tratamiento y la esfera en donde tienen lugar, la AGROMETEOROLOGIA es una ciencia multidisciplinaria en la que concurren CIENCIAS FISICAS, BIOLOGICAS, MATEMATICAS, FISIOLOGICAS, ANIMAL y VEGETAL, EDAFOLOGIA, PATOLOGIA VEGETAL y ANIMAL, TECNICAS DE INGENIERIA AGRONOMICA, DE CONSTRUCCION, QUIMICA, ETC.

CAMPOS DE APLICACION DE LA METEOROLOGIA AGRICOLA

Generalidades

Siendo que todas las facetas de la producción agropecuaria dependen del tiempo atmosférico, los campos de aplicación son muy variables y van desde la concepción de un planeamiento a largo plazo hasta el pronóstico diario preventivo.

Siguiendo la cita de v.EIMERN (1973), la tarea de la agrometeorología consiste en utilizar todos los conocimientos agrometeorológicos y

climatológicos para ponerlos al servicio del agricultor, para que éste haga uso de ellos con el objeto de aumentar la producción agropecuaria en calidad y cantidad, de una manera lo más económica y rentable posible.

Los aspectos relevantes de la producción agropecuaria son la planificación y la actividad agrícola cotidiana. En estos aspectos, el clima y el tiempo tienen una intervención decisiva. El rendimiento de las especies o variedades dependen en gran parte del clima y su óptima producción se dará en los ecosistemas que mejor puedan satisfacer sus necesidades. Las operaciones agrícolas y el éxito de la cosecha anual, desde la siembra hasta el almacenamiento, transporte y en nuestros países, exportación, dependerá de las condiciones del tiempo atmosférico.

La agrometeorología y/o agroclimatología pueden ayudar al agricultor en las siguientes formas de decisiones (v.EIMERN):

1. Decisiones estratégicas

- a) Pronósticos a mediano y largo plazo de fenómenos meteorológicos.
- b) Pronósticos a mediano y largo plazo de fenómenos biológico-agrícolas, basándose en datos meteorológicos (pronóstico de cosechas, abastecimientos, importaciones, etc.).
- c) Bases para la planificación agrícola en forma de documentación macro, meso y microclimática.

2. Decisiones tácticas que ayudan al agricultor a tomar decisiones operativas inmediatas.

- a) Pronósticos de fenómenos meteorológicos de importancia a la agricultura.

b) Pronósticos de fenómenos biológicos agrícolas que se basan en datos meteorológicos (fases fenológicas, incidencia de plagas y enfermedades, etc.); y,

3. Desarrollo y prueba de prácticas culturales efectivas y económicas

a) Para conocer las condiciones óptimas de crecimiento (microclima, densidad de siembra, mantillo, riego, etc.)

b) Protección contra daños directos e indirectos del tiempo (vientos, granizo, erosión, heladas, etc.)

Dentro del punto podría citarse la elaboración de una estrategia idónea y sostenible para la planificación agrícola a largo plazo (COM, 1984) que incluya:

- Planificación agrícola y económica a escala regional y nacional
- Selección del terreno para utilizar al máximo los aspectos favorables
- Mejoramiento del terreno
- Selección de la actividad (cultivo, cría de ganado, silvicultura) organización e intensidad.

Diseño y dimensiones de los edificios, invernaderos, establos, maquinaria, etc. de la explotación agrícola.

- Diseño de medidas pasivas de protección contra riesgos meteorológicos: sequías, heladas, vientos, invernaderos, establos; conservación de suelos, drenajes (relacionadas con punto 3).
- Calendarización y rotación de cultivos.

Una vez tomada la decisión estratégica y planificada, la agricultura, el tiempo cambiante de año en año hará tomar medidas tácticas a corto plazo para fomentar o proteger la producción.

- Calendarización de cultivos
- La preparación del terreno
- Siembra, fertilización
- Riego suplementario
- Combate de plagas y enfermedades
- Cosechas, secado, cura, producción lechera y esquila
- Producción maderera
- Almacenamiento de los productos
- Transporte y comercialización
- Limpieza de rastrojos y preparación para la próxima cosecha.

El aviso oportuno ayudará a salvaguardar las cosechas tomando medidas de protección previamente establecidas.

METODOLOGIAS AGROMETEOROLOGICAS

La gran diversidad de aspectos, campos de aplicación y escalas de tiempo y espacio, han obligado a la AGROMETEOROLOGIA a crear sus metodologías características para satisfacer las necesidades de todos los usuarios.

Estadísticas Agroclimáticas

Los estudios agrometeorológicos se basan en el banco de datos proporcionados por la red meteorológica nacional. No obstante, las estadísticas no están preparadas por lo general, para cubrir las necesidades de detalle de la agrometeorología. Las estadísticas deberán estar preparadas no sólo para datos mensuales, sino para otros períodos de tiempo: décas o péntadas.

Además, deberán tenerse no sólo promedios, sino que otros niveles de probabilidad, en especial de la lluvia.

Otros eventos meteorológicos como heladas, vientos fuertes, etc., deberán estar expresadas por su probabilidad y su período de recurrencia.

También deberán estar disponibles la duración de los elementos sobre o bajo ciertos umbrales.

Para poder hacer un uso correcto y eficiente de los datos, el archivo deberá contener suficiente información a nivel diario.

Además de los datos tradicionales, deberán contarse con datos de temperatura del suelo, humedad del suelo, evaporación y rocío. En el mismo banco deberá estar la información biológica y fenológica.

Los resultados deberán estar contenidos en tablas, tablas de contingencia, gráficos y mapas. Un resumen general está contenido en el Agroclimatograma, como lo muestra la Figura 2.

Como información derivada, puede elaborarse los períodos con déficits y excesos de agua, período libre de heladas, período de cultivo $P > ETP/2$, período húmedo $P > ETP$, frecuencia de períodos secos, comienzo de la estación lluviosa, índices de disponibilidad de agua. Clasificaciones climáticas (Köppen, Thornthwaite) y agroclimáticas, zonas de vida (Holdridge).

Zonificación Agroclimática

Consiste en dividir al país o sus regiones en áreas de rendimiento óptimo para las distintas especies y variedades mejoradas o introducidas, locales o exóticas, de acuerdo a las características climáticas, la zonificación debe contener los distintos sistemas espaciales y arreglos cronológicos de los cultivos en asocio o en relevo.

Las metodologías son muy variadas. Como ejemplo pueden mencionarse:

Índices bioclimáticos: consiste en analizar los requerimientos climáticos de los cultivos y ganados y compararlos con la oferta climática de la zona. En el análisis deben de considerarse los períodos críticos de los organismos y la respuesta a distintos umbrales (por ejemplo: requerimientos térmicos del tomate, requerimientos térmicos de ganado tropical, demanda hídrica del sorgo y cacahuete).

Los índices bioclimáticos son obtenidos de bibliografía o experimentación (laboratorio y de campo).

Analogía Climática

Consiste en comparar el clima de un lugar de alto rendimiento conocido, con los datos climatológicos de la zona estudiada.

Se puede calcular las diferentes medias, desviaciones standard y residuos máximos a temperaturas máximas y mínimas. Además, la regresión y correlación de las precipitaciones mensuales.

Analogía Meteorológica

Consiste en comparar el tiempo en un año de óptimo rendimiento y el de pésimo, para descubrir las combinaciones favorables y desfavorables del tiempo.

Modelos Estadísticos

Se derivan de análisis de correlación y regresión de datos climatológicos, con datos de producción.

Pronóstico a mediano plazo

Pronóstico de Eventos Fenológicos

Una fase fenológica puede pronosticarse conociendo la fecha de una fase anterior y los requerimientos meteorológicos, para llegar a la próxima fase. Una metodología se basa en el concepto de grado-día, o sea que necesita acumular un cierto número de unidades de calor para pasar de una fase fenológica a otra. Para la predicción se utilizan valores climatológicos normales.

Ejemplo: una variedad de maíz necesita $900^{\circ}\text{C} \times \text{día}$ de siembra a espigazón.

En qué fecha florecerá en San Andrés, si se siembra el 15 de mayo?

	Mayo	Junio	Julio
T. media	25.2	24.3	24.1°C
R: 16 de julio, con temperatura base 10°C			

En el modelo de predicción pueden introducirse otros elementos climáticos como radiación, luz solar, etc.

Pronóstico de Cosechas

Entre los modelos se encuentran los empírico-estadísticos, que son los más utilizados.

Se basa en análisis estadísticos de correlación y regresión. Las funciones matemáticas pueden ser ecuaciones lineales, polinomios, ortogonales, funciones de una o más variables lineales o no lineales.

Como variables se utilizan datos de radiación, lluvia, temperatura, evapotranspiración, longitud del día.

El método de FAO (1980) incluye un índice derivado del balance hídrico. También se incluye el trend tecnológico y castigos por riesgos climatológicos o bióticos. La variable puede ser elegida al azar o discriminada por métodos estadísticos o pueden ser elegidas de acuerdo a criterios fisiológicos, agronómicos, ya sea por favorecer o entorpecer el desarrollo del cultivo en períodos críticos.

Los coeficientes de los modelos son válidos estrictamente para la zona en que fueron establecidos.

Ejemplo: para Japón, Murata, estableció para el arroz:

$y = St_1 (21.95 - 0.72)t_2$. y : rendimiento en kg/ha. S : radiación solar media en agosto y septiembre. t_1 y t_2 son temperaturas medias del aire, mayo/junio y agosto/septiembre. El modelo para pronóstico del trigo en Brasil es $y = 5.99 x_1 - 3.45 x_2 - 20.72 x_3 + 1871$, con x_2 , x_1 insolación en septiembre y agosto, y x_3 humedad relativa en octubre.

La bibliografía sobre pronóstico de cosechas es abundante (OMM, N.T. 151, 174) y pueden involucrarse otras técnicas como la percepción remota desde satélites (CANDSAT).

Pronóstico a corto plazo varios días hasta una semana

Pronósticos meteorológicos especiales de situaciones que pueden afectar directamente cultivos o ganados y actividades agrícolas:

- Sequías
- Inundaciones
- Heladas
- Reserva de humedad del suelo
- Granizo
- Vientos fuertes
- Situaciones atmosféricas violentas
- Períodos de días de trabajo.

Pronóstico de eventos que son originados por el tiempo atmosférico y que afectan la agricultura;

- Aparecimiento de plaga
- Aparecimiento de enfermedades
- Incendios forestales

Pronósticos de Plagas y Enfermedades de Plantas y Animales

La información sobre este campo es abundante (OMM-NT 10, 55, 99, 54, 69, 113, 137, 167).

Las metodologías pueden agruparse en dos categorías:

- a) Utilización del tiempo pasado en relación al desarrollo de los patógenos.
- b) Utilización de modelos que involucren el pronóstico de situaciones sinópticas de corto plazo.

La actividad vital de los insectos depende de los límites térmicos que limitan la zona de actividad vital y la suma de temperaturas que necesitan para pasar de un ciclo determinado de su desarrollo.

El período de días puede calcularse de la fórmula:

$$n = \frac{t_{ef}}{t - t_l}$$

T_{ef}: suma de temperaturas

t : temperatura media del período de crecimiento dado

t_l : temperatura del mínimo biológico

n : duración del período en días

Ejemplos: con temperaturas de 26 a 30° para el crecimiento de larvas de langosta, se necesitan 460°C x día, pero de 18 c 26°C crece hasta 580°C.

Las mismas fórmulas pueden utilizarse para calcular el número de generaciones en un período vegetativo. Como temperatura se usa la media mensual y 10°C como cero biológico.

Si una especie necesita 1000°C para una generación, ¿cuántas generaciones se tendrán en el período vegetativo de 200 días con temperatura media de 30°C.

$$T_{ef} = \frac{4000^\circ\text{C}}{1000} = 4 \text{ generaciones}$$

Para enfermedades fungosas, Phytoptora o Royas, además de la temperatura límite, incide la duración de presencia de agua líquida sobre las hojas, lo que se toma en cuenta en los modelos de pronósticos. Pueden tomarse también otros elementos representativos como días con precipitación y humedad relativa. Existen modelos para pronosticar Phytoptora infestans de la papa, en varios países, así como de la roya de la manzana y de la roya del café; eczema facial de las ovejas.

Muchos de los modelos se basan en la ocurrencia de los índices meteorológicos que favorecen el desarrollo de los patógenos.

El pronóstico de las plagas y enfermedades nos da una base para el control preventivo o el combate, reduciendo al mínimo las aplicaciones de químicos, que recargan el medio ambiente.

Topoclima-Microclima (OMM.N.T. 119 y 133)

La planificación de agricultura intensiva, requiere un mayor detalle en la escala espacial. El estudio de los topoclimas, o sea de las variaciones locales originadas por la topografía, servirá para una mejor ubicación de las plantaciones, dependiendo de su grado de resistencia, susceptibilidad o requerimiento. El diseño de medidas de protección o el aprovechamiento de las condiciones cerca del suelo o en espacios de pequeñas dimensiones requiere del conocimiento del microclima, especialmente de las interrelaciones entre los elementos, con el objeto de no alterar los equilibrios físicos y ambientales. El microclima describe además el ambiente intrínseco en el que viven organismos patógenos. Estudios topo y microclimáticos son fundamentales en las metodologías agrometeorológicas.

Manejo y Protección de Cultivos y Ganados

Para mejorar la producción pueden tomarse medidas para variar algún elemento climático que esté en déficit o para proteger los cultivos, ganados o sus productos.

Algunas de estas medidas son:

Riego

Permite suministrar la dotación correcta de aguas, que debería hacerse en base a las necesidades reales de los cultivos, por medio de cálculos de BALANCE HIDRICO (FAO, 1980 - OMN N.T. 97).

Rompevientos

El diseño y correcto emplazamiento evitará o disminuirá los daños directos del viento, o los indirectos como el aumento de la transpiración. También los rompevientos son favorables para la protección de ganado vacuno y ovino. No obstante, deberán tomarse en cuenta los cambios en otros elementos como la humedad y evaporación.

Heladas

Las heladas ocasionan daños millonarios a cultivos perennes, establecidos en zonas subtropicales o altas de los trópicos.

El fenómeno ha sido suficientemente estudiado, tanto desde el punto de vista meteorológico, como estadístico.

El diseño y práctica de medidas contra heladas es discutido ampliamente (Nota Técnica OMM. 51 y 118). Las medidas pueden ser pasivas eligiendo el emplazamiento del cultivo a través de estudios topoclimáticos y de la instalación de medios de combate (calor, viento, riego por aspersión).

También el GRANIZO causa severos daños. Las campañas anti-granizo de algunos países, demuestran la efectividad de algunos métodos.

Protección contra el sol

La protección más sencilla consiste en "la sombra de árboles" o ramadas de materiales vegetales. Muchos cultivos crecen bajo sombra: té,

cacao, café. Se ha demostrado también la ventaja de protección para el ganado en los trópicos, a la sombra de árboles.

Invernaderos

Son efectivos para aprovechar ciertas condiciones climáticas (luminosidad) cuando otras no lo son (temperatura). Sirven además de protección contra la lluvia y granizo de cultivos sensibles, flores, hortalizas y de aislamiento contra factores bióticos nocivos o contra la contaminación. La técnica de invernaderos está muy bien desarrollada, hasta constituir unidades completamente independientes y autónomas (O.M.M. Nota Técnica 131).

Alojamiento de animales

El rendimiento de los animales, ya sea el aumento en carne, la producción de leche, huevos, pieles y lana, depende en gran parte de las condiciones ambientales que no sólo le permitan sobrevivir y desarrollarse sino que le ofrezcan ciertas condiciones de confort (O.M.M. Nota Técnica 107 y 122).

A menudo las condiciones climáticas generales no son favorables, necesitando que los animales pasen parte de su vida en un alojamiento artificial. En los trópicos secos bastará la sombra de los árboles o establos techados. En otros climas, se necesitarán ambientes controlados. Generalmente, además de ciertos umbrales de temperatura y humedad, los establos y galeras avícolas deberán gozar de buena ventilación.

Los datos climatológicos se utilizan para el diseño y el emplazamiento de los alojamientos animales.

Además de las metodologías mencionadas, existen otras más que se relacionan con:

- Almacenamiento de frutas y granos (O.M.M. T.N. 53 y 101)
- Transporte de productos (bodegas de barcos, vagones de ferrocarril) (N.T. 17 y 53).
- Operaciones forestales (O.M.M. 527)
- Incendios forestales (O.M.M. N.T. 42)
- Esquila de ovejas
- Aviación agrícola (N.T. 37 OMM)
- Contaminación atmosférica y daños a las plantas (OMM. N.T. 96, 106, 114, 121, 139, 147).
- Lucha contra la desertificación

Todos estos campos necesitan de metodologías especiales, tanto en los aspectos de planificación y los de operación que deben ser satisfechos por los Servicios Agrometeorológicos.

CONCLUSIONES

El campo de la Agrometeorología es muy extenso y se refiere a diferentes escalas de tiempo y espacio. El aumento de la producción de alimentos, fibras y otras materias primas, tiene que satisfacer una creciente demanda. Como se menciona en la publicación "La Meteorología ayuda a producir alimentos", ésto constituye un reto para el mundo. Ya hace 200 años, Malthus publicó un sombrío análisis sobre la situación alimentaria que esperaba al mundo. No obstante, el hombre y las circunstancias naturales y sociológicas que se han dado: guerras, industrialización, mejoramiento de la tecnología agrícola, que desbarataron la tesis de Malthus. Los últimos años han demostrado que nos acercamos a días críticos por anomalías climáticas, como las que ocurrieron en 1972 (Figura 2).

