

NOTAS DE AGROMETEOROLOGIA

Ing.Pablo Marrero Labrador PhD.

Ing.Orestes Cruz la Paz PhD.

Lic.Mario Herrera Soler PhD.

La Habana Enero 2004

INDICE

TEMA 1 CLIMA Y ATMÓSFERA

Definición del clima-----	1
Factores del clima-----	1
Elementos del tiempo-----	2
Valores numéricos para caracterizar el clima-----	2
Atmósfera.Estructura y composición de la atmósfera-----	4
Estructura de la atmósfera-----	11
Contaminación de la atmósfera-----	12
Efecto invernadero -----	13
Cambios climáticos-----	14
Impacto de la contaminación sobre la Salud-----	16

Recursos del clima-----	-----18
--------------------------------	----------------

TEMA 2 OBSERVACIONES AGROMETEOROLOGICAS

Tipos de observaciones agrometeorologicas-----	26
--	----

Fases de desarrollo de algunos cultivos-----	-----28
---	----------------

Papel de las observaciones fenologicas -----	32
--	----

TEMA 3 PRONOSTICO AGROMETEOROLOGICO

Metodología para la obtencion de las relaciones cuantitativas del modelo suelo - planta - atmósfera-----	33
--	----

Predictores-----	33
------------------	----

Tipos de pronostico agrometeorologicos-----	---34
--	--------------

Pronóstico de Riego-----	34
Pronóstico de Plagas-----	36
Pronóstico de Fase Fenológica-----	40

Pronóstico de rendimiento-----40

TEMA 4 AGROCLIMATOLOGIA

Clasificación de los climas-----42

Indices climáticos -----46

Representación Gráfica de los Climas-----47

Zonificación Agroclimática de Cultivos-----47

**Tareas fundamentales de la Agroclimatología se encuentran las
siguientes -----48**

BIBLIOGRAFIA CONSULTADA.-----52

TEMA 1 CLIMA Y ATMÓSFERA

Definición del clima

Clima. Conjunto fluctuante de condiciones atmosféricas caracterizadas por los estados y desarrollo del tiempo en un área dada. (OMM)

Factores del clima.

El clima de cada lugar está definido por el régimen normal de todos los elementos climatológicos : temperatura, precipitación, viento etc. Estos regímenes cambian de un lugar a otro, son función de la situación geográfica, y los agentes que determinan en cada punto el régimen vigente para cada elemento climatológico se llaman factores del clima, es decir , son aquellas características propias y fijas de un lugar. Cada factor actúa sobre los elementos, aunque en grado desigual. Los principales factores se pueden incluir en alguno de los tres grupos siguientes: factores astronómicos, geográficos y meteorológicos.

Los factores del clima son a su vez factores del tiempo, pero no en el mismo sentido, cuando actúan como factores del tiempo lo hacen como causas físicas eficientes, y su acción está prefijada rígidamente por las leyes de física; cuando obran como factores climatológicos no se puede hablar de verdadera eficiencia física, ya que los elementos climatológicos son parámetros estadísticos y nada más . Consideremos , por ejemplo, el caso de una montaña: que un día llueva (elemento meteorológico); la presencia de la montaña condiciona (acción física) la distribución real de la lluvia en la comarca. Por otra parte, la misma montaña condiciona la distribución media anual (elemento climatológico) en la misma comarca, pero el sentido del verbo condicionar ha cambiado: la precipitación media anual no tiene existencia física y la acción del relieve sólo puede interpretarse ahora en sentido estadístico.

A continuación citaremos algunos factores de importancia:

Latitud geográfica, que determina la mayor o menor inclinación con que caen los rayos solares sobre un lugar, así como la duración de los días.

Estas diferencias son causas de que la radiación solar recibida sobre cada centímetro cuadrado de tierra sea muy diferente , y por lo tanto, que el calentamiento de la superficie terrestre sea mayor o menor.

Altitud del lugar sobre el nivel del mar, pues las capas superpuestas de la atmósfera van variando de temperatura, de humedad, etc., con la altura.

Características del suelo, por su composición, por su grado de humedad, o por la capa de vegetación o de nieve que la cubren.

Topografía (relieve de la superficie terrestre).

Continentalidad o grado de alejamiento mayor o menor con respecto a los océanos y mares, así como su situación orográfica con relación a ellos, pues esas circunstancias determinan la posibilidad menor o mayor que a el lleguen los vientos húmedos marítimos.

De igual importancia resulta la dependencia de los elementos del clima de las condiciones meteorológicas, de suerte que esas mismas, se presenten a su vez con el carácter de factores del clima: por ejemplo, la dependencia del viento con respecto a la distribución y de la presión, la relación de la radiación solar con la temperatura atmosférica, pero con respecto a estos factores, el factor regido ejerce siempre una influencia de reacción, mas o menos intensa, sobre regente, de suerte que nos vemos frente a una complicada interdependencia de causa efecto, que no es fácil de establecer a primera vista. Y por lo regular es imposible someter a cálculos exactos.

Elementos del tiempo

Los elementos del tiempo son los componentes en que para su estudio se descompone el clima. Pueden enumerarse los siguientes:

Radiación solar: flujo de energía radiante que en forma de ondas electromagnéticas llegan a la tierra procedente del sol.

Temperatura del aire: magnitud física que expresa la intensidad de movimiento de las moléculas del aire y refleja su estado calórico.

Humedad del aire: cantidad absoluta o relativa de vapor de agua que contiene la atmósfera en un momento dado.

Precipitación: es el resultado de la caída de las gotas de agua como producto de la condensación del vapor de agua suspendido en la atmósfera, incluyendo precipitaciones líquidas y sólidas.

Evaporación: proceso físico del paso del agua de estado líquido al gaseoso .

Viento: movimiento de las masas de aire que se desplaza desde las zonas de alta presión hacia las de baja presión atmosférica.