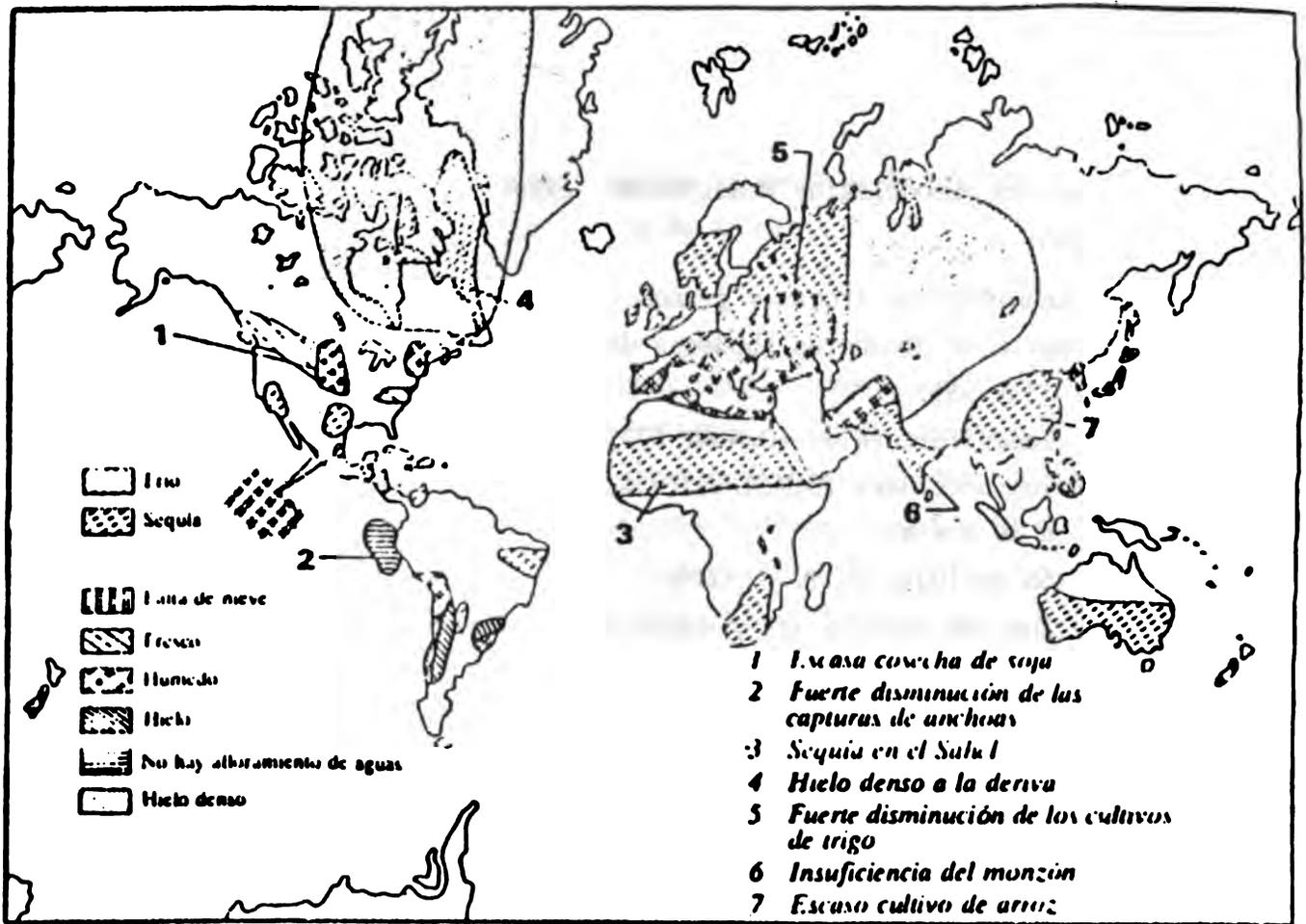


Fig. 2 - Anomalías climáticas mundiales en 1972.

Esta situación ha traído consigo una intensificación de las actividades científicas y aplicadas para asegurar al mundo una suficiente producción de alimentos. Entre éstas se incluyen las actividades nacionales e internacionales, para poner a la Agrometeorología al servicio de los pueblos.

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

- ARZE B., J., 1978. Los factores climáticos en el proceso de producción agrícola. CATIE, Turrialba, Costa Rica (mimeografiado).
- FOOD AND AGRICULTURAL ORGANIZATION (FAO), 1975. Crop Water requirements. Irrigation and drainage. Paper N° 24.
- F.A.O., 1980. Pronóstico de cosechas basado en datos agrometeorológicos. Producción y protección vegetal N° 17.
- O.M.M. 1984. La Meteorología ayuda a producir alimentos, O.M.M. N° 624, Ginebra.
- O.M.M. 1982. Guía de prácticas agrometeorológicas. Primera Edición, OMM N° 134.
- O.M.M. 1983. Publications of the W.M.O. 4.4. Agricultural Meteorology. Notas Técnicas OMM. 1983.
- v. EIMERN, J., (1973). Agrarmeteorologie Heute, in Probleme Der Agrar- Und Forstmeteorologie. Veroff. der Met. Ges. Munchen N° 3.

ANEXO 1

RESEÑA HISTORICA DE LA AGROMETEOROLOGIA

Los antiguos pueblos ya relacionaban al tiempo y al clima con la producción de alimentos de una manera intuitiva; dejaron plasmados estos conocimientos en canciones, leyendas y sobre todo refranes.

Sin embargo, la moderna Agrometeorología comenzó con el invento de los primeros instrumentos meteorológicos.

Por los años 1730, Reaumur comenzó con su estudio de las relaciones entre los cultivos y las temperaturas. Sin embargo, una verdadera Agrometeorología necesitaba del descubrimiento de las relaciones entre los elementos del tiempo y el proceso fisiológico en las plantas.

Algunos descubrimientos de importancia han sido:

- El Fotoperiodismo, descubierto por Garner y Allard en 1919. Consiste en la respuesta de las plantas a la duración de la luz en relación al crecimiento reproductivo. También se trabajó con el fenómeno relacionado del termoperiodismo.
- En 1935, Lisenko amplió la idea de Kleb en 1918, y postuló la teoría del desarrollo de las fases. Se estableció la diferencia entre crecimiento y desarrollo y se enfatizó las respuestas diferenciales en las varias fases del ciclo de vida.
- En 1949, Went desarrolló el Fitotrón, cámaras en las que se puede controlar la luz, temperatura y la humedad. La obra realizada por este aparato ha tenido su gran impacto en las tareas de la agrometeorología moderna.

- En la década de los 50 han sido utilizados los Radiositopos en el estudio de la fisiología de las plantas.
- También la agrometeorología ha aprovechado el desarrollo paralelo de otras ciencias biológicas y físicas, especialmente de la electrónica, con el desarrollo de instrumental micro-meteorológico que permite un mejor conocimiento del medio ambiente.
- El incremento del poder de cálculo de las modernas computadoras ha permitido una prueba más rápida y eficaz de modelos matemáticos, relacionan el comportamiento de los cultivos con los elementos del tiempo.
- El intercambio rápido de datos permite la emisión de pronósticos agrometeorológicos para extensas zonas en un tiempo real.
- Una nueva fuente de datos se verifica en la utilización de sensores remotos, sobre todo por medio de satélites (Landsat). La investigación en este aspecto es muy intensa y después de la solución de muchos problemas, se podrá constituir en un valioso instrumento de la Agrometeorología, especialmente en el pronóstico de cosechas, combate de plagas y enfermedades, etc.

EVALUACION DE LOS REQUERIMIENTOS HIDRICOS EN
EL PACIFICO NORTE DE COSTA RICA ^{1/}

Oscar E. Rojas*

RESUMEN

En este estudio se establecen los requerimientos hídricos necesarios para el desarrollo de la agricultura en el Pacífico Norte de Costa Rica. Se utilizan dos modelos agroclimáticos (balance hídrico e irrigación), que simulan la evolución de la reserva hídrica del suelo, si se considera un cultivo perenne.

Los modelos son recurrentes y funcionan con un paso de tiempo de un día. Los datos climáticos que sirven de entrada son los datos diarios de la lluvia y los valores de la evapotranspiración potencial. Además, intervienen los valores de la reserva útil (RU) y de la reserva fácilmente utilizable (RFU). Se intenta una optimización bioclimática por medio del riego, manteniendo el nivel máximo de evapotranspiración ET_m.

Los resultados son presentados en términos estadísticos con el afán de facilitar su interpretación a los usuarios.

^{1/} El presente artículo forma parte de los resultados obtenidos por el Proyecto de Agroclimatología del IICA, establecido dentro del marco de Cooperación IICA-ORSTOM (Francia). Se agradece al Dr. Michel Eldin y al Dr. Jean-Paul Lhomme, Especialistas en Agroclimatología del ORSTOM, así como al Dr. Michel Montoya, Director de la Oficina del IICA en Nicaragua, por el apoyo brindado al mismo.

* Ingeniero Agrónomo, D.A.A. INA Paris-Grignon
Especialista en Agroclimatología del IICA

INTRODUCCION

Las plantas son seres vivientes que necesitan del agua para producir la materia vegetal y, sobre todo, para asegurar la función de la transpiración.

Sus necesidades se manifiestan con una intensidad variable a lo largo de todo su ciclo vegetativo. Las condiciones naturales de abastecimiento en agua (humedad del suelo, cantidad y repartición de las lluvias) no siempre se adaptan a sus exigencias biológicas.

Si este abastecimiento es muy débil, la función de la irrigación es aportar los complementos de agua necesarios y suficientes para obtener una buena producción.

El objetivo del presente estudio es analizar la región del Pacífico Norte de Costa Rica, que presenta problemas de sequía, los cuales han ocasionado serias pérdidas en los cultivos, y por ende económicas.

Para el análisis se utiliza un modelo simple, que calcula el balance hídrico teórico a nivel del día y, además, se propone un modelo que estima la irrigación, a partir de los resultados obtenidos de dicho balance hídrico. Para una mejor interpretación de los resultados, éstos se presentan en términos estadísticos.

MATERIALES Y METODOS

Para el estudio se utilizaron los datos de nueve estaciones meteorológicas, ubicadas en la región físico-geográfica denominada Pacífico Norte o Seco de Costa Rica. Las coordenadas y el número de años de registro de la precipitación para estas estaciones aparecen en el Cuadro 1.

El procesamiento de los datos se realizó en un computador IBM 4331 y el programa fue escrito en FORTRAN IV. Los datos climáticos que sirven de entrada al modelo son: la precipitación pluvial diaria, el brillo solar diario y las temperaturas máxima y mínima diarias, contenidos en el banco de datos agroclimáticos de Costa Rica (3). Con estos últimos datos se estima la evapotranspiración potencial (ETP) por medio de la fórmula de Priestley y Taylor (2). Además, se introducen los valores de la reserva útil del suelo (RU), a partir de la cual se estima la reserva difícilmente utilizable (RDU). Para este estudio se tomó $RU = 100 \text{ mm}$ y $RDU = 0.5 \text{ RU}$.

MODELO DEL BALANCE HIDRICO TEORICO

Se utiliza un modelo simple del balance hídrico teórico a nivel del día, que simula las interacciones entre la atmósfera, el cultivo y el suelo (1, 4, 5).

La ecuación que traduce el balance hídrico en forma diaria se escribe:

$$RH_j = RH_{j-1} + PE_j - ETR_j - D_j$$

donde:

RH_j	Valor de la reserva hídrica del suelo el día j
RH_{j-1}	Valor de la reserva hídrica del suelo el día j - 1
PE_j	Precipitación pluvial eficaz el día j
ETR_j	Evapotranspiración real el día j
D_j	Drenaje del día j

Esta ecuación va a servir como relación recurrente para calcular las reservas hídricas diarias sucesivas.

Para una mejor comprensión del modelo revisar las publicaciones anteriormente citadas.

APLICACIONES DEL MODELO DEL BALANCE HIDRICO

1. Análisis frecuencial de la reserva hídrica del suelo, RH

Como resultado de este modelo se obtiene una matriz con los niveles diarios de la reserva hídrica del suelo de dimensión RH (n,366), con n = número de años de registro. Con el objeto de determinar las décadas del año que presentan problemas de sequía, se calcula a partir de la matriz, para cada década, la frecuencia con la cual ocurren diez días consecutivos secos. Se considera un día seco como un día con una reserva hídrica inferior a la reserva difícilmente utilizable (RDU).

2. Estudio del período de sequía

Para cada año de registro se determina el número máximo de días consecutivos secos para el o los períodos de sequía, se forma una muestra del tamaño n y se calculan los siguientes parámetros estadísticos: máximo (MAXI) y mínimo (MINI) de la serie, la mediana (MEDN), el primer (QNT 1) y cuarto (QNT 4) quintiles, la media (MED), la desviación estándar (DE) y el coeficiente de variación (CV).

3. Estudio de la diferencia de evapotranspiración

A partir de la matriz DH (n,366), que contiene los valores diarios de la diferencia entre el nivel de evapotranspiración máxima (ETM) y el de evapotranspiración real (ETR), que representa un déficit hídrico a nivel del cultivo, se calculan los parámetros estadísticos anteriormente mencionados.

Esta diferencia se origina cuando el suelo se encuentra insuficientemente provisionado en agua o cuando la planta es fisiológicamente incapaz de asegurar el gasto de agua resultante de la demanda climática, en este momento el régimen de evapotranspiración máxima no se alcanza y la planta se encuentra en régimen de evapotranspiración real, que es menor a ETM ($ETR < ETM$).

El cierre parcial de los estomas reduce el intercambio gaseoso de la planta con la atmósfera y frena su actividad fotosintética. Se admite generalmente que para una especie dada la reducción de los flujos de vapor de agua y de gas carbónico es sensiblemente la misma, resulta pues que los fenómenos de evapotranspiración y de fotosíntesis aparecen como proporcionales, ésto es:

$$\frac{MS_0 - MS}{MS_0} = \frac{ETM - ETR}{ETM}$$

con:

MS_0 producción de materia seca a nivel de ETM

MS producción de materia seca a nivel de ETR

MODELO DE IRRIGACION

El objetivo del presente modelo es calcular, para cada año de registro, el número de irrigaciones necesarias para obtener una "optimización bioclimática", esto significa mantener el nivel máximo de evapotranspiración, ETM. Sin embargo, ello no implica necesariamente una optimización desde el punto de vista económico, ya que el producto marginal (PM_g) resultante de una irrigación, puede ser inferior al costo marginal (CM_g) del agua.

Se continúa con el principio del balance hídrico diario.

$$RH_j = RH_{j-1} + PE_j - ETM_j - D_j$$

pero esta vez en lugar de utilizar ETR_j se empleará ETM_j , porque RH va a fluctuar solamente entre RDU y RU.

Se irrigará cada vez que se cumplan las dos condiciones siguientes:

$$\text{Se irriga si: } \left\{ RH_j < RDU \right\} \text{ y } \left\{ RH(n, j + 9) < RDU \right\}$$

$RH(n, j + 9)$ representa el valor de la reserva hídrica del día $j + 9$ y tiene el propósito de contemplar la posibilidad de que la reserva hídrica del día j vuelva a ser superior a RDU, por efecto de una lluvia que caiga en el transcurso de los nueve días siguientes al día j . Siendo en este caso in necesario el riego.

Después de cada irrigación, RH_j tomará el valor máximo que corresponde al de la reserva útil ($RH_j = RU$) y se continuará con el balance hídrico.

APLICACIONES DEL MODELO DE IRRIGACION

1. Análisis estadístico del número de irrigaciones

Como resultado del modelo de irrigación se obtiene un vector $NI(n)$, con $n =$ número de años de registro, el cual contiene el número de irrigaciones necesarias por año. A partir de esta muestra se efectúa el análisis estadístico.

2. Análisis estadístico de la fecha de cada irrigación

Para cada irrigación se anota el número del día en que el modelo calcula que se debe realizar el riego, obteniéndose una matriz de dimensión.

FI (n,m), n = años de registro y m = número de irrigaciones para la estación en el valor de la mediana, pudiéndose calcular de esta manera los parámetros estadísticos para cada fecha de irrigación.

RESULTADOS Y DISCUSION

Modelo del balance hídrico teórico

1. Análisis frecuencial de la reserva hídrica del suelo

En la Figura 1 se muestran los resultados obtenidos con el análisis frecuencial para la estación Cañas. Se determinan las décadas que presentan problemas de sequía (10 días consecutivos secos, $RH < RDU$) con una frecuencia alta. Como alta podría considerarse una frecuencia superior a 0.75, o sea que el evento pueda ocurrir 3 años cada 4. Además, se aprecia la influencia del fenómeno climático denominado como "canícula" o "veranillo" que afecta al Pacífico Norte de Costa Rica.

2. Estudio del período de sequía

En los Cuadros 2 y 3 aparecen los valores para cada parámetro estadístico del número de días consecutivos secos de cada estación meteorológica analizada, tanto para la época seca principal, como para el denominado veranillo. Se puede esperar que se presenten en promedio, como mínimo, 127 días consecutivos secos ($RH < RDU$) en Tilarán y como máximo 170 días en Filadelfia. Con una probabilidad de 80% de que ocurran al menos 104 días consecutivos secos en Tilarán y 155 en Filadelfia. En relación al veranillo, se pueden presentar en promedio 7 días consecutivos secos en Tilarán y 21 días como máximo en Cañas.

Además, en el Cuadro 4 se indican, en términos estadísticos, la fecha de inicio de cada período de días consecutivos secos para la principal época seca de la región, esta fecha gira alrededor de la década 33, o sea al comienzo del mes de diciembre (valor de la mediana).

3. Estudio de la diferencia de evapotranspiración

Un ejemplo de estos resultados se ilustra con el Cuadro 5. Para cada década del año se indica el valor en décimas de milímetros de la diferencia absoluta de evapotranspiración (ETM - ETR), que, como se ha visto, se puede considerar como un déficit hídrico a nivel del cultivo. Además, la evolución a lo largo del año del valor en milímetros de esta diferencia de evapotranspiración se representa en la Figura 1.

MODELO DE IRRIGACION

1. Análisis estadístico del número de irrigaciones

El número de irrigaciones teóricas que calcula el modelo de irrigación se presentan en el Cuadro 6. Se puede apreciar que se proponen en promedio, como mínimo seis riegos en Tilarán y como máximo trece para Filadelfia y Liberia. Conociendo que RH toma el valor de RU cuando el modelo propone cada riego, se derivaron los resultados que aparecen en el Cuadro 7. Si se analiza el primer quintil, se observa que existe una probabilidad de un 80% de que el déficit hídrico teórico sea superior a 200 mm en Tilarán y como máximo 600 mm en Liberia. Esto equivale a un déficit de 2000 y 6000 m³ de agua por hectárea respectivamente.

Estos últimos resultados se ilustran en la Figura 2, en la cual se observa la distribución espacial del déficit teórico en la región del Pacífico Norte (en valor promedio).

2. Análisis estadístico de la fecha de cada irrigación

Para la estación Cañas, en el Cuadro 8 se encuentran los parámetros estadísticos para la fecha de cada irrigación. Sin embargo, hay que señalar que solamente las primeras irrigaciones contarán con el número total de años de la muestra y que, a partir del valor mínimo que aparece en el Cuadro 6, el tamaño de la muestra se reduce, por lo que para las últimas fechas el valor obtenido puede presentar incoherencias. Además, cada fecha de cada irrigación debe ser analizada en forma independiente.

En la Figura 1 se indica, con una flecha, el momento en que se debe hacer cada irrigación, si se considera el valor de la mediana.

CONCLUSION

Existe un 80% de probabilidad de que ocurra un déficit hídrico teórico superior a los 450 mm en el Pacífico Norte, si se exceptúa la estación de Tilarán, donde a la probabilidad 0.8 el déficit alcanza solamente el valor de 200 mm. Para superar dicho déficit, el modelo de irrigación propone en promedio de 10 a 13 riegos de 500 m³ de agua por hectárea. Sobresale la región de Liberia al presentar un déficit del orden de los 600 mm, con una probabilidad de 0.8 de ser superado.

La época seca principal se inicia entre la década 32 y 33, o sea, a inicios del mes de diciembre, para la mayor parte de las estaciones analizadas.

Existe una probabilidad de 0.8 de que esta época contenga más de 100 días secos consecutivos ($RH < RDU$) para toda la región. A esta misma probabilidad (80%) para Filadelfia, se pueden esperar al menos 155 días consecutivos secos y que se sobrepasen los 186 días secos, dos años de cada diez (20%).

Con relación al veranillo, éste no presenta gran significado a la probabilidad 0.8, pero sí a la 0.2, osea, que un año de cada cinco el "veranillo" puede tomar importancia al incidir negativamente en la producción agrícola; ésto sobretodo para las estaciones Cañas, Puntarenas, Taboga, Liberia y Santa Cruz.

Para finalizar, se hace necesario recordar que el modelo ha sido aplicado al caso de un cultivo perenne, y si se desea referirse al caso particular de un cultivo anual, será necesario considerar la fecha de siembra y de cosecha, y lo que es más importante, la variación de la ETM según el estado vegetativo del cultivo, dicho de otra forma, la variación del coeficiente de cultivo (k).

Por otra parte, en relación al modelo de irrigación propuesto, habrá que tomar en cuenta variables de tipo socioeconómico, porque como ha sido demostrado, no todos los aportes de agua tienen la misma influencia sobre la producción total. Estos aportes, por lo tanto, no tendrán el mismo valor en un sentido económico, por lo cual algunos de ellos podrían ser suprimidos.

Además, es necesario abordar lo que los economistas llaman "la teoría del costo de oportunidad", para seleccionar el cultivo que mejor se adapte desde el punto de vista, no solamente bioclimático, sino también económico, para cada región analizada.

LITERATURA CITADA

1. LHOMME, J. P., GOMEZ, L. y JARAMILLO, A. Modelo matemático del balance hídrico. In: Turrialba, 34(4), 1984.
2. PRIESTLEY, C. and TAYLOR, P.A. On the assessment of surface heat flux and evaporation using large scale parameters. Mon Weath. Rev. 100, 81-92, 1972.
3. ROJAS, O., ELDIN, M. y LHOMME, J. P. Información del banco de datos agroclimáticos de Costa Rica. IICA-ORSTOM-IMN. San José, Costa Rica. 7 volúmenes. 1982.
4. ROJAS, O. E. Étude agrométéorologique du bilan hydrique théorique et essai de modélisation d'irrigation dans le Sud-Ouest de la France. INA, Paris-Grignon, France, 1984. 74 p.
5. ROJAS, O. E. Estudio de las condiciones hídricas del Pacífico Norte de Costa Rica. IICA, Serie Publicaciones Misceláneas N° 546, San José, Costa Rica, 1985. 73 p.

Cuadro 1

Estaciones meteorológicas empleadas en
el estudio agroclimático

ESTACION	LAT. NORTE	LON. OESTE	ELEVACION (msnm)	AÑOS DE REGISTRO PRECIPITACION
Cañas	10°25'	85°05'	95	27
Filadelfia	10°26'	85°35'	17	23
Liberia	10°36'	85°32'	85	16
Nicoya	10°05'	85°27'	120	28
Puntarenas	9°58'	84°50'	3	25
Quebrada Grande	10°51'	85°30'	366	26
Santa Cruz	10°16'	85°35'	54	29
Taboga	10°21'	85°09'	40	10
Tilarán	10°28'	84°58'	562	28

Cuadro 2

Parámetros estadísticos del número de días consecutivos secos
para la región del Pacífico Norte

ESTACION	MINI	ONT 1	MEDN	ONT 4	MAXI	MED	DE	CV
Cañas	77	154	169	188	195	166	29	0.18
Filadelfia	133	155	174	186	200	170	19	0.11
Liberia	120	137	174	187	202	165	26	0.16
Nicoya	85	121	152	164	171	145	23	0.16
Puntarenas	96	132	170	182	192	158	28	0.18
Quebrada Grande	89	135	155	174	281	158	37	0.23
Santa Cruz	90	131	169	175	200	159	27	0.17
Taboga	88	109	147	171	177	142	29	0.21
Tilarán	70	104	131	153	169	127	27	0.21

Cuadro 3

Parámetros estadísticos del número de días consecutivos secos
dentro del "veranillo" para la región del Pacífico Norte

ESTACION	MINI	QNT 1	MEDN	QNT 4	MAXI	MED	DE	CV
Cañas	0	0	22	38	46	21	16	0.77
Filadelfia	0	4	13	20	33	12	9	0.76
Liberia	0	7	14	18	66	17	17	1.01
Nicoya	0	0	2	9	26	5	7	1.38
Puntarenas	0	5	18	29	56	19	14	0.74
Quebrada Grande	0	0	9	19	75	14	21	1.47
Santa Cruz	0	0	13	25	54	15	14	0.92
Taboga	3	3	13	36	39	18	14	0.78
Tilarán	0	0	3	19	23	7	9	1.23

Cuadro 4

Parámetros estadísticos de la fecha de inicio del período
de días consecutivos secos para la época seca
principal del Pacífico Norte

ESTACION	MINI	QNT 1	MEDN	ONT 4	MAXI	MED	DE	CV
Cañas	303	314	323	330	331	322	8	0.02
Filadelfia	307	311	325	328	346	322	11	0.03
Liberia	1	313	325	333	334	293	98	0.33
Nicoya	1	316	332	346	359	298	106	0.36
Puntarenas	1	323	334	340	364	311	87	0.28
Quebrada Grande	1	315	332	344	353	287	117	0.41
Santa Cruz	308	318	328	337	359	330	14	0.04
Taboga	1	323	336	340	349	302	101	0.33
Tilarán	1	1	341	359	364	236	159	0.67

Cuadro 5

Parámetros estadísticos de la diferencia absoluta de
evapotranspiración (ETM - ETR) por década para la
estación Cañas con RU = 100 mm (en décimas de mm)

MINI	AN	QNT 1	MEDN	QNT 4	MAXI	AN	MED	DE	CV
133	60	369	410	424	427	70	387	71	0.18
334	60	423	475	480	480	69	454	42	0.09
458	60	475	510	510	510	74	496	18	0.04
275	65	490	510	510	510	74	477	74	0.16
47	65	493	530	530	530	74	478	128	0.27
45	65	428	510	510	510	74	447	133	0.30
101	65	483	530	530	530	74	484	109	0.22
374	65	525	560	560	560	74	537	50	0.09
433	65	522	560	560	560	74	541	33	0.06
308	68	503	591	600	600	74	551	85	0.15
0	61	470	529	530	530	74	457	157	0.34
131	72	257	493	510	510	74	413	142	0.34
0	62	148	422	509	520	66	336	183	0.54
0	60	95	231	392	418	68	241	140	0.58
0	61	0	7	228	360	68	105	124	1.18
0	61	0	0	52	262	66	39	78	2.02
0	60	0	0	0	39	71	4	12	2.59
0	60	0	0	0	15	71	1	4	3.74
0	60	0	0	2	28	72	3	7	2.53
0	60	0	0	57	165	72	30	56	1.85
0	60	0	0	129	274	69	51	90	1.76
0	60	0	3	140	323	73	58	94	1.62
0	60	0	39	190	382	73	90	120	1.33
0	60	0	166	247	356	70	126	123	0.98
0	60	0	0	196	270	69	78	105	1.35
0	60	0	0	83	276	68	43	72	1.68
0	60	0	0	9	65	73	7	17	2.34
0	60	0	0	0	0	74	0	0	****
0	60	0	0	0	0	74	0	0	****
0	60	0	0	0	1	68	0	0	3.74
0	60	0	0	2	80	73	10	24	2.50
0	60	0	1	35	186	74	26	49	1.90
0	63	0	51	186	231	74	81	85	1.05
9	64	120	228	306	351	74	202	100	0.49
145	60	263	297	358	376	74	296	64	0.21
237	60	315	349	373	393	74	343	37	0.11
208	60	374	410	418	424	74	391	53	0.13

Cuadro 6

Número de irrigaciones teóricas con RU = 100 mm
para la región del Pacífico Norte

ESTACION	MINI	ONT 1	MEDN	ONT 4	MAXI	MED	DE	CV
Cañas	7	9	12	13	14	11	2	0.17
Filadelfia	11	11	13	14	15	13	1	0.10
Liberia	12	12	13	15	16	13	1	0.10
Nicoya	5	9	10	11	12	10	2	0.18
Puntarenas	9	10	11	13	14	11	2	0.15
Quebrada Grande	5	8	10	12	19	10	3	0.29
Santa Cruz	8	11	12	13	16	12	2	0.15
Taboga	9	9	11	12	15	11	2	0.16
Tilarán	2	4	6	8	11	6	2	0.38

Cuadro 7

Déficit hídrico teórico acumulado en mm para la
región del Pacífico Norte con RU = 100 mm

ESTACION	MINI	QNT 1	MEDN	QNT 4	MAXI	MED	DE	CV
Cañas	350	450	600	650	700	550	2	0.17
Filadelfia	550	550	650	700	750	650	1	0.10
Liberia	600	600	650	750	800	650	1	0.10
Nicoya	250	450	500	550	600	500	2	0.18
Puntarenas	450	500	550	650	700	550	2	0.15
Quebrada Grande	250	400	500	600	950	500	3	0.29
Santa Cruz	400	550	600	650	800	600	2	0.15
Taboga	450	450	550	600	750	550	2	0.16
Tilarán	100	200	300	400	550	300	2	0.38

Cuadro 8

Parámetros estadísticos de la fecha teórica de
irrigación para la estación Cañas

MINI	QNT 1	MEDN	QNT 4	MAXI	MED	DE	CV
2	3	7	11	16	7	4	0.53
15	15	21	23	38	21	6	0.27
26	27	32	37	82	36	14	0.38
37	38	43	51	92	47	13	0.28
48	51	55	64	102	59	13	0.22
59	63	66	75	343	86	69	0.80
70	74	78	85	357	97	70	0.72
74	83	91	103	333	107	61	0.57
84	93	101	114	361	118	66	0.56
94	101	106	236	354	156	94	0.60
104	114	126	354	357	226	116	0.52
114	127	347	357	365	267	107	0.40

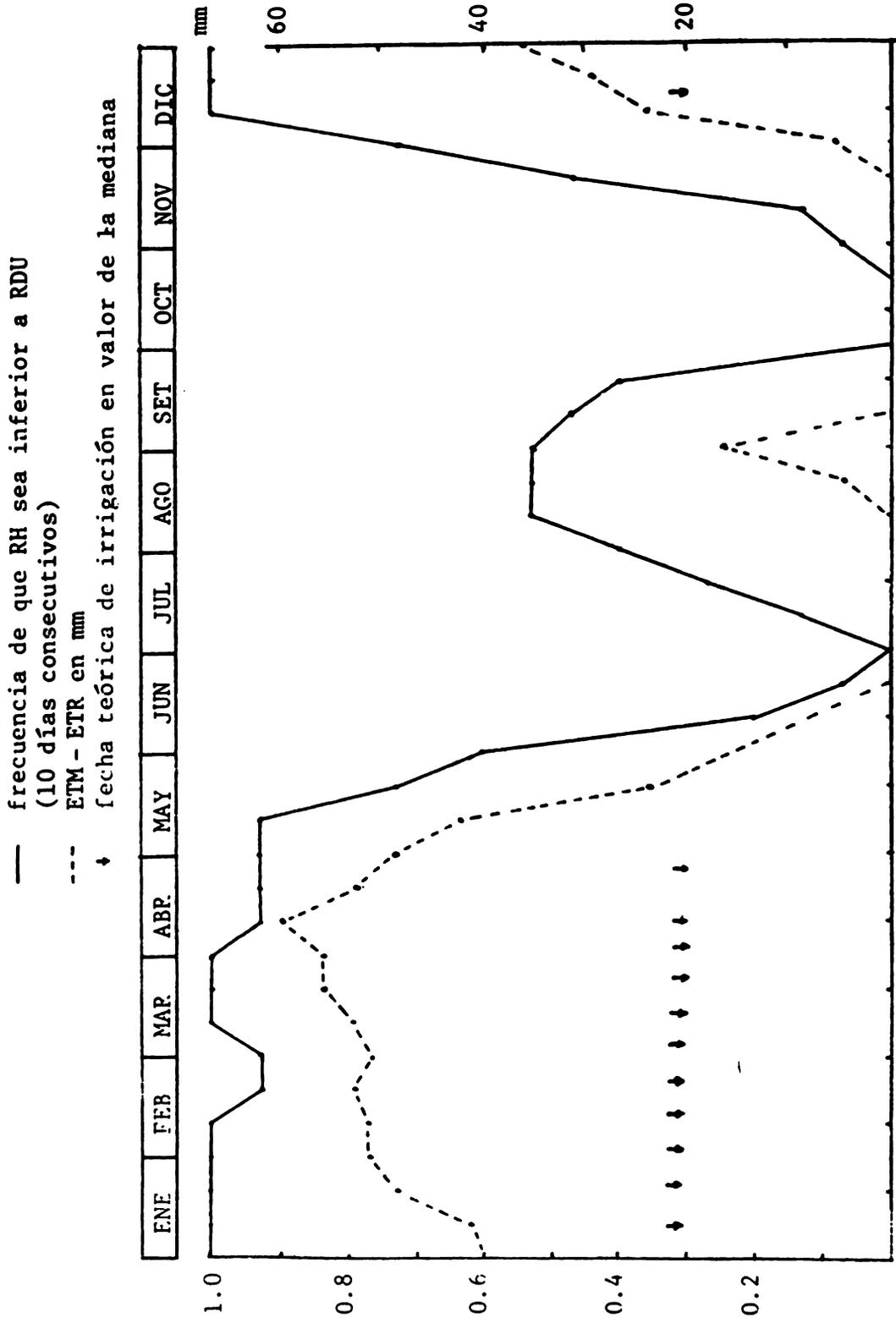


Fig. 1 Reserva hídrica, diferencia de evapotranspiración (ETM - ETR) y fecha teórica de irrigación para la estación Cañas

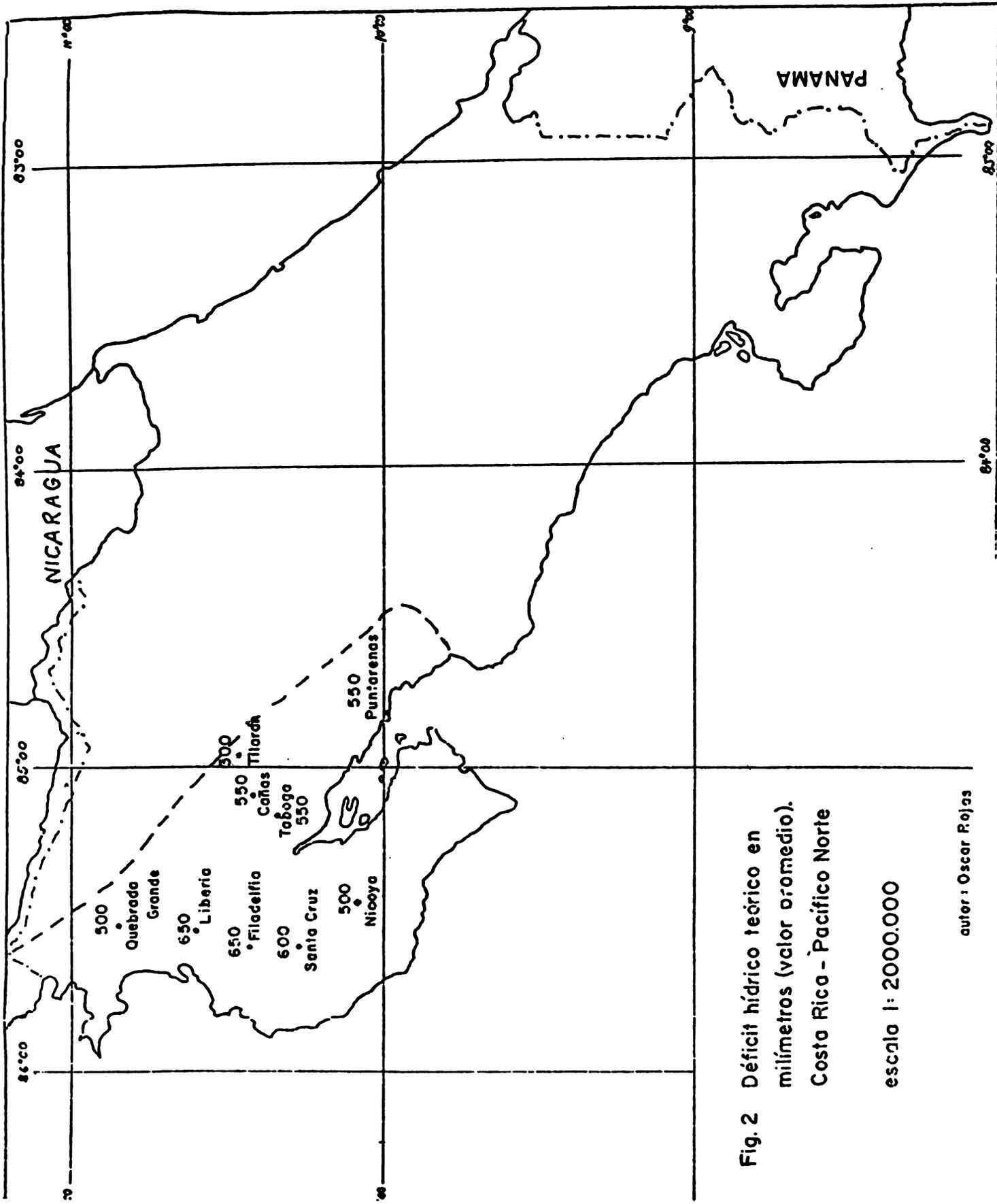


Fig. 2 Déficit hídrico teórico en milímetros (valor promedio). Costa Rica - Pacífico Norte

escala 1: 2000.000

autor: Oscar Rojas

ESQUEMA METODOLOGICO DE ZONIFICACION AGROECOLOGICA
DE CULTIVOS DEL IICA

Oscar E. Rojas*

INTRODUCCION

Todo programa de desarrollo agrícola, para su efectiva planeación y ejecución, deberá integrar dos etapas que son indispensables en la definición de políticas agrícolas. La primera etapa es la evaluación del potencial agroecológico de la micro o macro región que se desee desarrollar. Esta etapa relaciona el clima y el suelo de la región con los cultivos alternativos de posible fomento. Como resultado se determina cuáles de estos cultivos son, desde un punto de vista ecológico, los más adecuados para incentivar. Con ello se podrá realizar una explotación racional, acorde con la capacidad productiva de los recursos naturales, procurando, a la vez, el equilibrio y conservación de ecosistemas.

La segunda etapa se refiere a la evaluación del potencial socioeconómico de la región. En ella se analizarán las variables socioeconómicas más importantes para el desarrollo de los diferentes cultivos, que se hayan determinado en la primera etapa como ecológicamente factibles de explotar. Dichas variables podrían ser, por ejemplo: la disponibilidad de capital en la zona, disponibilidad de mano de obra, infraestructura, costos de oportunidad, demanda por el producto, etc.

Sin duda alguna, las zonificaciones agroecológicas son los instrumentos más adecuados para alcanzar con éxito los objetivos de la primera etapa.

* Ingeniero Agrónomo, D.A.A. INA Paris-Grignon
Especialista en Agroclimatología del IICA.

Esto porque ellas resumen en forma bastante clara para los economistas y planificadores agrícolas, el potencial agroecológico de la región bajo estudio.