Presión atmosférica: presión que ejercen las moléculas de aire al chocar con una superficie cualquiera en todas las direcciones a consecuencia de su masa y velocidad.

Valores numéricos para caracterizar el clima

La suma

El valor más simple que sirve para caracterizar el clima es la suma de datos (Σ); ésta se calcula en primer término en caso de elementos climáticos cuyo valor en ciertos períodos pueda ser 0, Dichos factores se llaman elementos interrumpidos, o sea, no continuos, como son por ejemplo, la radiación solar o las precipitaciones.

Al contrario, en caso de los elementos que expresan una propiedad permanente (llamados elementos continuos, como por ejemplo la humedad del aire, la temperatura, la presión del aire, etc.) no se establecen las sumas, sino los valores medios.

Sin embargo, la temperatura del aire constituye una excepción, considerando que en relación con ésta, en la práctica diaria a menudo se usan valores totalizados. Las sumas de esta índole de la temperatura se llaman, en forma breve, sumas térmicas; corresponden a la simple totalización de los valores de la temperatura expresados en grados C.

La media o valor promedio

La media o valor promedio de los elementos climáticos se calcula dividiendo la suma de todos los valores observados, y totalizados de acuerdo con la regla, por el número de registros de los mismos. Así que el promedio climático, esencialmente corresponde a la media matemática.

Valores límites

Si fuera necesario obtener nociones más detalladas sobre un elemento climático, además del promedio, se deberán calcular también los valores límites que obtuviera el mencionado elemento climático en el curso del período observado. Estos límites son, el valor máximo y mínimo.

Frecuencia, probabilidad, valor probable

Además de los valores promedios y límites, constituye un concepto climático importante también el valor de frecuencia, que expresa el número de ocurrencia de los distintos valores dentro del grupo numérico observado. El valor de frecuencia, expresado en porcentajes, se llama también valor de probabilidad.

Es apropiado familiarizarnos también con el concepto de los valores probables, o sea los valores cuya ocurrencia es probable. Con el fin de obtener un aspecto claro de una mayor cantidad de números, es oportuno calcular no sólo los valores promedios; límites de frecuencia, sino también los medios así como los "cuartiles" inferior y superior, como los valores límites complementarios.

El miembro central de la cantidad de números (el denominado valor medio, por el hecho de que en la serie es igual a la ocurrencia de los números superiores e inferiores, respectivamente, al mismo), constituye simultáneamente la media matemática de la mencionada cantidad o serie. El "cuartile" inferior significa entre todos los datos, el miembro mas pequeño que forma un número equivalente a la 4ta parte, es decir, el límite superior es el número mayor de ellos. Esto quiere decir que el 25 % de los componentes de la cantidad observada es menor que el valor límite y el 75 % mayor que él. Al contrario, el "cuartile" superior lo integra el 25 % de los miembros que, a la vez, son los mayores en el conjunto de los números. Así que el valor límite del "cuartile" superior es el miembro del conjunto, del cual el 25 % de todos los números son mayores, y el 75 % menores.

Valor normal

Para caracterizar el clima es necesario utilizar datos de muchos años, llamados valores promedios de muchos años o sea, valores normales.

El período óptimo debe ser suficientemente largo para estabilizar la media aunque no tanto que se pierdan las variaciones no aleatorias, periódicas o no. Con eso se comprende que el período óptimo no puede ser el mismo para todos los elementos climatológicos, y que su fijación se convierte esencialmente en un problema experimental. En el siguiente cuadro se encontrará la estimación de los períodos óptimos según la naturaleza del elemento climatológico y la región climática, tomados de las publicaciones técnicas de la O.M.M.

ELEMENTO	ISLAS	COSTAS	LLANURAS	MONTAÑAS
Temperatura	10	15	15	25
Humedad	3	6	5	10
Nubosidad	4	4	8	12
Visibilidad	5	5	5	8
Precipitación	25	40	40	50

Atmósfera. Estructura y composición de la atmósfera

Composición de la atmósfera

La atmósfera es una capa protectora en la cual se desarrolla la vida en la tierra. Provee a los seres vivos de gases imprescindibles, forma parte importante en el ciclo hidrológico, nos sirve de protección frente a los rayos cósmicos y distribuye la energía del sol por toda la tierra.

La atmósfera no tiene una composición similar en toda su extensión, la cual alcanza varios miles de kilómetros de altura (aunque solamente unos 100 km son de interés práctico) sino que dependiendo de la temperatura o reacción química de sus componentes, presenta diferencias que pueden ser estructuradas en capas.

	% (en vol)
Nitrógeno	78.084
Oxígeno	20.946
Argón	0.934
CO ₂	0.033

La atmósfera tiene dos componentes mayoritarios que suponen el 99% de su volumen: N₂ (78.08 %) y O₂ (20.95%). Junto a éstos existen otros gases minoritarios : Argón (0.93 %) CO₂ (0.035%). Otros gases de interés presentes en la atmósfera son el vapor de agua, el ozono y diferentes óxidos de nitrógeno, azufre, etc. en cantidades muy bajas suponen casi el 100% del volumen del aire en la atmósfera a una altura de 80 km de la superficie de la Tierra. En los 5,5 kilómetros más cercanos a la superficie se encuentra la mitad de la masa total y antes de los 15 kilómetros de altura está el 95% de toda la materia atmosférica.

Existen además partículas sólidas y líquidas en suspensión (vapor de agua, polvo y otros gases); una de las más importantes es el cloruro de sodio, que se distribuye mediante las corrientes de aireación de los océanos, facilitando la condensación y precipitación. Los volcanes y la actividad humana son responsables de la emisión a la atmósfera de diferentes gases y partículas contaminantes que tienen una gran influencia en los cambios climáticos y en el funcionamiento de los ecosistemas.

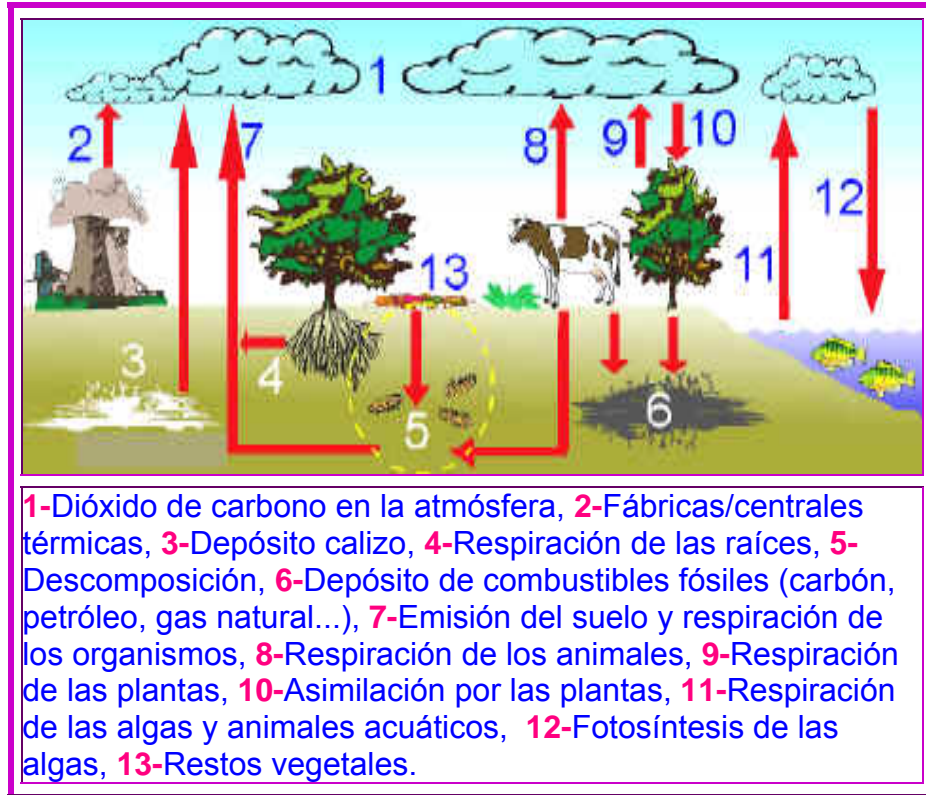
Un 20% de las partículas en suspensión tienen su origen en las actividades humanas. Muchas veces estas partículas pueden servir de núcleos de condensación en la formación de nieblas (smog o nebluno) muy contaminantes

Materiales sólidos en la atmósfera (Partículas/cm ³)	
Alta mar	1000
Alta montaña (más de 2000 m)	1000
Colinas (hasta 1000 m)	6000
Campos cultivados	10 000
Ciudad pequeña	35 000
Gran ciudad	150 000

Estabilidad de la composición atmosférica

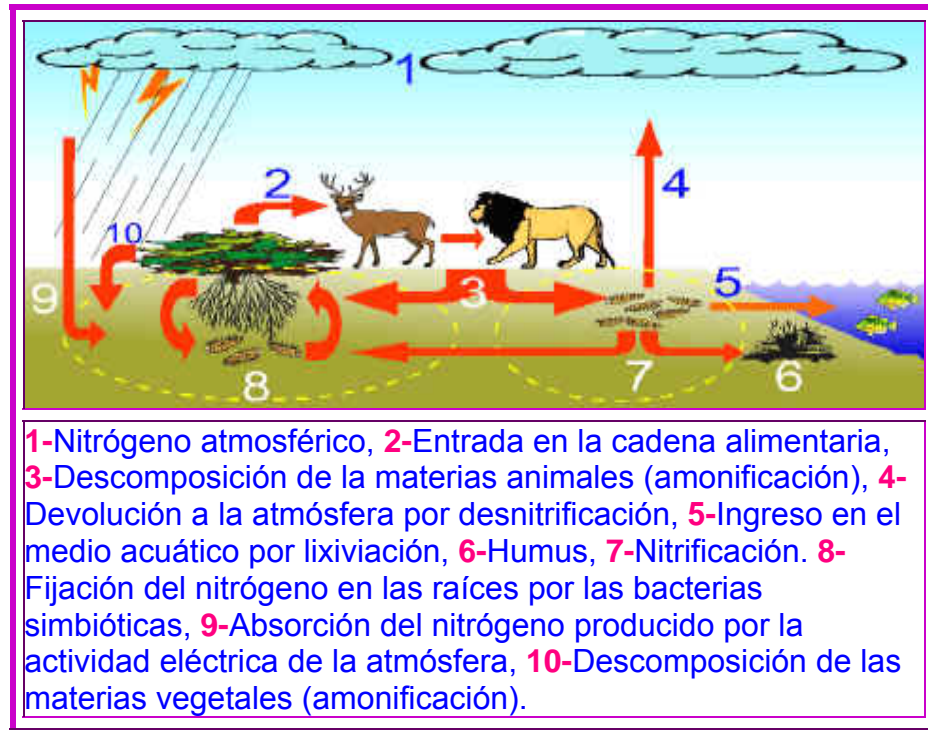
La estabilidad de la composición atmosférica se basa en la diversidad de la vida que alberga la Tierra, y en los ciclos del carbono y el nitrógeno.

El carbono es parte fundamental y soporte de los organismos vivos, discurriendo en un ciclo de energía que fluye a través del ecosistema terrestre.



Mediante el primero, el dióxido de carbono que producen los animales es utilizado por los vegetales, los cuales, tras la fotosíntesis, retienen la molécula del carbono y devuelven oxígeno a la atmósfera que será posteriormente utilizado por los animales para respirar. Por su parte, el ciclo del nitrógeno se mantiene constante gracias a animales y plantas, que lo mantienen en circulación a través de la biomasa, la litosfera y la propia atmósfera.