ANTECEDENTES

En la década de los años setenta, el Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA) realizó un esfuerzo grande en materia de zonificación de cultivos (1, 4, 5 6, 7), que cristalizó en la estructuración de una serie de etapas necesarias para obtener una zonificación agroecológica, las cuales forman el Esquema Metodológico de Zonificación del Instituto, el cual fue modificado y actualizado dentro de un Convenio de Cooperación IICA-ORSTOM (Francia) en Agroclimatología, a principio de los años ochenta (8, 9).

ETAPAS QUE COMPRENDE EL ESQUEMA METODOLOGICO

Primera etapa: Definición de los requerimientos agroecológicos de los cultivos.

En esta etapa se determina para el cultivo en estudio sus requerimientos ecológicos; éstos pueden ser definidos de diversas formas, según la disponibilidad de información. En el caso ideal se determinan, en primera instancia, los índices agroclimáticos, para lo cual se podrían seguir las siguientes vías:

a. Determinación del tipo bioclimático del cultivo

Para el caso específico del cultivo del café es necesario determinar la influencia de cada variable del clima (temperaturas mínima, máxima, media, radiación, precipitación, etc.) sobre cada etapa fenológica del cultivo (germinación, crecimiento, floración, etc.).

Un punto importante es definir la relación clima-formación de los granos del café.

- b. Evaluación agroclimática de la región de origen de la especie.
- c. Evaluación agroclimática de las regiones del mundo de difusión de la especie.
- d. Evaluación del agroclima de las regiones en donde la experiencia ha demostrado el fracaso del cultivo.
- e. Evaluación de índices agroclimáticos derivados de trabajos experimentales sobre los requerimientos agroclimáticos de la especie.

Mediante la aplicación de las normas anteriores se puede determinar el agroclima de una especie cultivada; y si la amplitud comprendida entre los valores extremos de los índices se dividen en jerarquías sistemáticas, se obtienen los tipos agroclimáticos que facilitan la clasificación y permiten establecer diferencias y analogías.

Paralelamente a la determinación de los índices agroclimáticos habrá que proceder en forma similar para la determinación de los requerimientos fisioedáficos (pendiente, pH, textura, profundidad, drenaje, fertilidad, etc.) del cultivo, en función de sus exigencias biológicas y de los requerimientos de la tecnología para su producción.

Segunda etapa: Constitución de un banco de datos meteorológicos y estimación de los parámetros meteorológicos faltantes.

Una situación real que se presenta, por lo general, en los países tropicales de nuestro continente y del mundo, es la deficiente meteorológica y su difícil disponibilidad. Generalmente esta información se encuentra en hojas de campo o anuarios, pero no está en un soporte magnético de fácil acceso para su análisis, por medios informáticos que son indispensables para este tipo de estudios, donde la cantidad de información que se utiliza es considerable. Por esta razón, hay que darse a la

tediosa tarea, pero necesaria si se piensa realizar un buen trabajo, de recolectar y verificar la información que constituirá el banco de datos meteorológicos.

Por otra parte, la red de estaciones es de poca densidad y de deficiente distribución, por lo que se hace necesaria la estimación de parámetros meteorológicos. Además, generalmente, un alto porcentaje de las estaciones de registro son de cuarto orden, o sea, que registran solamente las precipitaciones. Por medio de diversas técnicas se deberán estimar, para las localidades con registros parciales, los otros elementos meteorológicos necesarios para el análisis agroclimático.

Tercera etapa: Utilización del análisis frecuencial de lluvias para la determinación del período de cultivo.

Esta técnica propuesta por Eldin (2) y utilizada en varios trabajos (8, 9), emplea, en lugar de promedios, probabilidades que tienen un mayor significado e interés en la producción agrícola. Esto es, el análisis frecuencial expresa la disponibilidad de agua para el cultivo, en términos de probabilidades de ocurrencia de una cantidad de lluvia relacionada con la evapotranspiración potencial (RTP) del período considerado. El período seleccionado de análisis es de diez días (denominado década), por guardar relación con la reserva hídrica del suelo.

Una vez calculada la probabilidad para cada década de que la precipitación sea superior a la ETP, se fija un riesgo aceptable para el agricultor, por ejemplo que el evento suceda tres años cada cuatro, esto es a la probabilidad 0,75. Se denomina período de cultivo al número de décadas consecutivas que presentan una probabilidad superior o igual a 0,75, determinando esto el número de días con buen abastecimiento hídrico, para que el crecimiento y desarrollo del cultivo continúen normalmente.

Cuarta etapa: Definición de los índices de potencialidades de producción y su expresión cartográfica.

En esta etapa se trata de relacionar los parámetros del clima (temperatura, radiación, precipitación, etc.) con los procesos vitales de desarrollo del cultivo. Para el caso específico del cultivo del café se podría tratar de utilizar dos modelos que definieran el potencial agroclimático, uno que evalúe el potencial en producción de biomasa, pudiéndose emplear el desarrollado por De Wit (3), el cual contribuye a hacer el criterio de zonificación menos arbitrario, a la vez que introduce las leyes de la física en los procesos biológicos que rigen la producción vegetal; fotosíntesis, respiración, crecimiento, etc., de manera que se tendrá más oportunidad de lograr una zonificación válida para zonas ecológicas bien diferentes.

Esta función, básicamente, relaciona las variables del clima más importantes (radiación solar y temperatura del aire) con los procesos biológicos determinantes en la producción neta de biomasa (la fotosíntesis y la respiración), bajo el supuesto de buen abastecimiento de agua y nutrientes.

Su expresión matemática es la siguiente:

$$IPP = \frac{0.36 \times b_{gm}}{1/N + 0.25 c_t}$$

IPP = Producción neta de materia seca total del cultivo durante los N días del ciclo del mismo y expresada en toneladas por hectárea.

b_{gm} = Tasa máxima de producción bruta de biomasa del cultivo.

c_t = Coeficiente de respiración del cultivo.

c_t depende de la temperatura promedio, y el valor de bgm depende de la tasa máxima de fotosíntesis de las hojas del cultivo en condiciones de saturación por la luz.

Para el segundo modelo se podrían emplear métodos estadísticos para encontrar una relación entre los parámetros meteorológicos y el rendimiento final del cafeto. Esto debido a la carencia de información técnica que relacionen ambas variables.

Quinta Etapa: Análisis de las variables fisioedáficas

A partir del conocimiento de los requerimientos edáficos de los cultivos, determinados en la primera etapa, y del conocimiento de las prácticas culturales más aconsejables (riego, mecanización, etc.) para el cultivo, se analiza la información disponible sobre aspectos topográficos y edáficos del territorio a zonificar.

En condiciones óptimas, el tipo de documentos cartográficos más empleados son los mapas de capacidad de uso de la tierra o de uso potencial.

Con la finalidad de simplificar la interpretación de las variables fisioedáficas por los utilizadores de los mapas de zonificación, se recomienda hacer una jerarquización de las unidades cartográficas del suelo en función de su aptitud para el cultivo considerado. Las tres categorías que se emplean con más frecuencia son las siguientes: muy buena, buena y regular.

Sexta etapa: Síntesis cartográfica

La síntesis cartográfica, como su nombre lo indica, es la sobreposición y síntesis sucesiva de los mapas elaborados en las etapas anteriores, siendo discriminadas aquellas áreas del territorio a zonificar que no sean contempladas por los mapas de los índices de producción potencial y por el mapa de variables fisioedáficas.

Séptima etapa: Presentación de resultados

Esta etapa consiste en la elaboración final de los mapas e interpretaciones respectivas. Para la confección de los mapas finales se hará el diseño correspondiente para la organización del material cartográfico, textos y leyendas que acompañan al documento.

En la Figura 1 se presenta la secuencia de etapas que forman el esquema metodológico de zonificación agroecológica de cultivos del IICA.

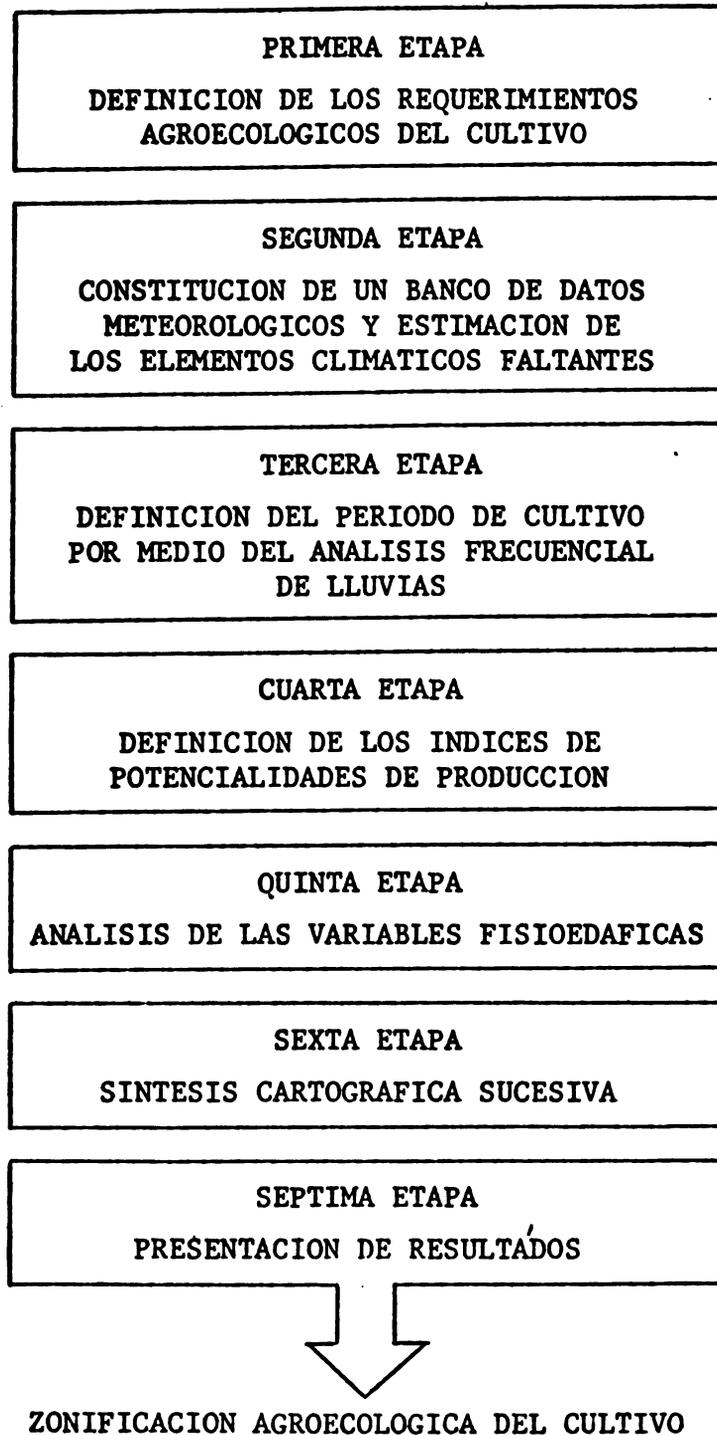


Fig. 1 - Etapas del Esquema Metodológico necesarias para la Zonificación Agroecológica de Cultivos

LITERATURA CITADA

1. BOHORQUEZ R., J. Zonificación de algunas especies forestales para Huallaga, Central Tingo, María, Perú. Tesis. IICA. Turrialba, Costa Rica. 1972. 144 p.
2. ELDIN, M. A system of agroclimatic zoning to evaluate climatic potential for crop production. In: Agroclimate Information for Development. Reviving the Green Revolution. Westview Press, Colorado. 1983. 395 p.
3. FAO. Agro-ecological zones project. Vol. I. Methodology and Results for Africa. World Soil Resources Report. Rome. 1980.
4. GARCIA BENAVIDES, J. Una contribución a la metodología de zonificación ecológica de cultivos anuales. Tesis. IICA. Turrialba, Costa Rica. 1972. 155 p.
5. ICAZA GARCIA, J. Zonificación ecológica del frijol en Nicaragua. Tesis, Escuela Nacional de Agricultura y Ganadería. 1971. 61 p.
6. MANRIQUE P., L. P. Zonificación bioclimática para la ganadería bovina de los países centroamericanos. Tesis. IICA. Turrialba, Costa Rica. 1972. 111 p.
7. MONTOYA, J. M. Informe sobre proyecto de zonificación ecológica de los cultivos de consumo básico y tradicionales de exportación para los países del Mercado Común Centroamericano. Turrialba, Costa Rica. IICA. 1971. 59 p. (100 mapas 1:500 000).

8. ROJAS, O. E. Una contribución a la metodología de la zonificación ecológica de cultivos: Estudio agroclimático de la caña de azúcar (*Saccharum spp.*) en Costa Rica. Tesis, UCR. 1982. 130 p.
9. ROJAS, O. y ELDIN, M. Zonificación agroecológica para el cultivo de caña de azúcar (*Saccharum spp.*) en Costa Rica. IICA-LAICA. Costa Rica. 1983. 112 p.

NORMAS UTILIZADAS POR EL PROYECTO DE AGROCLIMATOLOGIA DEL
IICA EN LA ELABORACION DE UN BANCO DE DATOS METEOROLOGICOS PARA
FINES AGROCLIMATICOS

Oscar E. Rojas*

Si se va a elaborar un banco de datos meteorológicos, con la idea de ser utilizado para fines de tipo agroclimático, climático o para otros fines, como podría ser evaluar los problemas de erosión, sequía, etc., se deben considerar ciertas normas que permitirán un mejor aprovechamiento del banco después de su uso específico, objeto de su creación. Por esta razón, el Proyecto de Agroclimatología del IICA ha seguido algunos criterios al crear los bancos en los diferentes países que han solicitado cooperación en este campo (Costa Rica, Bolivia, Colombia, Haití y Jamaica).

ELECCION DE LOS PARAMETROS METEOROLOGICOS Y SU LONGITUD DE REGISTRO

Primero, se eligen las variables del clima que están en relación directa con el problema planteado (precipitación, temperaturas máximas y mínimas, radiación, etc.), después el número de años de registro requerido dependerá de la variabilidad interanual del parámetro climático. Por ejemplo, si se trata de la precipitación será necesario contar con series mayores de veinte años, debido a la gran variación interanual que presenta este fenómeno, mientras que si se trata de la temperatura, con seis años de registro será suficiente, por la poca variabilidad que presenta la temperatura en regiones tropicales.

* Ingeniero Agrónomo, D.A.A. INA Paris-Grignos
Especialista en Agroclimatología del IICA.

SELECCION DE LA BASE DE TIEMPO DE LOS DATOS

El año o el mes generalmente son períodos demasiado largos para ser usados en estudios de tipo agroclimático. Una base de tiempo más corta, tal vez del orden de los cinco y quince días, se relaciona mucho mejor a la problemática agrícola. Por esta razón, se ha decidido crear los bancos a partir de los valores diarios, base de tiempo que proporciona una mayor flexibilidad de uso, pudiéndose utilizar modelos recurrentes diarios, por ejemplo, análisis de series de días consecutivos secos o agregar los datos diarios para formar períodos de cualquier número de días, que estén en conformidad con los requisitos de los estudios emprendidos.

ORGANIZACION DE LOS DATOS EN EL BANCO

El banco se podrá establecer en una cinta magnética o en "diskettes", formado por un número defierente de registros que estará en relación directa con el número de parámetros meteorológicos a estudiar.

Un primer registro contendrá información general: nombre y código del país, nombre y código de la estación, latitud, longitud y altitud de la misma.

Después, los demás registros contendrán los datos, los cuales, dentro del registro, estarán ordenados en forma matricial, $M(n,366)$, con n = número de años de registro. Los mismos serán precedidos de la siguiente información: código de la estación, código del parámetro meteorológico y el número de años de registro. En caso de que falte un dato, se ha adoptado la norma de perforar nueves en los espacios reservados para el dato. Por ejemplo, si existen cuatro espacios para el parámetro de la precipitación, aparecerá 9999 cuando no exista este dato. Lo anterior se debe a que la mayoría de los programas de análisis están escritos

en FORTRAN IV y, generalmente, en FORTRAN no se puede diferenciar los es pacios que se dejan en "blanco" de la información cero.

Ejemplos:

Primer Registro

Código País	Código Estación	País	Estación	Latitud	Longitud	Altura
01	084001	COSTA RICA	SAN JOSE	0956	8405	1172
01	084003	COSTA RICA	LA ARGENTINA	1002	8421	760
01	084012	COSTA RICA	TURRUCARES	0958	8419	639
.
.
.

Segundo Registro

Código Estación	Código Precipitación	Número años de Registro
084001	02	60

Datos

a _{1.1}	a _{1.2}	a _{1.3}	a _{1.4}	a _{1.5}	...	a _{1.366}
a _{2.1}	a _{2.2}	a _{2.3}	9999	a _{2.5}	...	a _{2.366}
.
.
.
a _{60.1}	a _{60.2}	a _{60.3}	a _{60.4}	a _{60.5}	...	a _{60.366}

ANALISIS TEMPORAL DE LOS DATOS CLIMATICOS

(Análisis frecuencial)

Oscar E. Rojas*

INTRODUCCION

El principal factor limitante para la producción agrícola en la mayoría de los países de la zona intertropical es el factor hídrico. Muy a menudo la falta de agua impide el desarrollo de los cultivos anuales. La pluviosidad constituye el principal aporte de agua para los cultivos, pero su repartición en el año es muy desigual (alternancia estación seca-estación lluviosa) y su variabilidad interanual muy grande. Además, se suma a esto, la variación de la precipitación debido a la diversidad topográfica característica de nuestros países.

La metodología propuesta para el estudio de las condiciones hídricas de los cultivos se basa en el análisis frecuencial de la precipitación, a lo largo del año, por períodos elementales de una duración de diez días. Este tipo de análisis permite determinar, a un nivel de riesgo determinado, el período de cultivo, esto es, la fecha de inicio y fin de la época de siembra, siendo esto, a la vez, un criterio determinante en la elección de los cultivos que mejor se adapten a las condiciones agroclimáticas imperantes en la región analizada.

ANALISIS FRECUENCIAL DE LA PRECIPITACION

De un año al otro la precipitación es sumamente variable, sin importar el período de tiempo que se considere para su estudio. Sólo por medio

* Ingeniero Agrónomo, D.A.A. INA Paris-Grignon
Especialista en Agroclimatología del IICA

del análisis frecuencia, se podrá evaluar el aspecto aleatorio del fenómeno y determinar el riesgo climático causado por la fluctuación interanual de la precipitación. El año es dividido en períodos elementales de diez días, denominados décadas. Para cada década se determina la frecuencia de que la lluvia sobrepase la mitad de la evapotranspiración potencial, ETP. Esta frecuencia se calcula directamente a partir de la muestra de las lluvias diarias, sin ser ajustada a una ley teórica de probabilidad.