Los organismos vivos no pueden utilizar directamente el nitrógeno que se encuentra en la atmósfera en forma gaseosa, y que supone el 71% del total; para ello, debe ser transformado previamente en nitrógeno orgánico (nitratos o amoníaco). Esto se consigue, fundamentalmente, mediante la fijación biológica, aunque también las radiaciones cósmicas y la energía que producen los rayos en la atmósfera intervienen en este proceso en menor medida combinando nitrógeno y oxígeno que una vez transformado es enviado a la superficie terrestre por las precipitaciones.



En la fijación biológica intervienen bacterias simbióticas que viven en las raíces de las plantas, sobre todo leguminosas como el guisante, trébol o la alfalfa, pero también determinadas algas, líquenes, etc. Las bacterias se alimentan de estas plantas, pero a cambio le entregan abundantes compuestos nitrogenados. Es muy común en agricultura cultivar leguminosas en determinados terrenos pobres en nitrógeno, o que han quedado agotados por otras cosechas, para permitir rotar los sembrados en el mismo lugar.

Esa estabilidad de la atmósfera podría alterarse mediante las actividades humanas, los cuales ingresan en ese medio sustancias que le son ajenas, y que no pueden ser depuradas a mayor velocidad de lo que son generadas. En las últimas décadas se ha podido apreciar que la composición de la atmósfera está cambiando debido a la intervención del hombre. Hemos provocado, y continuamos haciéndolo, un cambio en el equilibrio de los gases que componen la atmósfera, y ello es particularmente cierto con relación a los "gases de efecto invernadero" principales, como el dióxido de carbono (CO_2), el metano (CH_4) y el óxido nitroso (N_2O). (A pesar de que el vapor de agua es el gas termoactivo más importante, las actividades del hombre no lo afectan directamente). Estos gases, que se encuentran normalmente presentes en la atmósfera, representan menos de una décima parte del 1 por ciento de la atmósfera total, pero son vitales porque actúan como una manta natural alrededor de la Tierra, sin la cual la superficie de nuestro planeta sería cerca de 30°C más fría que en la actualidad.

El problema estriba en que la actividad del hombre está "espesando" la manta. Por ejemplo, cuando quemamos carbón, petróleo y gas natural, liberamos cuantiosos volúmenes de dióxido de carbono en el aire, al igual que cuando destruimos los bosques, dejamos escapar a la atmósfera el carbono almacenado en los árboles. Otras actividades esenciales, como la cría de ganado y el cultivo de arroz, también emiten metano, óxido nitroso y otros gases de efecto invernadero. Si las emanaciones continúan aumentando al ritmo actual, es casi seguro que en el siglo XXI los niveles de dióxido de carbono en la atmósfera duplicarán los registros

preindustriales y si no se toman medidas para frenar dichas emisiones, es muy probable que los índices se triplicarán para el año 2100.

Presión atmosférica

La presión disminuye rápidamente con la altura (Ver Tabla), pero además hay diferencias de presión entre unas zonas de la troposfera y otras que tienen gran interés desde el punto de vista climatológico. Son las denominadas zonas de altas presiones, cuando la presión reducida al nivel del mar y a 0°C, es mayor de 1013 milibares o zonas de bajas presiones si el valor es menor que ese número. En meteorología se trabaja con presiones reducidas al nivel del mar y a 0°C para igualar datos que se toman a diferentes alturas y con diferentes temperaturas y poder hacer así comparaciones.

Características de la atmósfera en distintas alturas. Promedios válidos para las latitudes templadas

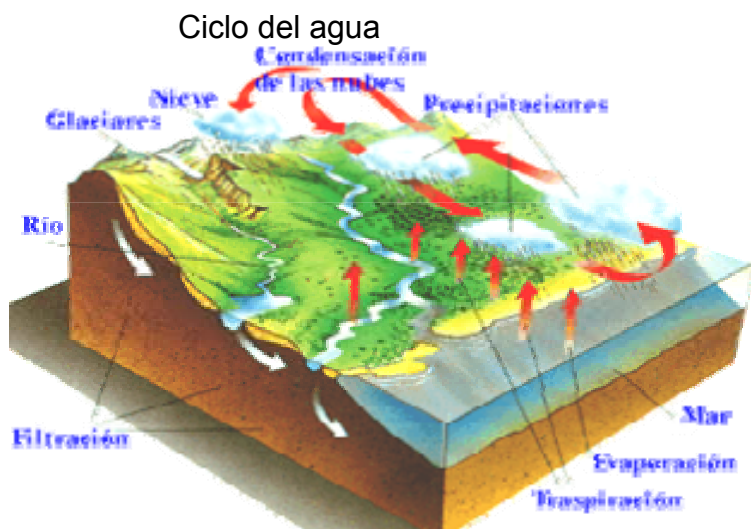
Altura (m)	Presión (milibares)	Densidad ($\text{g} \cdot \text{dm}^{-3}$)	Temperatura ($^{\circ}\text{C}$)
0	1013	1,226	15
1000	898,6	1,112	8,5
2000	794,8	1,007	2
3000	700,9	0,910	-4,5
4000	616,2	0,820	-11
5000	540	0,736	-17,5
10000	264,1	0,413	-50
15000	120,3	0,194	-56,5

El aire se desplaza de las áreas de más presión a las de menos formándose de esta forma los vientos.

Se llaman isobaras a las líneas que unen puntos de igual presión. Los mapas de isobaras son usados por los meteorólogos para las predicciones del tiempo.

El Agua en la atmósfera

La atmósfera contiene agua en forma de vapor que se comporta como un gas, pequeñas gotitas líquidas (nubes), cristallitos de hielo (nubes). El contenido en vapor de agua de la atmósfera está normalmente en el rango del 1-3% del volumen, con un promedio global del 1%. El porcentaje de agua en la atmósfera decrece rápidamente conforme se incrementa la altitud. El proceso de evaporación provoca el inicio de la circulación del agua por las diferentes esferas geográficas (atmósfera, pedosfera, biosfera y litosfera) este recorrido se conoce como ciclo hidrológico. Cada año la energía solar convierte 500 000 km^3 de agua en vapor, el que más tarde vuelve a la superficie terrestre en forma de lluvia o nieve. Al caer sobre la tierra ocurren los procesos de evapotranspiración, escurrimiento superficial, infiltración.



Se estima en unos 1400 millones de km^3 de agua en el planeta, pero la mayor parte de ella, 97,2 % es agua salada, de muy escasa utilidad para el consumo humano, sólo una pequeña parte, menos del 0,7 % es agua dulce superficial y subterránea. Constituyendo un recurso limitado que está originando una crisis mundial de abastecimiento producto del rápido crecimiento de la población, combinado con la industrialización, la urbanización, la intensificación de los cultivos agrícolas y estilos de vida que provocan un alto consumo de agua.

Humedad

Una masa de aire no puede contener una cantidad ilimitada de vapor de agua. Hay un límite a partir del cual el exceso de vapor se licua en gotitas. Este límite depende de la temperatura ya que el aire caliente es capaz de contener mayor cantidad de vapor de agua que el aire frío. Así, por ejemplo, 1 m^3 de aire a 0°C puede llegar a contener como máximo 4,85 gramos de vapor de agua, mientras que 1 m^3 de aire a 25°C puede contener 23,05 gramos de vapor de agua. Si en 1 m^3 de aire a 0°C intentamos introducir más de 4,85 gramos de vapor de agua, por ejemplo 5 gramos, sólo 4,85 permanecerán como vapor y los 0,15 gramos restantes se convertirán en agua. Con estas ideas se pueden entender los siguientes conceptos muy usados en las ciencias atmosféricas:

Humedad de saturación.- Es la cantidad máxima de vapor de agua que puede contener un metro cúbico de aire en unas condiciones determinadas de presión y temperatura.

Humedad absoluta.- Es la cantidad de vapor de agua por metro cúbico que contiene el aire que estemos analizando.

Humedad relativa.- Es la relación entre la cantidad de vapor de agua contenido realmente en el aire estudiado (humedad absoluta) y el que podría llegar a contener si estuviera saturado (humedad de saturación). Se expresa en un porcentaje. Así, por ejemplo, una humedad relativa normal junto al mar puede ser del 90% lo que significa que el aire contiene el 90% del vapor de agua que puede admitir, mientras un valor normal en una zona seca puede ser de 30%.

El vapor que se encuentra en la atmósfera procede de la evaporación del agua de los océanos, de los ríos y lagos y de los suelos húmedos. Que se evapore más o menos depende de la

temperatura y del nivel de saturación del aire, pues un aire cuya humedad relativa es baja puede admitir mucho vapor de agua procedente de la evaporación, mientras que un aire próximo a la saturación ya no admitirá vapor de agua por muy elevada que sea la temperatura.

Humedad de saturación del vapor de agua en el aire	
Temperatura °C	Saturación g · m ⁻³
- 20	0.89
-10	2.16
0	4.85
10	9.40
20	17.30
30	30.37
40	51.17

Transferencia de energía en la atmósfera

Las características físicas y químicas de la atmósfera y el balance calorífico de la Tierra viene determinado por los procesos de transferencia de energía que ocurren en la atmósfera.

El sol debido a la elevada temperatura de su superficie (6000° C)emite en general radiaciones de onda corta hacia el espacio. Esa radiación solar es la fuente principal de energía de casi todos los procesos que se producen en la atmósfera. El flujo radiante del sol que llega a la superficie de la atmósfera se denomina constante solar y como promedio es de 1312,2 kW.m² (1,88 kcal.cm².min)

No toda la energía solar que llega a la atmósfera alcanza la superficie de la tierra. Hay tres fenómenos atmosféricos que modifican la radiación solar que la atraviesa:

Dispersión: ocurre cuando las pequeñas partículas y las moléculas de gas dispersan parte de la radiación solar en direcciones aleatorias, sin alterar la longitud de onda de las mismas. La cantidad de radiación dispersada depende de dos factores: longitud de onda de la radiación y el tamaño de las partículas y moléculas de gas. En la atmósfera terrestre hay gran cantidad de partículas con tamaños en torno a las 0.5 µm que dispersan de forma preferencial las longitudes de onda menores (azul e inferiores).

Absorción: algunos gases son capaces de absorber parte de la radiación solar, convirtiéndola en calor. La absorción de energía calorífica por los gases hace que estos emitan también su propia radiación, pero de longitudes de onda mayores (infrarrojo).

Reflexión: parte de la radiación solar incidente es reflejada al espacio. Este fenómeno es atribuible en gran medida a las nubes y partículas presentes en la atmósfera.

De esta forma la intensidad disminuye entre un 17 y 25 %, el resto que alcanza la superficie terrestre sin ser modificada se denomina radiación solar directa. La radiación solar que alcanza la superficie terrestre después de ser alterada por el proceso de difusión se denomina radiación solar difusa.