Un período elemental de diez días representa una duración estándar, que toma en cuenta la capacidad de almacenamiento del agua por parte del suelo. Por ejemplo, si se considera un suelo con una capacidad máxima de almacenamiento de 50 mm (reserva útil) y una evaporación máxima de $5 \text{ mm} \cdot \text{día}^{-1}$, este suelo podrá ceder agua a las plantas durante diez días, sin que exista la necesidad de una nueva lluvia. Sin embargo, es to es un caso extremo, ya que generalmente la reserva útil del suelo es mayor y la evapotranspiración menor a la del ejemplo.

La evapotranspiración potencial, ETP, representa aproximadamente el requisito óptimo en agua de un cultivo bien desarrollado y cubriendo bien el suelo. Se puede considerar que la mitad de la evapotranspiración potencial ($ETP/2$), representa el requisito mínimo para obtener un rendimiento satisfactorio (pero no necesariamente óptimo). Esto constituye evidentemente una aproximación necesaria para simplificar el problema.

Los resultados, es decir, las frecuencias para cada década, son representados en un gráfico, cuya abscisa representa una escala de tiempo que abarca todo el año y graduada en décadas (36 décadas), y la ordenada una escala de frecuencia graduada de 0 a 1.

DETERMINACION DEL PERIODO DE CULTIVO

Las curvas obtenidas pueden ser utilizadas para determinar la época de cultivo (inicio, duración y fin), a un cierto nivel de probabilidad. Se escoge generalmente el valor de 0,75, que significa una frecuencia de ocurrencia del fenómeno 3 años cada 4 y corresponde a un riesgo aceptable en agricultura.

El período de cultivo comienza con la primera década, donde la frecuencia sobrepasa el valor de 0,75 y termina con la primera década con una frecuencia inferior a 0,75.

Si una década con una frecuencia inferior a 0,75 se encuentra entre dos décadas, con valor superior a 0,75 se considera que no hay interrupción del período de cultivo. Pueden aparecer evidentemente varios períodos de cultivo (generalmente no más de dos).

Para cada estación analizada se obtiene así la duración de la época de cultivo (o épocas de cultivo) y la fecha de inicio de esa época (o épocas) (Figura 1). Si la red de estaciones es lo suficientemente densa, se pueden representar los resultados en un mapa por medio de un trazado de isolíneas.

CONCLUSION

Un estudio agroclimático basado en esta metodología permitirá:

- a. Una mejor adaptación de los sistemas de cultivo a las adversidades climáticas.
- b. Una mejor programación de las actividades agrícolas.
- c. Una minimización de los costos de administración y de los servicios de crédito y divulgación.

- d. Una ayuda a la definición de políticas del seguro agrícola
- e. Una mejor definición dentro del país de las zonas homogéneas, desde un punto de vista agroclimático.

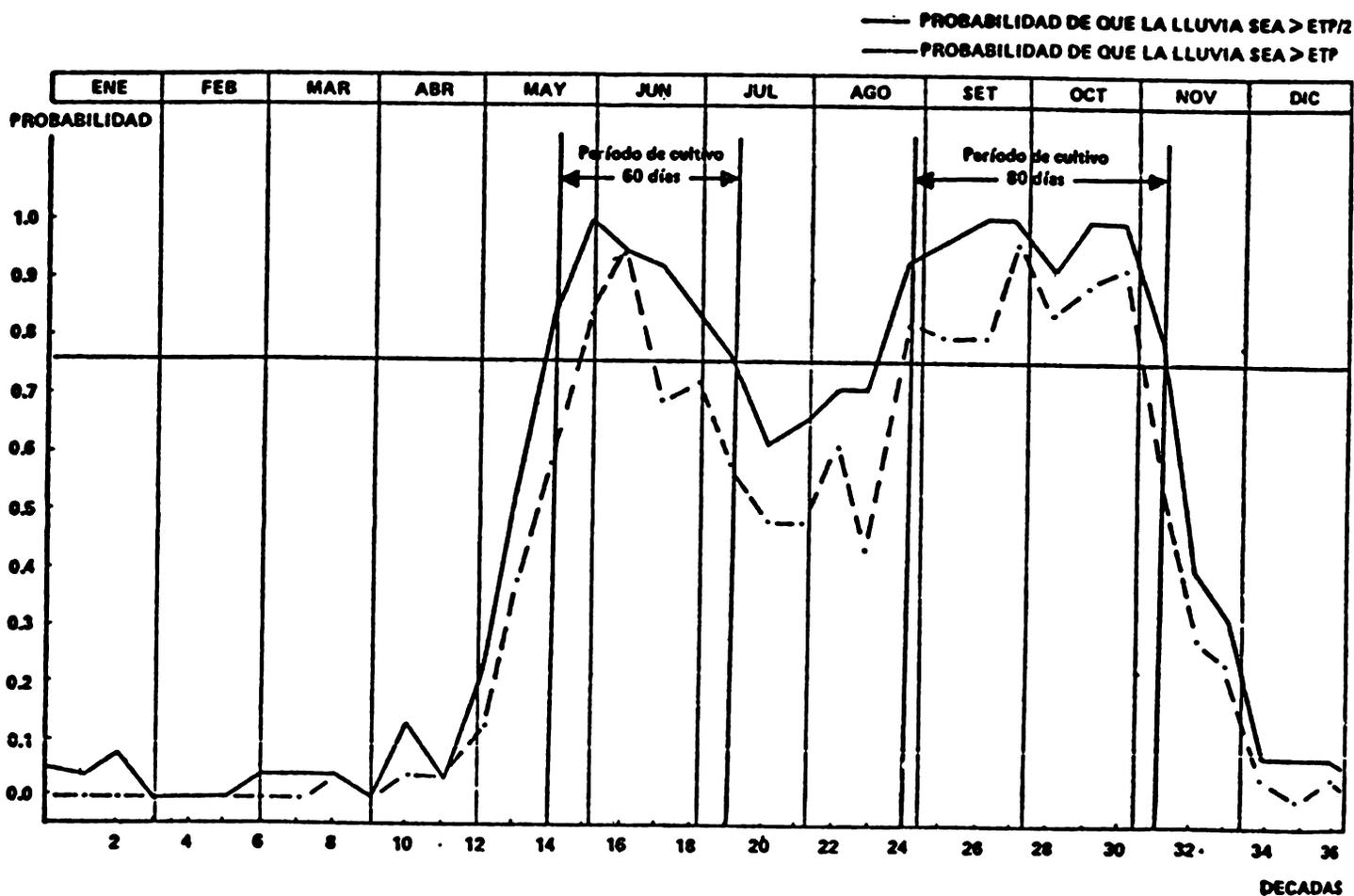


Fig. 1 - Análisis frecuencial de lluvias para la Estación Santa Cruz, Costa Rica (Rojas, O.E. y Eldin, M. 1983)

BLIBLIOGRAFIA CONSULTADA

ELDIN, M. A system of agroclimatic zoning to evaluate climate potencial for crop production. In: Agroclimate Information for Development. Reviving the Green Revolution, Ed. Cusack, D. Colorado. 1983. 397 p.

LHOMME, J. P. et AZAEL, A. Aspects methodologiques de'une etude agro-climatique d'Haiti. IICA - Poligrafiado. 1984.

ROJAS, O. E. y ELDIN, M. Determinación del potencial agroclimático para la producción de caña de azúcar (Saccharum spp.) en Costa Rica. In: Turrialba 33(1). pp. 1-10. 1983.

M O D E L O S

Raisa Marisol Ruiz C.*

I. TEORIA

1. Sistemas, Modelos y Simulación

El análisis de sistemas y la simulación han sido usados por los ingenieros por más de 30 años. Este éxito inspiró a biólogos y agrónomos para aplicar estas técnicas a sus disciplinas.

Los términos básicos son:

- a. **Sistemas** : O sea la parte limitada de la realidad que contiene elementos relacionados entre sí.
- b. **Modelo** : Representación simplificada de un sistema.
- c. **Simulación** : Es el arte de construir modelos matemáticos y el estudio de sus propiedades en referencia a los del sistema..

Todo modelo debe tener metas definidas, sin embargo, es interesante tener en cuenta que los sistemas biológicos no son representaciones simples de una idea, tal y como se usan en Ingeniería.

Igualmente, cuando se define que un sistema es una parte limitada de la realidad, es porque existe y hay que definir un límite (lo que es bastante imposible en la vida real).

En sistemas agrícolas, por ejemplo, el microclima es siempre una parte del sistema, pero todo el mundo deja de lado la influencia del sistema agrícola en el macroclima, aunque esto no sea lo correcto.

Un archivo de datos de un ecosistema puede ser llamado modelo, pero es un modelo que no tiene propósito ni lucidez. Si se le añade un tratamiento a estos datos (mapas o análisis estadísticos) o si se le añade tiempo, se dinamiza el modelo, pero se mantiene en un nivel descriptivo sin que explique nada.

Un modelo que tenga como propósito explicar sistemas es más posible en Biología, ya que los seres vivos tienen diferentes niveles de clasificación (desde las moléculas a ecosistemas) que permiten conocer sistemas mayores comenzando por los pequeños. Estos modelos son llamados explicatorios o explicativos que pueden ser dinámicos o estáticos, y están dentro de sistemas cuyos elementos cambian gradualmente en cantidad en el tiempo o espacio, como respuesta a factores externos cambiantes, como el clima o el abonamiento. Son sistemas llamados continuos, en contraposición a los sistemas discretos que trabajan con números y discontinuidades en el tiempo.

Para los modelos dinámicos del tipo explicatorio la tendencia es de trabajar con variables de estado. Estos modelos están basados en la teoría de que el estado de cada sistema puede ser cuantificado en cualquier momento, y que estos cambios en el estado puedan ser descritos por ecuaciones matemáticas. Esto lleva a modelos que trabajan con las siguientes variables:

- a) De estado : Son cantidades como la biomasa, número de especies, cantidad de N en el suelo, planta o animal, contenido de agua en el suelo. A grosso modo son las variables que se pueden medir en el tiempo.

- b) **Conductoras o Motoras:** Caracterizan el efecto del ambiente en el sistema a sus límites y su valor debe ser chequeado continuamente, ejemplo: variables macroclimáticos como la lluvia, viento, temperatura e irradiación, cantidad de comida o migración de animales más allá de los límites del sistema.

Depende de la posición de estos límites el que estas variables sean conductoras, de estado o de tasa, por ejemplo: el calor almacenado dentro de una vegetación es una variable de estado cuando el sistema incluye aspectos micrometeorológicos, pero es una variable conductora que debe ser medida cuando los aspectos micrometeorológicos no están incluidos.

- c) **De tasa** : Cada variable de estado está asociada con variables de tasa que caracteriza su tasa de cambio en un momento dado como resultado de un proceso específico. Estas variables representan flujos de materia o de energía entre variables de estado, por ejemplo: entre la biomasa vegetativa y los animales pastando. Sus valores dependen de las variables de estado y de conducción, de acuerdo a reglas que están basadas en el conocimiento de los procesos físicos, químicos y biológicos que están ocurriendo y no en análisis estadísticos del comportamiento de un sistema estudiado. Esta es la diferencia más importante entre modelos que describen y modelos que intentan explicar.

Después del cálculo de los valores de todas las variables de tasa, estos son usados para calcular las variables de estado, de acuerdo al siguiente esquema:

La variable de estado en el tiempo $t + \Delta t$ es igual a la variable de estado en el tiempo t más la tasa en el tiempo $t + \Delta t$. Este procedimiento llamado integración da los nuevos valores de las variables de estado, por el cual el cálculo de variables de tasa es repetido.

Las tasas se computan independientemente una de otra.

Para cada propósito hay una cantidad óptima de número de variables de estado que se considerarán; en algunos casos parecen muchas, pero en la realidad serían pocas comparadas con la complejidad del sistema considerado, por ejemplo: para las plantas, algunas serían las características de peso, área foliar, contenido de N y de minerales, sus enzimas, etc.

Otro aspecto a tomarse en cuenta es el de la validez de la simulación. Generalmente se trabaja con dos tipos de modelos:

- a) De sistemas repetitivos; o,
- b) Recurrentes que se derivan del análisis de otros sistemas y se validan en otros.

Ejemplo: a) Microbiología (fabricación de vinagre), agricultura (crecimiento del maíz) o industria (fabricación de carros); b) Las estrellas, individuos de especies y sistemas ecológicos con tanta elasticidad que después de un disturbio en el curso original de desarrollo se vuelve a su curso normal (turbera).

2. Análisis de sistema y modelos de crecimiento de plantas

Ya dijimos que un sistema es una parte de la realidad con elementos que interactúan grandemente, pero de poca influencia en el ambiente. Puede ser definido como una planta, un cultivo o una finca como centro de atención y con las condiciones climáticas, plagas o alzas en los precios de la finca, como el ambiente de crecimiento y producción. Sin embargo, algunos elementos en el sistema que no están directamente relacionados a las metas del análisis pueden tener especial atención en la delimitación del sistema porque actúan fuertemente en el sistema. Esto se refleja por la tendencia de ir al sistema integral. En la definición de un sistema se deben tomar en cuenta los objetivos claros con sus contornos naturales y considerar todas las partes esenciales que codeterminan el contenido del sistema. Por ejemplo: la producción de las plantas en el campo, con suelos abonados e irrigados puede ser vista como un sistema, endonde los proceso como la asimilación de CO₂, el crecimiento y el desarrollo interactúan intensamente.

Las tasas de estos procesos fisiológicos dependen de las condiciones del tiempo, pero el tiempo no es modificado por la planta. De manera que se puede delimitar este sistema de producción de plantas con una línea recta entre los procesos meteorológicos, fisiológicos.

Una forma práctica de delimitar los sistemas de vegetaciones y de cultivos en crecimiento fue propuesta por de Wit (en 1982 y Penning de Vries). Su teoría para el crecimiento y la producción se enfoca en la producción de materia seca y no tanto en el desarrollo morfogénético. Distingue cuatro niveles de producción de plantas, las que pueden ser consideradas pertenecer a una clase mayor. Estos niveles en orden descendiente de la productividad son:

- Nivel de Producción 1. El crecimiento ocurre en condiciones en que la planta tiene amplio suministro de nutrientes y agua en el suelo todo el tiempo. La tasa de crecimiento de la vegetación se determina por las condiciones del tiempo y por la cantidad de materia seca, cuando la cubierta cubre totalmente el suelo.

- Nivel de Producción 2. El crecimiento es limitado por la falta de agua parte del tiempo, pero cuando éste es suficiente, la tasa de crecimiento aumenta a la tasa máxima permitida por el clima.

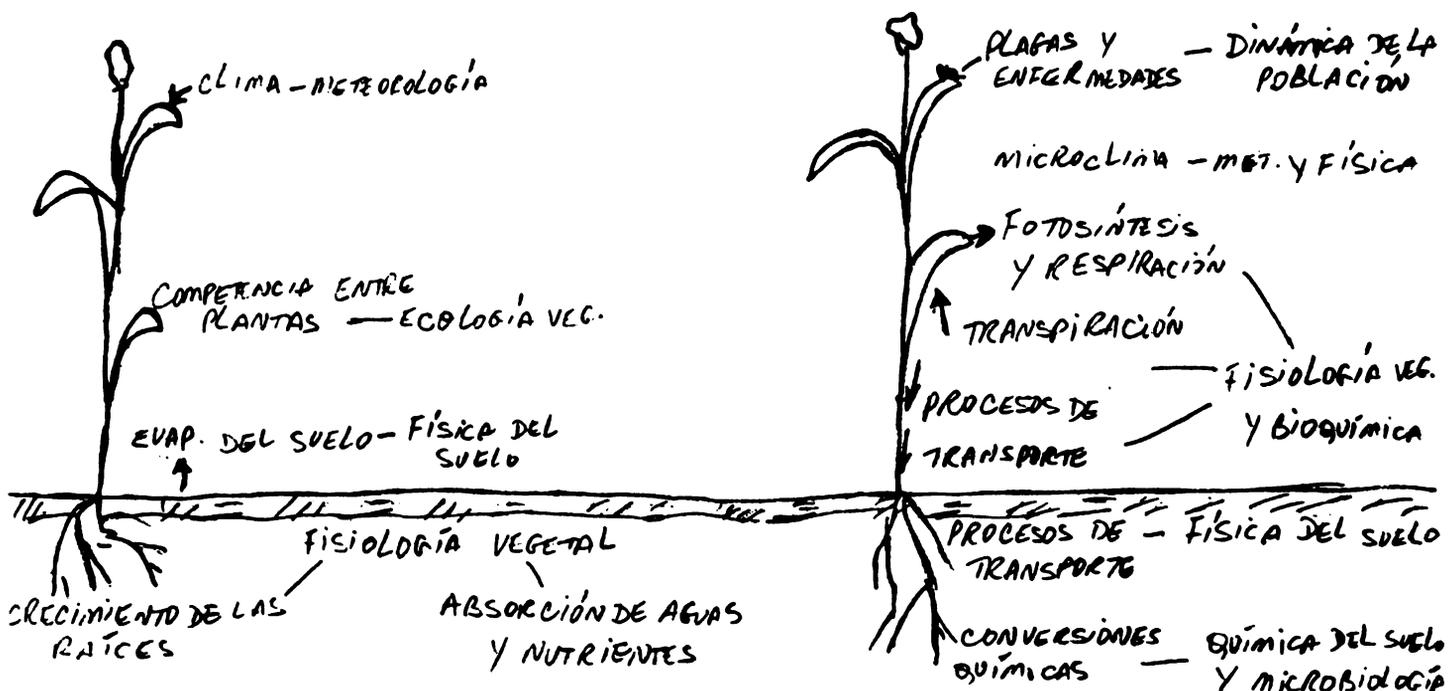
- Nivel de Producción 3. El crecimiento es limitado por la falta de N parte del tiempo, y por agua o por las condiciones climáticas durante el resto del período de crecimiento. Ej.: sistemas con poco abono y la naturaleza.

- Nivel de Producción 4. El crecimiento es limitado por la baja cantidad de fósforo (P) u otro mineral como el potasio (K) parte del tiempo y por N, agua o por el clima el resto del período. Ejemplo: poco a nada de abonos y áreas pobres del mundo.

Si se está interesado en el crecimiento diario, hay que seguir los factores ambientales en base diaria, al igual que la respuesta de la planta. De manera que, en un estudio detallado, no sólo se deben estudiar los factores que limitan el crecimiento al final del

período de crecimiento, sino también seguir la dinámica de cada factor como agua, N, P y determinar cuál es el limitante en un punto dado del crecimiento inclusive en la simulación del crecimiento de las plantas, es preferible trabajar a nivel horario, que a niveles diarios o semanales.

Las áreas afines que necesitan considerarse en el estudio del crecimiento de las plantas son:



La mejor manera de ligar los submodelos es cuando uno proporciona la salida que a su vez se utiliza como entrada en el otro, sin efecto del primero en el segundo. Así, los modelos se pasan independientes uno de otros, con la ventaja de que cuando un modelo es correcto, no se pasa nuevamente. Al aplicar la dinámica del sistema para la simulación de sistemas vivientes, no se necesita mucha matemática de integración.

3. Las técnicas básicas de la simulación dinámica

A. Diagramas de relación: facilitan la definición de las ecuaciones de tasa (ecuaciones diferenciales), para calcular las variables de tasa y de las ecuaciones de estado (integrales). La integración se enfatiza en la solución numérica.