No toda la radiación solar que alcanza la superficie terrestre es "usable". Al igual que ocurre en la atmósfera, la superficie terrestre refleja parte de esa radiación. Y depende de los materiales que la forman. Así la reflectividad de distintas superficies es:

Arenas: 35-45 %

Bosques de hoja caduca: 5-10%

Bosques de coníferas: 10-20%

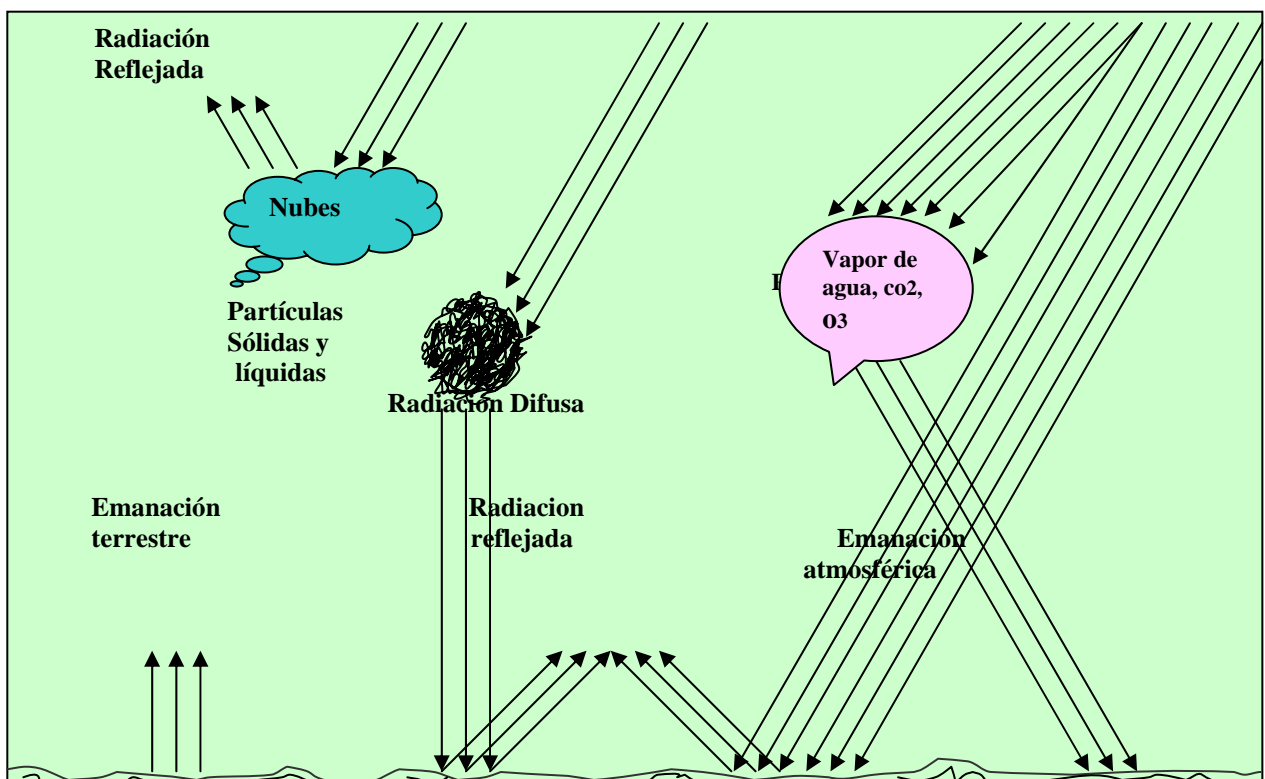
Vegetación herbácea: 15-25 %.

La cantidad de energía reflejada de forma global (nubes, difusión y reflexión de la superficie terrestre) se denomina albedo.

De forma global, la superficie terrestre absorbe 51 unidades de radiación de longitudes de onda corta y la suma de la radiación absorbida por la atmósfera y la superficie terrestre es de 70 unidades.

La energía que alcanza la superficie terrestre, es reemitida en parte en forma de longitudes de onda largas. La tierra emite 117 unidades de radiación en forma de longitudes de onda largas, de las cuales 6 abandonan la atmósfera hacia el espacio y las 111 restantes son absorbidas por algunos gases de la atmósfera convirtiéndolas en energía calorífica. Además, la tierra emite 7 unidades adicionales como calor sensible transferido a la atmósfera por conducción y convección. Del mismo modo la superficie terrestre incorpora 23 unidades de energía a la atmósfera en forma de calor latente debido a la evaporación del agua. Este calor se libera cuando el vapor de agua se condensa.

La atmósfera emite 160 unidades de energía de longitud de onda larga. Estas proceden: 111 de las emisiones de la superficie terrestre, 23 unidades de la transferencia de calor latente por parte de la superficie terrestre, 7 unidades de la transferencia de calor sensible y 19 unidades procedentes de la absorción de radiación por parte de los gases y las nubes. De estas 160 unidades 96 son transferidas de nuevo a la superficie terrestre y 64 se reemiten al espacio. Así la pérdida total de energía en forma de longitud de onda larga es de 70 unidades.



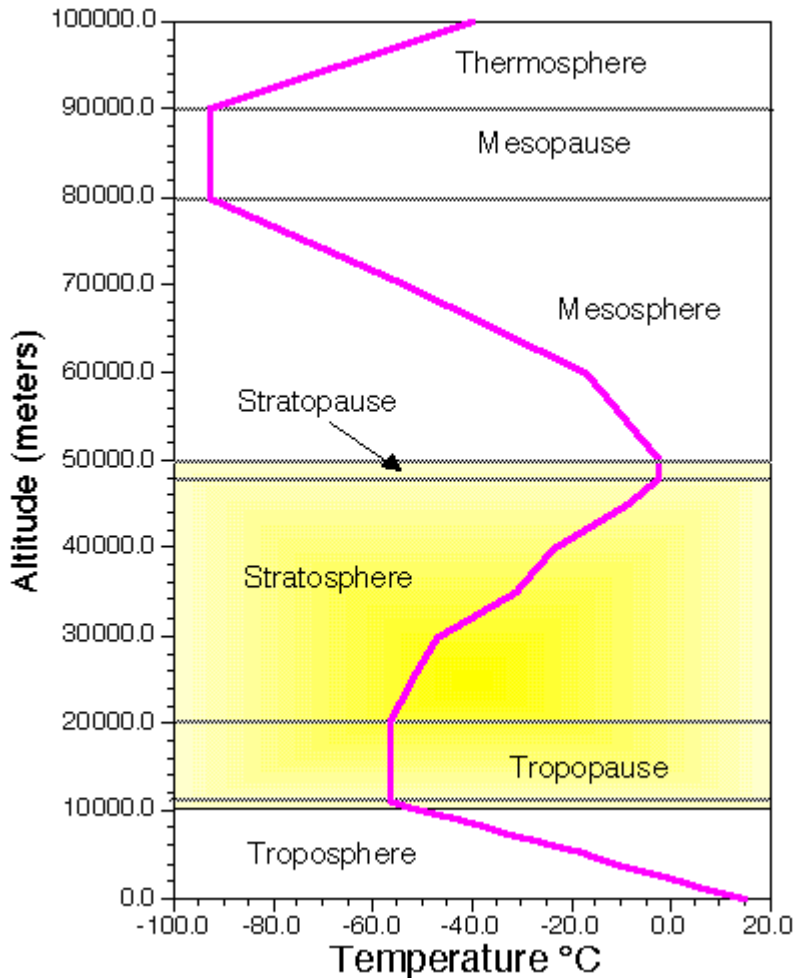
El calentamiento de la atmósfera, no es homogéneo para las diferentes latitudes del planeta en el transcurso del año por varias causas: esfericidad de la tierra, movimiento de traslación del planeta alrededor del sol, combinado con la inclinación del eje terrestre ($23^{\circ}27'$) con respecto al plano de su órbita alrededor del sol, el que se mantiene constante y en la misma dirección, provocando que los rayos solares en un momento del año incidan perpendicularmente sobre diferentes partes de la superficie terrestre comprendidas entre los $23^{\circ}27'$ de latitud norte (Trópico de Cáncer) y los $23^{\circ}27'$ (Trópico de Capricornio).

Tampoco el calentamiento de la atmósfera es homogéneo en la misma latitud, debido fundamentalmente a las diferencias de las superficies que reciben la radiación (océanos y continentes), entre otros factores geográficos.

Estructura de la atmósfera

La atmósfera contiene diferentes capas que pueden distinguirse por su composición, temperatura y densidad. La densidad de la atmósfera decrece conforme se incrementa la altitud, como consecuencia de las leyes de los gases y de la ley de la gravedad. La troposfera se extiende desde el nivel del mar hasta una altitud de 8-16 km (menor en los polos y mayor en el ecuador). Contiene aproximadamente las tres cuartas partes de la masa gaseosa de la atmósfera. Tiene una composición homogénea en gases y presenta una temperatura decreciente con la altitud. Su composición homogénea proviene de que en ella hay una continua mezcla y circulación de los gases. El extremo superior de la troposfera viene marcado por la tropopausa. A esta altura, el vapor de agua se condensa en hielo y se foto disocia por la acción de la intensa radiación ultravioleta.

La capa superior a la troposfera es la estratosfera, que se extiende entre los 20 y 48 km por encima del nivel del mar. En ella la temperatura se eleva hasta unos -2°C conforme ascendemos. Esto se debe a la presencia de ozono (O_3) en cantidades hasta 1000 veces superiores a las de la troposfera. Por encima de la estratosfera está la mesosfera que alcanza hasta los 80 km de altitud aproximadamente. En ella la temperatura desciende hasta -92°C . Por último nos encontramos con la termosfera en la que la pequeña cantidad de gas presente en ella alcanza temperaturas de hasta 1200°C por la absorción de radiaciones de alta energía.



Contaminación de la atmósfera

La contaminación del aire constituye hoy uno de los principales problemas ambientales de las ciudades del mundo, tanto en los países desarrollados como en los que están asumiendo el mayor atraso tecnológico, debido en los primeros a un alto volumen y diversificación de la producción industrial y al flujo intenso de vehículos automotores, mientras que en los segundos se debe al desarrollo no planificado de las escasas industrias, al uso de tecnologías obsoletas en la producción, los servicios y el transporte, a la mala calidad del saneamiento básico y al crecimiento urbanístico no planificado.

El aire contaminado contiene nuevas sustancias o las ya presentes en concentraciones perjudiciales para la salud o calidad de vida de los seres vivos. (obtenido del manual).

El calentamiento global es alimentado por la combustión de combustibles fósiles, las emisiones industriales, los cambios en el uso de la tierra, los procesos de fermentación de origen agropecuario y el uso de fertilizantes. Obviamente la emisión de estos gases se efectúa en diferentes proporciones y cada uno de ellos posee un potencial de calentamiento diferente. El CO₂ (Dióxido de carbono) es el responsable del 50 % de calentamiento global, el CH₄ (Metano) es responsable del 16 por ciento y posee un potencial de calentamiento 3,7 veces mayor que el

CO₂; los CFC (Clorofluorocarbonos) son responsables del 20 por ciento de las emisiones globales y poseen un potencial de calentamiento de 4000 a 10000 veces el CO₂. Aunque no existe un acuerdo general sobre el impacto y magnitud de estos cambios, las predicciones de los Modelos de Circulación General de la Atmósfera prevén aumentos de la temperatura media de la tierra que varían entre 1,5 y 4,5 grados centígrados. Por otra parte, el aumento de la temperatura no es uniforme, siendo mayor en latitudes altas y medias y menos en las regiones ecuatoriales, el hemisferio sur sufriría aumentos menores dada la mayor inercia térmica de los océanos. (tomado de la revista Indicadores Ambientales para AL)

Efecto invernadero

A largo plazo la Tierra debe liberar al espacio la misma cantidad de energía que absorbe del sol. La energía solar llega en forma de radiación de onda corta, parte de la cual es reflejada por la superficie terrestre y la atmósfera. Sin embargo, la mayor parte pasa directamente a través de la atmósfera para calentar la superficie de la Tierra. Ésta se desprende de dicha energía enviándola nuevamente al espacio en forma de radiación infrarroja, de onda larga.