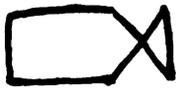
: variable de estado o integral de flujo, resultado final de lo sucedido.



: Flujo y dirección de la acción por la cual una cantidad o variable de estado cambió, siempre líneas seguidas.



: Flujo y dirección de la información.



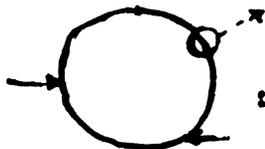
: Válvula en un flujo que indica que una decisión ocurre allí, las líneas de información entrante indican los factores sobre los cuales depende la decisión.



: No se usa mucho, fuente y receptáculo de cantidades, en las cuales no se está interesado.



: Constante o parámetro.



: Variable auxiliar o intermedia en el flujo de material o de información.

2. Tasa e Integral

La tasa por la cual el valor numérico de una variable de estado cambia se expresa en la dimensión: cantidad por tiempo. Ejemplo: peso, largo, número, tasa. Las reglas o patrones que cambian la tasa pueden luego ser expresados a través de ecuaciones diferenciales y en la integración asociada a esta ecuación.

Ejemplo: $\frac{ds}{dt} = c$, donde

s	=	distancia (km)
t	=	tiempo
c	=	km h ⁻¹

3. Ecuaciones direrenciales y diferenciales finitas

A medida que se avanza en conocimiento del sistema, se van complicando las ecuaciones, por ejemplo: el número de animales en un área que aumenta por un % cada año, la ecuación $\frac{dy}{dt} = c$ y donde y = número de animales en un momento dado, c = tasa anual de crecimiento relativo.

Quando se integra analíticamente esta ecuación diferencial se produce la curva de crecimiento exponencial conocida $y_t = y_0 * e^{ct}$,

donde t = tiempo

e = base de log. natural o neperiano

y_t = al momento t

y_0 = número de animales al inicio del cálculo.

4. Integración Numérica

Representa el valor numérico de una variable de estado como una función de tiempo haciendo la integración para diferentes lapsos de tiempo; o sea, un paso de tiempo t causa un estado $-y_0-$ que a su vez causa una nueva tasa de un tiempo Δt y así sigue.

5. Bucles de retroalimentación (loops)

Donde el estado de un elemento o variable determina el grado de acción o flujo que subsecuentemente cambia este estado; este proceso procede de forma continua como un círculo vicioso de bucle que puede ser positivo causando un equilibrio inestable o negativo, que tiende hacia el equilibrio.

6. Coficiente de Tiempo

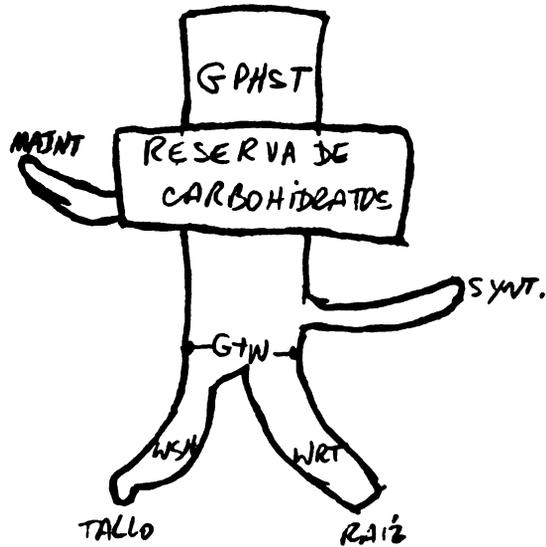
7. Lenguajes de Simulación o Sistemas de Programación de Simulaciones

Ayudan en la simulación de sistemas dinámicos continuos y paralelos. Estos lenguajes han sido creados para ayudar a los investigadores sin mucho conocimiento de técnica de programación o de matemáticas. Hay muchos de estos lenguajes; uno de los más conocidos es el CSSL = Continuous SYSTEM Simulation Lenguaje creado en 1968, cuya última versión el CSMP III = Continuous SYSTEM Modelling Program de la IBM en FORTRAN, es explicado en el Manual del Usuario N° SH19-7001-2 de la IBM. El programador sólo es responsable de escribir las frases que definen el modelo y darle los datos apropiados; así como escribir en el orden que se piensa y el compilador se encarga de darle la salida correcta.

Programa Elemental de Simulación de Producción de Materia Seca

El esquema utilizado es el siguiente: la asimilación de CO₂ alimenta la reserva de carbohidratos que suplen la materia para crecimiento y respiración, asumiendo un ambiente constante.

La información necesaria es:



- La tasa fotosintética global (GPHS) $400 \text{ kg ha}^{-1} \text{ d}^{-1}$ de una vegetación verde y bien suministrada de agua y nutrientes en días claros, cuando la cubierta es menos cubriente del suelo, GPHOT es la fracción de GPHST.

- La fracción de radiación visible absorbida, calculada como una función del índice foliar LAI.

$$\text{LAI} = \frac{\text{fracción de área de hojas } \text{m}^2}{\text{fracción de área de suelo } \text{m}^2}, \text{ se calcula como una función exponencial valor } 0.7 [1 - \text{Exp}(0.7 \text{ LAI})].$$

- Respiración de mantenimiento (MAINT) expresado en glucosa, relacionado al peso total de materia seca (TWT) se estima en $0.015 \text{ kg kg}^{-1} \text{ d}^{-1}$
- La materia seca se divide entre el tallo WSH y la raíz WRT ambos en kg ha^{-1} ; datos estimados en 0.7 y 0.3 respectivamente.

El programa original está escrito en inglés, así:

TITLE DRY MATTER PRODUCTION

TWT = WSH + WRT

WSH = INTGRL (WSHI, GSH)

WRT = INTGRL (WRTI, GRT)

donde GSH, GRT = tasas de crecimiento.

WSHI, WRTI = condiciones iniciales

INCON WSHI = 50, WRTI = 50

donde INCON = initial conditions 50 = 50 kg ha⁻¹

GSH = 0.7 x GTW

GRT = 0.3 x GTW

donde GTW = tasa neta del aumento total de materia seca kg ha⁻¹
d⁻¹.

GTW = (GPHDT - MAINT) x CVF

donde CVF = factor de conversión = $\frac{\text{kg de materia seca}}{\text{kg de glucosa}}$

MAINT = (WSH + WRT) x 0.015

donde 0.015 = 1.5% de la materia seca total por día

GPHOT = GPHST x [1. Exp (-0.7 x LAI)]

LAI = AMIN1 (WSH/500., 5.)

donde AMIN es la función de valores mínimos.

PARAM CVF = 0.7, GPHST = 400

TIMER FINTIM = 100., DELT = 1., PRDEL = 5., OUTDEL = 5

METHOD RECT

PRINT TWT, WSH, WRT, GTW

OUTPUT TWT

END

STOP

ENDJOB

- donde Param = sirve para asignar valores a las variables específicas.
- Timer = da el tiempo de simulación de la simulación; en días.
- Delt = tamaño del paso del tiempo para integración
- Prdel = Intervalo de salida impresa
- Outdel = intervalo de salida gráfica
- Print = imprime
- Output = gráfica
- End = termina el modelo de simulación
- Stop = termina el programa de simulación
- Endjob = termina el trabajo del computador

A partir de este modelo básico simple, se van añadiendo parámetros y funciones más específicas hasta llegar a modelos de producción de materia seca durante el ciclo vegetal, dependiendo de la radiación total diaria y de la temperatura del aire, como el SUCROS. De allí se llega al modelo que simula el crecimiento de las plantas durante un ciclo vegetal a niveles horarios, el BACROS hecho por el equipo de de Wit en 1978 y mejorado por el equipo de Van Laar en 1983. Las variables de entrada son:

Cultivos

Clima

Otros

- | | | |
|------------------------------------|---|---|
| - C ₃ , C ₄ | - radiación diaria total global | - latitud |
| - tasa máxima de ψ de la hoja | - temp. y humedad diaria máx. y mínima. | - inicio y duración del período de crecimiento del cultivo. |
| - leguminosa o no | | |
| - regulación estomática o no. | | |

RELACION AGUA - SUELO PLANTA

Raisa Marisol Ruiz C.*

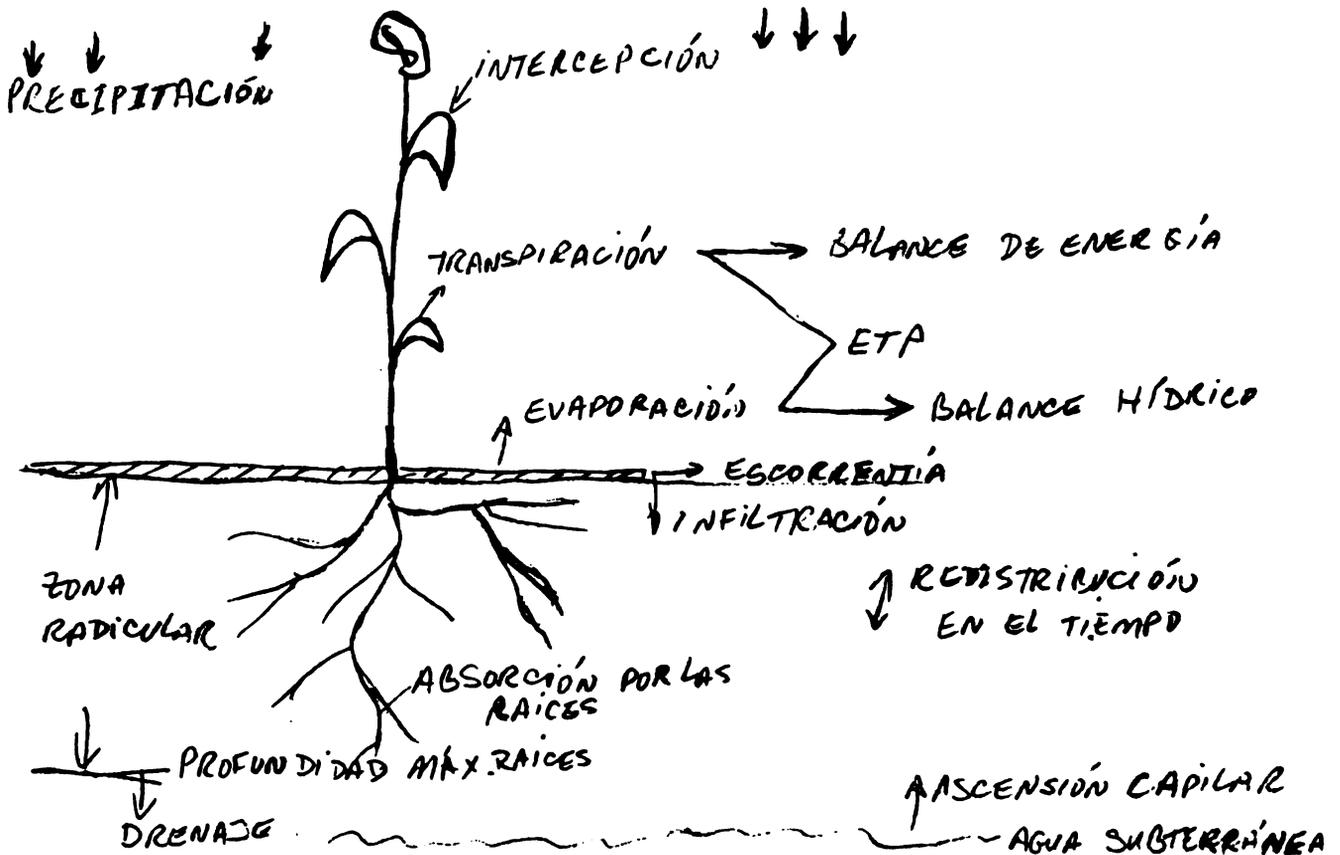
La Agrometeorología o microclimatología agrícola es una ciencia interdisciplinaria entre las ciencias biológicas y físicas.

Los elementos físicos incluyen a los seres humanos, quienes derivamos nuestra energía de los alimentos, animales y vegetales; igualmente estos vegetales derivan la energía para sus intercambios bioquímicos de la energía radiante del sol, que es la fuente única y primordial de toda la energía de nuestro planeta.

Por otro lado, el elemento más importante en nuestro sistema terrestre es el agua, presente en un 97% de la superficie. Dentro de los seres vivos forma parte en más de un 70%, y es importante para nuestros procesos vitales.

La relación entre el agua de la atmósfera y el agua del suelo es lo que se llama de ciclo hidrológico. En el medio de este ciclo se hallan los seres vivos, en este caso las plantas, que procesan el agua del suelo absorbiéndola a través de sus raíces, pasándola a través de su sistema vascular formando parte importante de su fisiología y producción de materia seca para terminar saliendo por los estómatos al aire como transpiración. Tal y cual lo demuestra el esquema de la página siguiente.

* MIDA, Panamá, Apartado 2016, Paraíso, Corregimiento de Ancon.



Igualmente, el agua en el suelo sale a la atmósfera por la evaporación; formando ambos lo que se llama evapotranspiración.

Saber la cantidad de agua que influencia una planta o cultivo, es importante para el proceso de crecimiento y desarrollo de la misma y, por ende, de la producción de materia seca. La eficiencia del uso del agua es la relación entre la producción de materia seca por fotosíntesis al agua consumida en la evapotranspiración (ET). Según cálculos por Lemon en 1964, en los modernos sistemas agrícolas (asumiendo que el 60% de la energía solar es utilizada para la ET), sólo se convierte 1% de la radiación solar para producir 0.7 - 1.2 kg de materia seca por tonelada de agua usada.

La utilización del agua está determinada por la respuesta de todo el cultivo como suma de cada hoja aislada; la ET depende de:

- Factores meteorológicos
- Factores del cultivo
- Humedad disponible en el suelo

O sea, que resolviendo el balance energético del microclima de un cultivo y el balance hídrico para encontrar la ET encontraremos el consumo de agua del cultivo.

I. Balance de Energía

En 1948, el término de evapotranspiración potencial se introdujo por Penman y Thornthwaite, como la cantidad de agua evapotranspirada de una gran superficie del suelo cubierta por una vegetación baja y de altura uniforme, en condiciones activas de crecimiento bajo con condiciones excelentes de humedad del suelo.

Utilizando el balance de energía se calculó la ET así:

$$RN = \phi_s + \phi_c + \phi_{LE} + \psi \pm A$$

donde ψ = energía utilizada en la fotosíntesis

$\pm A$ = energía para otros procesos metabólicos (resp.)

$$Y \text{ la } \phi_{LE} = ET = \frac{p^1 (RN + \phi_c) + rE_a}{r + p^1}$$

donde

$$RN = (1 - \alpha) (RI \sin h + RD) + \epsilon (RA - \sigma T^4)$$

$$\phi_s = p \epsilon' p \frac{(T_s - T_a)}{ra}$$

donde ρc_p = Capacidad de almacenar calor por volumen del aire
 r_a = Resistencia a la transferencia de calor en función del viento.

$$\theta_c = K \cdot \frac{\Delta T}{\Delta z} \quad \text{-----} \quad \begin{array}{l} \text{temperatura del suelo en} \\ \text{una zona considerada} \end{array}$$

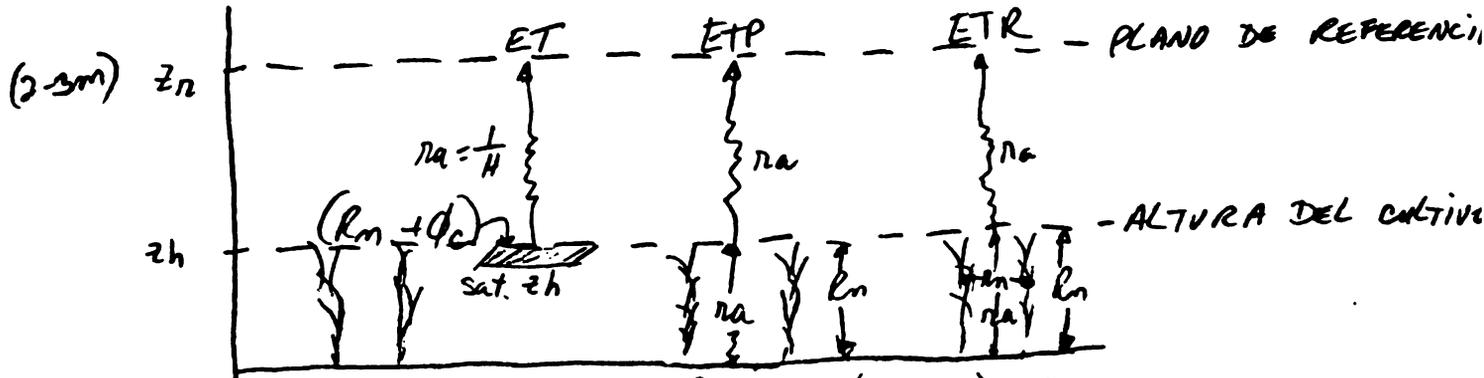
ψ y A pueden anularse al nivel diario, entonces:

$\phi_{LE} = ET$, donde P^1 = pendiente de la curva del vapor a saturación según la transformación lineal de la función de la densidad del vapor ($T_s + T_a/z$).

r = Constante psicrométrica ligada a la capacidad de almacenar calor del aire por volumen, constante de los gases perfectos y masa molar del aire.

E_a = Poder evaporador del aire, o sea la diferencia existente entre el aire saturado y el aire actual.

En 1965, 1975 se introdujo el término de ETR considerando que los cultivos no son todos de baja altura, son densos y con diferentes estados de saturación a diferentes niveles, según el siguiente esquema:



* Esquema según Perrier (1975), Francia

$$ET = \frac{p^1 (RN + \phi_c) + r ta}{r + p^1}$$

O evapotranspiración teórica que existe con cubiertas vegetales muy pequeñas.

$$ETP = \frac{p^1 (RN + \phi_c) + r Ea}{p^1 + r \frac{(ra + ro)}{ra}}$$

donde ro sería el freno de la vegetación al intercambio de vapor hacia la atmósfera. Después de una lluvia.

$$ETR = \frac{p^1 (RN + \phi_c) + r Ea}{p^1 + r \frac{(ra + ro + rs)}{ra}}$$

En el caso donde no hay saturación, de manera que a la resistencia global debido a la arquitectura del cultivo, existe un freno debido a la regulación estomática (rs). Sería el caso real de un cultivo no saturado por la lluvia o la irrigación. En este caso, cuando las condiciones climáticas son iguales y existe una buena alimentación

en agua, $ETR = ETM$ o evapotranspiración real máxima del cultivo medi da con evapotranspirómetros. De esta manera la relación entre todos es la siguiente:

$$0 \leq ETR \leq ETM \leq ETP \leq ET$$

Esta fórmula de Perman modificada es usada para calcular la ET a partir de datos climáticos disponibles a niveles horarios, diarios o men suales, como se desee. Se considera la más completa.

Otras fórmulas que utilizan datos climáticos son:

1. La de Thorntwhite, creada en 1948 como un intento de clasificación climática, dada por:

$$ETP = 1.6 \left(10 \frac{t}{I} \right)^a \text{ en cm}$$

donde: $t =$ temperatura promedio mensual, °C

$$a = 6.75 \times 10^{-7} I^3 - 7.71 \times 10^{-5} I^2 + 1.79 \times 10^{-2} I + 0.49$$

$I =$ índice de calor derivado de la suma de los doce valores de un índice mensual i basado en la temperatu ra promedio mensual.

$$i = \left(\frac{t}{5} \right) 1.514$$

Esta fórmula da buenos resultados cuando se utiliza con mensuales o anuales.

2. El método de Blaney-Criddle (1950) calcula el uso consuntivo de las plantas, o sea prácticamente la ETR o actual y se basa en datos de temperatura mensual, porcentaje mensual de horas de sol, precipitación y largo del período de crecimiento o de irrigación.

$UC = \sum km.f$, donde km = coeficiente mensual de uso consuntivo en pulgadas.

$f = \frac{tp}{100}$, donde t = temperatura \bar{x} mensual °F
 p = % mensual de horas de sol

- 3, El método de Hargreaves que utiliza temperatura, horas de sol.
4. El método de Turc que utiliza temperatura y humedad relativa media del período considerado, número de días de insolación. Existen otros métodos que se encuentran en la literatura, incluyendo el sistema de contabilidad de agua, o sea lo que sale por evapotranspiración y lo que entra por precipitación o irrigación. Este se verá con más detalle en el balance hídrico.

II. Balance Hídrico

La humedad del suelo está influida por una parte de la radiación neta que llega al suelo que se transforma en calor latente de vaporización cuando la cantidad de agua en la superficie no es limitante.

Este balance hídrico es la contabilidad en un cierto volumen de suelo dado, de toda el agua que entra (A_e) y toda la que sale (A_s) y la que se almacena durante un período determinado; donde:

$$A_e = P_p + I_r$$

$$A_s = D_r + E_s + ET$$

P_p = Precipitación

D_r = drenaje

I_r = Irrigación

E_s = escorrentía

El almacenaje o reserva (R) es:

$$R = P_p + I_r - D_r - E_s - E_T, \text{ de donde se concluye que}$$

$$E_T = P_p + I_r - R - D_r - E_s$$

Para medir la P_p e I_r , son fácilmente medibles; lo que se pierde por escorrentía se puede minimizar o considerar nulos, el agua almacenada se puede medir por métodos gravimétricos o la sonda de neutrones; el drenaje se puede calcular a través de medidas tensiométricas.

Para medir la E_T , se pueden usar los siguientes aparatos:

- Lisímetros: que son grandes tanques de tierra y vegetación, donde se puede pesar para definir a través del peso la ganancia o pérdida de agua.
 - a. Evapotranspirómetro: es un lisímetro rústico de drenaje.
- Tanques de evaporación con temperatura del agua y anemómetro a 50 cm. Sus datos se modifican a través de un coeficiente empírico.
- Atmómetros: de Bellani o el evaporímetro Piche.

En todos estos estudios de suelos, hay que recordar que el agua en el suelo es un proceso dinámico y continuo; generalmente se definen dos extremos, la capacidad de campo: cantidad de agua existente después que termina el drenaje natural.

- El punto de marchitez: punto en el cual las plantas no pueden extraer más agua del suelo.

La diferencia entre ambos permite calcular la reserva útil RU, o sea la cantidad de agua de la que puede disponer una planta. Para un

suelo de profundidad dada esta reserva útil se puede calcular, multiplicando para cada horizonte, la reserva útil de ese horizonte por la profundidad del mismo y sumando luego el total; es decir:

$$RU = RUU \times PROF$$

donde RUU = reserva útil unitaria o por horizonte.

III. Factores del Cultivo

Los factores son cada estado fenológico de la planta y, en forma global, del cultivo. En cada estado fenológico, la absorción de agua por las raíces y la transpiración dependen del balance energético e hídrico de la plantación.

- Para estimar la producción de materia seca se mide el índice foliar o LAI sobre un metro cuadrado en cada estado fenológico.
- La resistencia estomática puede ser medida con el porómetro inventado por Monteith; es un aparato portátil y puede ser calculado como
$$\bar{r}_s = \left(\frac{1}{\frac{1}{r_{sinf}} + \frac{1}{r_s \text{ sup}}} \right) LAI^{-1}.$$
- El albedo o índice de reflectividad de las hojas de la cubierta vegetal en relación a la energía recibida.

Para cada estado fenológico se correlacionan estos tres factores, lo que dará el comportamiento del cultivo en el momento dado.

NOCIONES GENERALES SOBRE LA EVAPOTRANSPIRACION Y LAS
TRANSFERENCIAS DE AGUA

Oscar E. Rojas*

I. CONCEPTOS DE LA EVAPOTRANSPIRACION Y DE LA EVAPOTRANSPIRACION POTENCIAL

El vapor de agua atmosférico proveniente casi exclusivamente del proceso de evaporación que se realiza a nivel de la superficie de nuestro planeta por diversas reacciones fitoquímicas (respiración, combustión, etc.), contribuye sólo en una pequeña proporción al enriquecimiento del contenido total de agua en la atmósfera. La mayor proporción de esta evaporación, alrededor de un 85%, se sitúa a nivel de los océanos; sin embargo, una proporción no despreciable del orden de un 15% se produce a nivel de las superficies continentales. La vegetación juega una función preponderante en esta transferencia de vapor de agua; la planta se comporta como una mecha entre el subsuelo, la reserva hídrica y la atmósfera (BROCHET, P. y GERBIER, N., 1975). Con el término "evapotranspiración" se designa la cantidad de vapor de agua que es disipada en la atmósfera, e incluye tanto la evaporación del agua del suelo (fenómeno físico), como la transpiración de la vegetación (fenómeno fisiológico).

Cuando se considera un cultivo bien desarrollado, que cubre bien el suelo con un buen abastecimiento en agua, es decir, que el cultivo pueda disponer sin restricción de una reserva hídrica abundante para responder de la mejor manera a la demanda del medio la evapotranspiración crece y tiende a su límite máximo, que se puede considerar como evapotranspiración potencial (ETP).

* Ingeniero Agrónomo, D.A.A. INA Paris-Grignon
Especialista en Agroclimatología del IICA

Durante mucho tiempo se ha considerado que el valor de la ETP era el mismo para todos los tipos de vegetación, ésto es la "hipótesis ETP", basada en la noción de un requerimiento hídrico, a la cual serían so metidas las coberturas vegetales por parte del clima, independientemente de su naturaleza.

Este aspecto esencialmente climático de la ETP es aceptable cuando se trata de grandes superficies; sin embargo, resultados de estudios y medidas realizadas al respecto durante los últimos veinte años han de mostrado que a una escala espacial más reducida, del orden de la parcela, por ejemplo, la ETP se encuentra muy relacionada al clima, pero también depende:

- del medio natural alrededor de la parcela,
- del tipo de cultivo de la parcela,
- de las propiedades pedológicas del suelo.

Para superficies limitadas, cubiertas por un cultivo homogéneo, se debe hacer la distinción entre la ETP, parámetro del clima, y la evapotranspiración máxima, característica específica de la especie cultivada, que depende mucho del estado fenológico del vegetal considerado, de su índice foliar y de su estado fisiológico.

Las fórmulas utilizadas para calcular la ETP, a partir de los datos climáticos, tienden a suavizar los accidentes. La comparación entre los resultados de cálculos parecidos dan diferencias a veces inquietantes, que podrían llegar para una misma década a 50% de desviación. Pareciera que ciertas expresiones son sólo aplicables a un tipo de clima particular. La causa de estas inexactitudes, dentro de los resultados de las ETP calculadas, están en relación directa con las

hipótesis simplificadoras que se han adoptado y que subestiman la variación de uno u otro de los factores climáticos susceptibles de intervenir; siendo éstos:

- la radiación neta, resultado del balance entre la radiación global solar, la radiación de la atmósfera y la de la tierra;
- la temperatura del aire: consecuencia directa de ese balance;
- el déficit de saturación ($e_w - e$);
- los movimientos del aire, tanto verticales como horizontales, responsables de los cambios por conducción, convección y turbulencia.

II. ASPECTOS ENERGETICOS Y CLIMATICOS DE LA ETP

La evaporación consume energía, por lo tanto, se concibe que la cantidad de energía disponible a nivel de la superficie evaporante, suelo y vegetación, sea un factor limitante del fenómeno. La demanda de la atmósfera dependerá, por lo tanto, de la fracción disponible de la energía total puesta en juego para los intercambios termoradiativos globales. Sobre un período de 24 horas, o de un número entero de días, este balance se puede expresar de la siguiente manera:

$$R_g (1 - a) + R_a + LC = LE + R_t + Q$$

R_g = radiación global de longitudes de onda corta

R_a = radiación de la atmósfera (espectro I.R.)

R_t = radiación de la superficie: suelo, plantas, etc. (espectro I.R.)

a = albedo de la superficie

C = condensaciones

E = evapotranspiración

Q = energía advectiva

L = calor latente de evaporación o de condensación.

Si R_n representa la radiación neta resultante de ese balance radiativo:

$$R_n = R_g (1 - a) + R_a - R_t$$

Se puede escribir:

$$R_n = LE - LC + Q$$

El término $L(E - C)$ expresa el balance parcial de energía, relativo al intercambio del agua entre el suelo, la vegetación y la atmósfera. R_e presenta, a la vez, la cantidad de agua evaporable, durante un intervalo de tiempo definido, según la energía disponible para tal efecto, siendo, por lo tanto, una expresión de la evapotranspiración potencial instantánea.

Se conoce que la ETP depende de los factores climáticos; por su lado, la evapotranspiración real absorbiendo energía modifica las características físicas del aire y participa, por este hecho, en la restricción de la demanda del ambiente, éste es de la ETP.

III. ASPECTO BIOCLIMATICO DE LA EVAPOTRANSPIRACION

A nivel de las superficies aéreas de intercambio del cultivo, representadas esencialmente por las hojas, ciertos mecanismos fisiológicos son

susceptibles de controlar el volumen de transferencias de vapor de agua entre el tejido del vegetal y su medio.

Una pequeña fracción de estas transferencias se efectúa a través de la pared cuticular (de 0 a 30% del volumen total de intercambios), por el contrario, la mayor parte del vapor de agua transpirado se efectúa a través de los estomas de las hojas.

La resistencia a la difusión del vapor de agua, a nivel del estoma, es muy débil si éste está totalmente abierto, pero crece rápidamente cuando, bajo el efecto de un déficit hídrico, el estoma se cierra hasta la obturación completa. También, por esos estomas se efectúan otros intercambios gaseosos entre el tejido vegetal y el ambiente, en particular las transferencias del CO_2 de la atmósfera para el beneficio de las células clorofilianas. El CO_2 es indispensable para la fotosíntesis de hidrocarburos: celulosa, azúcar, almidón, etc., esto es para la producción de materia seca.

Todo freno a estos intercambios provocará, por lo tanto, una reducción de la producción vegetal y, por consecuencia, una disminución de la rentabilidad del cultivo tratado. Así que, cada vez que la planta disminuya el nivel de la evapotranspiración por medio del cierre de sus estomas, habrá un efecto depresivo sobre la producción de materia seca. Los bioclimatólogos han puesto en evidencia la excelente correlación que existe entre el rendimiento en materia seca y la relación ETR/ETP, la cual puede considerarse como un índice representativo del cierre estomático (Fig. 1).

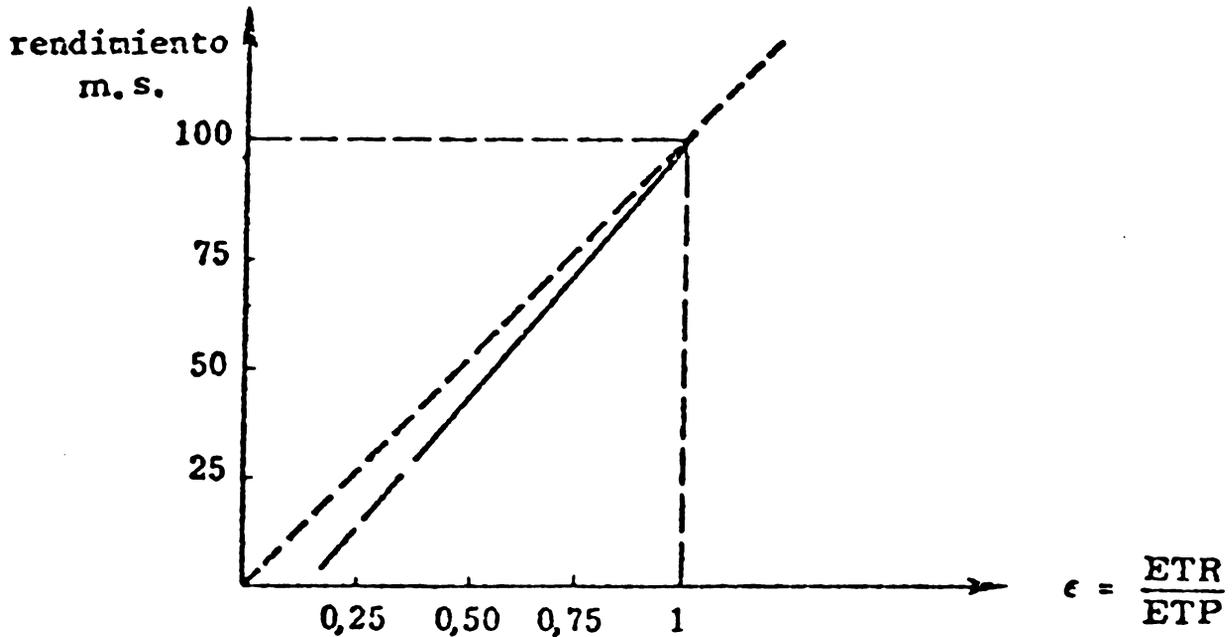


Fig. 1 - Relación entre el rendimiento en materia seca y la relación ETR/ETP (Robelin, 1967).

El flujo del agua a través de la planta depende igualmente del desarrollo y de la profundidad explorada por el sistema radical. Cualquier práctica cultural que trate de mejorar el desarrollo de las raíces, acentúa la posibilidad de una mayor evapotranspiración por parte de la planta (aereación y estructuración del suelo, lucha contra los parásitos y depredadores subterráneos, etc.). La cantidad máxima de agua " Q_x ", transferible a través del vegetal, dependerá a la vez de sus sistema foliar (evacuación) y de sus sistema radical (absorción).

Cada vez que la ETP sobrepase el flujo máximo de agua Q_x , ya sea por una mayor demanda atmosférica, desecamiento del suelo o desarrollo radical insuficiente, habrá: una intervención de la regulación estomática, restricción de las superficies de intercambio y por consecuencia, una reducción de la capacidad de producción de materia seca.

Por otra parte, a lo largo del día, la evapotranspiración potencial fluctúa grandemente, en función de la radiación neta, de la temperatura, del déficit de saturación y de la velocidad del viento, elementos de clima que presentan todos una variación diurna importante. El mínimo cotidiano de la ETP se alcanza durante la noche.

En regiones templadas subhúmedas, por ejemplo, la temperatura mínima se acerca al punto de rocío, el déficit de saturación ($e_w - e$) se vuelve pequeño o casi nulo, por lo que la ETP tiende a cero.

Al contrario, esta ETP alcanza su valor máximo alrededor del medio día, que es el momento donde existe un excedente del balance radiativo neto y que coincide, generalmente, con el máximo del déficit de saturación (Fig. 2).

En los días soleados y secos, muy a menudo, las plantas sufren de un déficit hídrico sistemático en el transcurso del día y la regulación estomática tiene que intervenir. Durante el intervalo h_1 h_2 la fotosíntesis se reduce y la producción de materia seca se ve seriamente afectada.

Toda intervención que provoque un aumento de Q_x ($Q_x + \Delta Q$), o bien una disminución de la ETP (curva 3), disminuirá, o del todo suprimirá, el efecto depresivo que afecta la producción vegetal (h_1 h_2 en lugar de h_1' h_2') (Fig. 2).

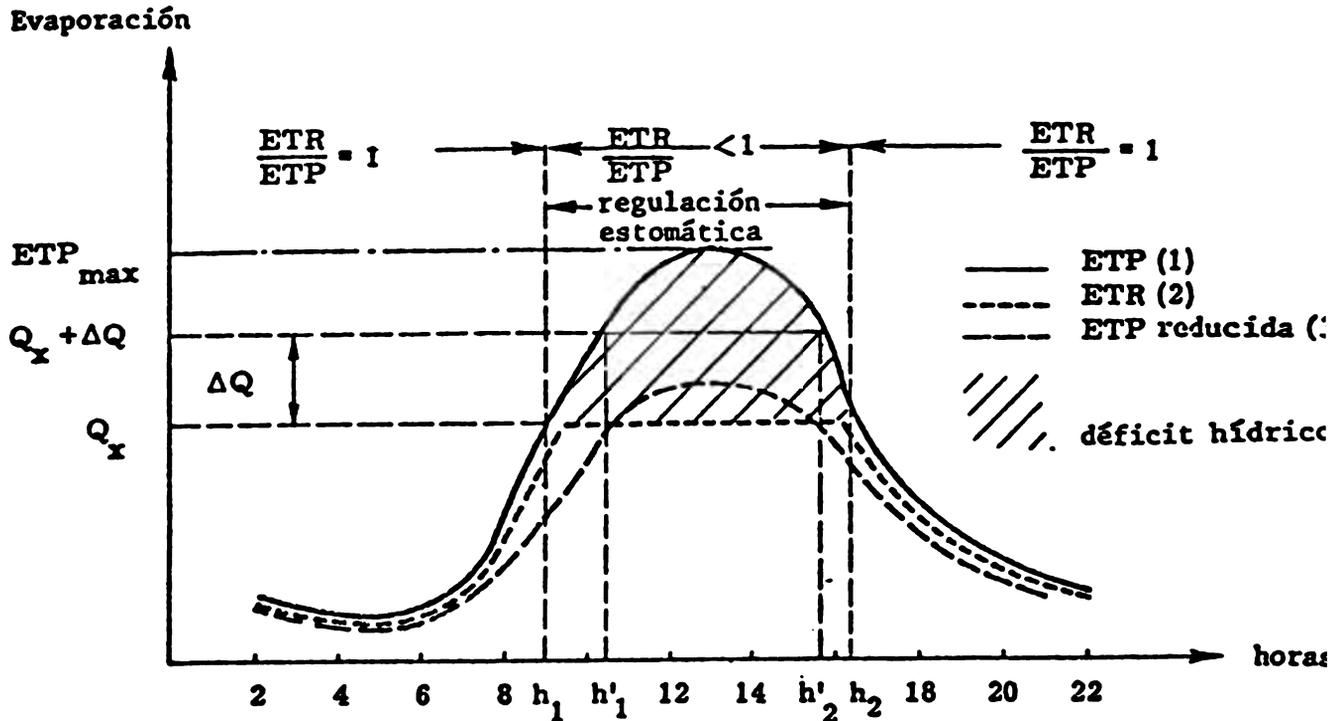


Fig. 2 - Evolución a lo largo del día de la ETP (Brochet, P. y Gerbier, N., 1975).

IV. NOCIONES RELACIONADAS CON EL SUELO

El suelo es un medio poroso, cuyos espacios vacíos pueden ser ocupados por el agua. El volumen total de espacios vacíos representa la porosidad que se subdivide en macroporosidad (macroporos) y en microporosidad (microporos o poros capilares).

Se puede considerar al suelo como una reserva de importancia variable, que se llena y se vacía según un cierto ritmo, y dentro de la cual el agua no se encuentra libre, sino sometida a un conjunto complejo de fuerzas variables (la fuerza de la gravedad, las fuerzas denominadas capilares, las fuerzas de absorción), que determinan

su retención, sus movimientos y finalmente su utilización por las plantas. Estas fuerzas dependen de numerosos factores, entre los cuales la talla de los poros juega un rol esencial (Boulaine, 1978).

4.1 Humedad del suelo

El suelo constituye un medio conveniente para las raíces, siempre que exista un equilibrio entre las tres fases (sólida, líquida y gaseosa). El aire es necesario para la respiración de las raíces y el agua les debe ser cedida sin dificultad. Por lo tanto, se distinguen diferentes niveles de humedad dentro del suelo que corresponden a las siguientes definiciones:

4.1.1 Humedad de saturación (HS)

Es la humedad del suelo cuando el agua ocupa toda la porosidad. Este no contiene más aire. Los poros gruesos son ocupados por el agua de gravedad.

4.1.2 Humedad a la capacidad de retención (HCR) o humedad a la capacidad de campo (HCC)

Es la humedad que contiene un suelo después de la desaparición del agua de gravedad; el agua restante ocupa la microporosidad (agua capilar). Ella es retenida dentro de las cavidades del suelo por las fuerzas de la tensión superficial. Estas fuerzas corresponden a alturas de ascensión capilar definidas por la ley de Jurin: de aproximadamente 1 metro para las arenas (poros de 15 micrones) hasta 10 metros para las arcillas (poros de 1,5 micrones).

4.1.3 Humedad equivalente (HE)

Esta medida se hace en el laboratorio. Se extrae el agua de una muestra de suelo saturado, por medio de una centrifugadora que produce una aceleración de 1000 veces la aceleración de la gravedad durante 30 minutos. La humedad del suelo después del tratamiento se aproxima a la humedad de la capacidad de retención.

4.1.4 Humedad crítica (HC)

Es la humedad del suelo debajo de la cual la planta comienza a sufrir de un déficit hídrico ($ETR < ETM$). Corresponde a una presión de succión dentro de la hoja de 8 a 10 atmósferas, pero no es un valor definido para el suelo.

Se ha comprobado que la humedad crítica es débil cuando la velocidad de desecación es lenta, es decir:

- cuando la evapotranspiración es menos fuerte;
- cuando el volumen del suelo explorado es más importante (sistema radical bien desarrollado y en buen estado).

Este valor de humedad es, por consiguiente, una noción importante; sin embargo, es sumamente fluctuante, porque ella no depende solamente del suelo, sino también del clima y de las características de la planta.

4.1.5 Humedad al punto de marchitez permanente (HPM)

Es la humedad debajo de la cual la planta sufre de daños irreversibles causados por la sequía. En este momento, la fuerza de succión del suelo se equilibra con la fuerza de succión de las células de las raíces: el flujo de agua del suelo hacia la planta se anula. Es una noción igualmente variable y depende de la naturaleza de la planta.

Se ha adoptado por convención en definirla, como la presión de succión dentro del suelo correspondiente a 15 atmósferas, aún cuando ciertas plantas son capaces de extraer agua por medio de sus raíces a tensiones superiores.

4.1.6 Humedad higroscópica

El suelo puede secarse por debajo del punto de marchitez sin alcanzar una sequía total. Este valor de humedad corresponde a la cantidad de agua retenida por las partículas del suelo (agua "pelicular"), que se encuentra en equilibrio con el potencial hídrico medio de la atmósfera.

4.17 Agua de constitución

Se denomina así a las moléculas de agua atrapadas dentro de las estructuras químicas de los constituyentes del suelo. Ellas son liberadas solamente a altas temperaturas (450°C o más).

Las características hídricas del suelo están, como se ha visto, estrechamente ligadas a su naturaleza mineralógica y a las condiciones pedológicas; siendo esencialmente las características físicas (textura, estructura) las que condicionan su comportamiento en relación al agua.

V. LA RESERVA DE AGUA EN EL SUELO

La cantidad de agua máxima disponible dentro del suelo para la planta depende:

- de las características del suelo (principalmente de HCR y HPM);
- de la profundidad Z del suelo explotada por la planta (aproximadamente la profundidad alcanzada por las raíces).

5.1 Reserva útil

La reserva útil, RU, es el valor máximo de agua dentro del suelo disponible para la planta.

$$RU = da \cdot (HCR - HPM) \cdot Z$$

con:

RU = reserva útil en mm

da = densidad aparente de la tierra seca ^{1/}

HCR = humedad ponderal ^{2/} a la capacidad de retención (en %)

HPM = humedad ponderal al punto de marchitez permanente (en %).

Z = espesor del trozo de suelo correspondiente a la profundidad promedio de las raíces.

^{1/} Se denomina densidad aparente de un suelo a la masa del suelo seco por unidad del volumen del suelo in situ, $da = M_s/V$.

^{2/} La humedad ponderal es definida por la relación $H_p\% = (\text{Peso de suelo húmedo} - \text{Peso del suelo seco})/\text{Peso del suelo seco} \times 100$.

5.2 Reserva fácilmente utilizable (RFU)

La reserva fácilmente utilizable es la fracción de la RU disponible a una tensión suficientemente débil como para que la planta transpire a la ETM.

$$RFU = d_a(HCR - HC) Z$$

con:

RFU = reserva fácilmente utilizable (en mm)

HCR = humedad ponderal a la capacidad de retención (en %)

HC = humedad crítica ponderal (en %)

Z = espesor del trozo de suelo correspondiente a la profundidad promedio de las raíces.

En la práctica es difícil de obtener una buena estimación de HC, por lo que se ha preferido estimarla a partir de la RU.

$$RFU = a Ru$$

con:

$$0,5 \leq a < 1$$

Estas nociones nos inducen a considerar, esquemáticamente, al suelo como una reserva donde una parte está disponible a voluntad (RFU) y donde el resto, denominada reserva difícilmente utilizable (RDU), se hace cada vez más racionada conforme se acerca al agotamiento.

Las modalidades de este racionamiento han sido estudiadas por Hallaire, (1964), sobre muestras de suelos en el laboratorio. Los resultados obtenidos se ilustran en la Figura 3.

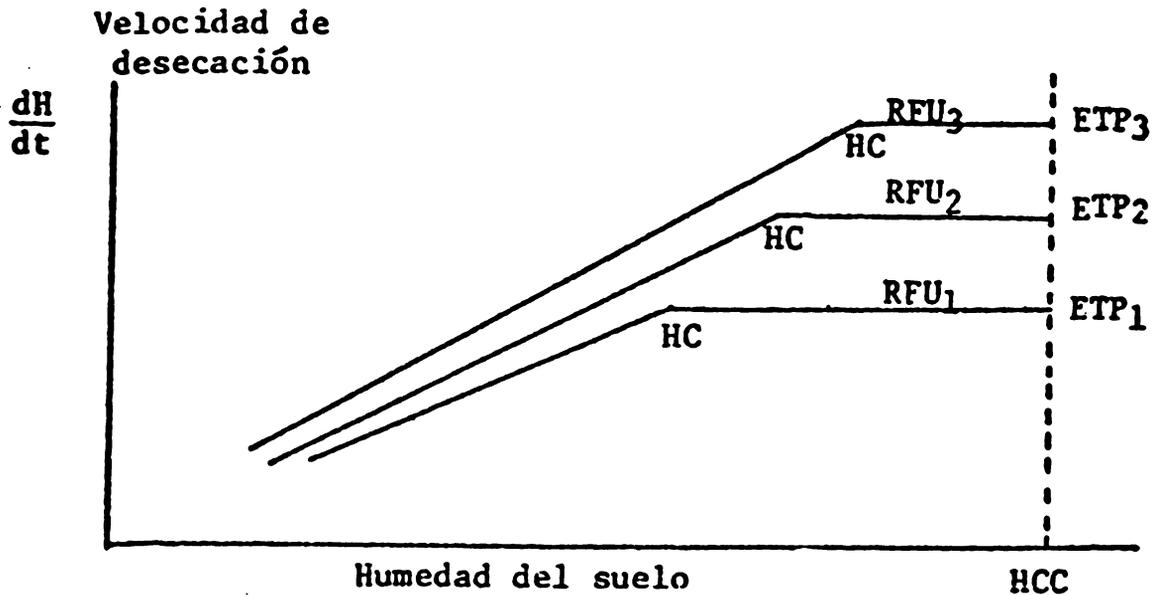


Fig. 3 - Velocidad de desecación para un mismo suelo en función de su humedad para diferentes niveles de evapotranspiración

En condiciones de evaporación continua y uniforme, la velocidad de desecación del suelo (dH/dt) es constante, mientras no se descienda por debajo de la humedad crítica; debajo de este valor, la velocidad de desecación decrece regularmente.

Hemos observado que la noción de humedad crítica es fluctuante, la noción de la RFU también lo es. Para un mismo suelo, la RFU decrece cuando la velocidad de desecación aumenta; por el contrario, ésta crece cuando el sistema radical se densifica.

BIBLIOGRAFIA CONSULTADA

- BROCHET, P. et GERBIER, N. (1975). L'évapotranspiration. Aspecto agrométéorologique évaluation pratique de l'évapotranspiration potentielle. Monographie N° 65, Météorologie Nationale. 96 p.
- BOULAIN, J. (1978). Cours d'hydropédologie. Institut National Agronomique. Paris-Grignon, France. 193 p.
- HALLAIRE, M. et al (1964). L'eau et la production végétale. Institut National de la Recherche Agronomique. Versailles, France.
- LHOMME, J. P. y ROJAS, O. E. (1984). Elementos de Agroclimatología. IICA-ORSTOM. Serie Publicaciones Misceláneas N° 531. Costa Rica. 92 p.
- PENMAN, H. L. (1948). Natural evaporation from open water, bare soil and grass. Proc. Roy. Soc. London. Ser. A., Vol. 193. pp. 120-144.
- ROBELIN, M. (1967). Etude de la sensibilité du maïs à la sécheresse. Période critique de sensibilité. C. R. Acad. Agric.
- ROJAS, O. E. (1985). Estudio de las condiciones hídricas del Pacífico Norte de Costa Rica. IICA. Serie Publicaciones Misceláneas N° 546. 73 p.

RESUMEN DE LAS PROPUESTAS

I. PROMOVER CURSOS A NIVEL NACIONAL

- Patrocinados por PROMECAFE
- Con profesionales preferentemente nacionales
- Similares en todos los países
- Con el propósito de:
 - a. Informar sobre qué tipo de servicios pueden brindar los servicios meteorológicos a los agricultores.
 - b. Capacitar al personal involucrado en el manejo de los instrumentos que puedan utilizar en sus trabajos y en la interpretación de los datos.
 - c. Dar a conocer qué tipo de instrumental existe para observaciones de tipo micrometeorológico.
 - d. Entrenar al personal permanente para mantenimiento de estaciones y toma de datos meteorológicos.

II. INTEGRAR INVESTIGACIONES AGROMETEOROLOGICAS DEL AREA EN EL CULTIVO DEL CAFE.

- Que el IICA-PROMECAFE promuevan:
 - a. La conformación de equipos de trabajo interdisciplinarios.
 - b. La conformación de un núcleo de acumulación de información sobre diferentes investigaciones que se encargue de su divulgación, con el objeto de evitar duplicidad de esfuerzos y de compartir metodologías.

- c) Unificar los criterios sobre manejo y codificación de datos mediante un instructivo normativo para toda el área.
- d) Preparar y distribuir una bibliografía sobre el tema.

III. APOYO DE PROMECAFE PARA FINANCIAMIENTO DE ESTUDIOS

Que PROMECAFE sirva de puente a la hora de solicitar financiamiento para proyectos de investigación ante organismos internacionales.

IV. NECESIDAD DE UN ESTUDIO QUE CONLLEVE A UNA ZONIFICACION AGROCLIMATICA DEL CULTIVO DEL CAFE, CONSIDERANDO PARAMETROS SIMILARES PARA TODOS LOS PAISES.

V. NECESIDAD DE UN ESTUDIO QUE DELIMITE ZONAS POTENCIALES DE MAYOR RIESGO PARA LA ROYA EN BASE A DATOS METEOROLOGICOS EXISTENTES Y CON CONOCIMIENTO DE LOS REQUERIMIENTOS AMBIENTALES PARA EL DESARROLLO DE LA ENFERMEDAD.

VI. NECESIDADES DE QUIPO

- Apoyo para la compra de equipo meteorológico
- Constitución de un centro de préstamo de instrumental micrometeorológico para la investigación.

VII. SE SUGIERE AL PROMECAFE CONTINUAR CON EL DESARROLLO DE CURSOS DE LA NATURALEZA DEL PRESENTE, LOS CUALES SERIAN DE MUCHO PROVECHO A LOS PARTICIPANTES SIEMPRE Y CUANDO LOS MISMOS TENGAN UNA MAYOR ORIENTACION A LA PRACTICA.

LISTADO DE PARTICIPANTES AL CURSO REGIONAL AGROMETEOROLOGIA

PAIS	N O M B R E	C A R G O	PROFESION	INSTITUCION	DIRECCION
1. Costa Rica	Alvaro Segura Monge	Jefe Sección Nutrición Animal	Ing. Agr. Fitotecnista	Programa Cooperativo OFICAFE-MAG.	Edificio Antiguo La Salle, 4° piso, MAG
Costa Rica	Juan José Obando	Jefe Sección Modalidades Cultivo	Ing. Agrónomo	M A G	Edificio La Salle Sabana, San José
Costa Rica	Oscar Enrique Rojas M.	Especialista en Agroclimatología	Ingeniero Agrónomo	I I C A	Apartado Postal 55 2200 Coronado
Costa Rica	Vilma Castro León	Prof. Investigador	Meteoróloga	Universidad de Costa Rica	San Pedro de Montes de Oca.
Costa Rica	Eduardo Andrade	Especialista en Comunic.	Lic. en Derecho	I I C A	Apartado Postal 55 2200 Coronado
2. El Salvador	Filonila Reyes de Romero	Técnico II	Bióloga	I S I C	Final 1a. Ave. Nte. Nueva San Salvador
El Salvador	Gladys Moreno de Alás	Técnico Investigador de Fitopatología	Bióloga	I S I C	Final 1a. Ave. Nte. Nueva San Salvador
El Salvador	Francisco A. Ríos Lazo	Jefe Departamento de Genética	Ing. Fitotecnista	I S I C	Final 1a. Ave. Nte. Nueva San Salvador
El Salvador	Mario Córdova Osorio	Técnico II	Ingeniero Agrónomo	I S I C	Final 1a. Ave. Nte. Nueva San Salvador.
El Salvador	Julio César Bonilla G.	Técnico Investigador	Ingeniero Agrónomo	I S I C	Final 1a. Ave. Nte. Nueva San Salvador
El Salvador	Gloria Cecilia Gálvez	Jefe Departamento Fitopatología	Bióloga	I S I C	Final 1a. Ave. Nte. Nueva San Salvador.
El Salvador	Belisario Angel Chávez	Auxiliar Técnico	Bachiller Agrícola	I S I C	Final 1a. Ave. Nte. Nueva San Salvador

PAYS	N O M B R E	C A R G O	P R O F E S I O N	I N S T I T U C I O N	D I R E C C I O N
El Salvador	Zía U. Javed	Fitopatólogo de PROMECAFE	Fitopatólogo Ph.D.	PROMECAFE-IICA	1a. C. Pte. y 61 A.N. Edificio Bukele
El Salvador	Rafael A. Castellón	Supervisor Regional	Agrónomo	I S I C	Final 1a. Ave. Nte. Nueva San Salvador
El Salvador	Vicente García Martínez	Jefe Proyecto Fertilidad de Suelos	Ingeniero Agrónomo	I S I C	Final 1a. Ave. Nte. Nueva San Salvador
El Salvador	María Ofelia González	Bióloga	Bióloga	I S I C	Final 1a. Ave. Nte. Nueva San Salvador
El Salvador	Oscar Enrique Bonilla V.	Jefe Regional		I S I C	Final 1a. Ave. Nte. Nueva San Salvador
El Salvador	Juan Antonio Cortéz	Asistente de la Subgeren- cia Agrícola	Agrónomo	I N C A F E	2a. Ave. Norte San Salvador
El Salvador	Juan Antonio Clímaco	Supervisor de Crédito	Agrónomo	I N C A F E	2a. Avenida Norte San Salvador.
3. Guatemala	Arturo Villeda Sandoval	Coordinador Programa de Fertilización	ingeniero Agrónomo	A N A C A F E	Edificio ETIZA Plazuela España Zona 9.
4. Honduras	Nestor Macías Tronconi	Coordinador Programa Fito- patología	Ingeniero Agrónomo M.S. en Fitopatología	I N S T I T U T O H O N D U R E N O D E L C A F E (IHCAPF)	San Pedro Sula
Honduras	Ricardo Zejaya Rosales	Coordinador Programa Na- cional. Roya - Broca	Ingeniero Agrónomo	I H C A F E	Ave. Nueva Orleans San Pedro Sula.
5. México	Miguel Peña García	Jefe Departamento	Ingeniero Agrónomo	I N S T I T U T O M E X I C A N O D E L C A F E	Km. 4.5 Carretera Xalapa, Veracruz

PAIS	N O M B R E	C A R G O	PROFESION	INSTITUCION	DIRECCION
México	Refugio Roa Durán	Encargado del Programa Roya del Cafeto	Ingeniero Agrícola	INSTITUTO NACIONAL DE INVESTIGACIONES AGRICOLAS	Juárez N° 1201
6. Panamá	César Augusto Castillo G.	Responsable de la Sección de Climatología	Tec. Agrometeorolo- gía	MIDA-RE.NA.RE.	Paraíso, Corregi- miento de Ancón.
Panamá	Marcelino Hurtado	Asistente Técnico	Bachiller Agrónomo	M I D A	Programa de Café Boquete.
Panamá	Raisa Marisol Ruiz C.	Ingeniero Agrónomo	Ingeniero Agrónomo	MIDA-RE.NA.RE.	Apartado 2016 Paraíso, Corregi- miento de Ancón.
7. República Dominicana	César Burgos	Encargado Capacitación	Ingeniero Agrónomo	Secretaría de Estado de Agricul- tura. Departamen- to de Café.	Santiago

**Edición 200 Ejemplares
Offset ISIC, Depto. Comunicaciones
Nueva San Salvador, Depto. La Libertad
El Salvador, C.A.**



DOCUMENTO
MICROFILMADO

Fecha: _____