El vapor de agua, el dióxido de carbono y los otros "gases de efecto invernadero" que existen en forma natural en la atmósfera, absorben gran parte de la radiación infrarroja ascendente que emite la Tierra, impidiendo que la energía pase directamente de la superficie terrestre al espacio. A su vez, procesos de acción recíproca (como la radiación, las corrientes de aire, la evaporación, la formación de nubes y las lluvias) transportan dicha energía a las capas altas de la atmósfera y de ahí se libera al espacio. Afortunadamente este proceso es muy lento e indirecto, ya que si la superficie de la Tierra pudiera irradiar libremente la energía, nuestro planeta sería un lugar frío y sin vida, tan desolado y estéril como Marte.

Gases de efecto invernadero: Son aquellos componentes gaseosos de la atmósfera, tanto naturales como antropógenos, que absorben y reemiten radiación infrarroja. Entre ellos están el dióxido de carbono (CO₂), el metano (CH₄), el óxido de dinitrógeno (N₂O), los óxidos nitrosos (NO_x), el monóxido de carbono (CO), los compuestos orgánicos volátiles diferentes al metano (COVDM) y el dióxido de azufre (SO₂).

Sustancias agotadoras de la capa de ozono: son sustancias usadas por el hombre en los procesos de su actividad económica y social que contribuyen a la disminución de la capa de ozono, entre las que se encuentran: triclorofluorometano (CFC-11), diclorodifluorometano (CFC-12), clorodifluorometano (HCFC-22), diclorofluorometano (HCFC-141b), bromuro de metilo, tetracloruro de carbono y metil cloroformo.

Al aumentar la capacidad de la atmósfera para absorber la radiación infrarroja, las emisiones de gases de efecto invernadero alteran la forma en que el clima mantiene el equilibrio entre la energía incidente y la irradiada. De no registrarse ningún otro cambio adicional, la duplicación de la concentración de gases de efecto invernadero de larga vida proyectada reduciría en un 2 por ciento la proporción de energía que nuestro planeta emite al espacio. La energía no puede acumularse sin más: el clima deberá adaptarse de alguna manera para deshacerse de ese excedente, y si bien un 2 por ciento puede no parecer mucho, tomando a la Tierra en su conjunto, ello equivale a retener el contenido energético de 3 millones de toneladas de petróleo por minuto.

Cambios climáticos

Los científicos señalan que estamos alterando el "motor" energético que acciona el sistema climático.

El Cambio Climático Global es un hecho, es por ello que los Gobiernos a nivel mundial han reaccionado ante esta amenaza cada vez más cercana: alteraciones climáticas graves que podrán colocar sus economías en peligro. El Cambio Climático Global, por otro lado, ha dejado muy clara la globalización de los problemas ambientales, es imposible e inútil enfrentar uno de los problemas más apremiantes en la temática ambiental si no es una empresa que involucre a todas las naciones.

La presión poblacional y de desarrollo tomada por las naciones más adelantadas junto con las naciones en vías de desarrollo, colocan una presión cada vez mayor sobre los recursos naturales y los sistemas ambientales terrestres. En la actualidad las capacidades autorreguladoras de la atmósfera están siendo llevadas a sus límites y según muchos, sobrepasadas.

Para poder comprender el cambio global climático y el aumento de la temperatura global se debe primero comprender el clima global y cómo opera. El clima es consecuencia del vínculo que existe entre la atmósfera, los océanos, las capas de hielos (criosfera), los organismos vivos (biosfera) y los suelos, sedimentos y rocas (geosfera). Sólo si se considera al sistema climático bajo esta visión holística, es posible entender los flujos de materia y energía en la atmósfera y finalmente comprender las causas del cambio global.

Una de las muchas amenazas a los sistemas de sostén de la vida, resulta directamente de un aumento en el uso de los recursos. La quema de combustibles fósiles y la tala y quema de bosques, liberan dióxido de carbono. La acumulación de este gas, junto con otros, atrapa la radiación solar cerca de la superficie terrestre, causando un calentamiento global. Esto podría aumentar el nivel del mar lo suficiente como para inundar ciudades costeras en zonas bajas y deltas de ríos. También alteraría drásticamente la producción agrícola internacional y los sistemas de intercambio.

Los regímenes de precipitaciones regionales podrían variar. Se prevé que el ciclo de evapotranspiración se acelerará a nivel mundial y ello implica que lloverá más. La precipitación global aumentará entre 3 y 15%, pero las lluvias también se evaporarán más rápidamente, volviendo los suelos más secos durante los períodos críticos de la temporada de cultivo. Nuevas sequías, o más intensas, en particular en los países más pobres, podrían disminuir el abastecimiento de agua potable hasta el punto que ello podría convertirse en una amenaza grave para la salud pública. Dado que los científicos todavía no tienen entera confianza en los pronósticos regionales, no se aventuran a definir con precisión las zonas del mundo expuestas a volverse más húmedas o más secas, pero, habida cuenta de que los recursos hídricos mundiales ya se hallan bajo una gran presión en virtud del rápido crecimiento demográfico y la expansión de las actividades económicas, el peligro de que ello ocurra es bien real.

Las zonas climáticas y agrícolas podrían desplazarse hacia los polos. Se prevé que en las regiones de latitud media el desplazamiento será de entre 200 y 300 km. por cada grado Celsius de calentamiento. Veranos más secos disminuirían el rendimiento de los cultivos, y es posible que las principales zonas cerealeras actuales (como las Grandes Llanuras de los Estados Unidos) experimenten sequías y golpes de calor más frecuentes. Los bordes septentrionales de las zonas agrícolas de latitud media (el norte del Canadá, Escandinavia, Rusia y el Japón en el

hemisferio norte, y el sur de Chile y la Argentina en el hemisferio austral), se beneficiarían de temperaturas más elevadas. Sin embargo, en algunas regiones lo escabroso de los terrenos y la pobreza de los suelos impedirían a esos países compensar la merma de rendimiento de las zonas hoy más productivas.

En la última década, varios modelos complejos de circulación general (GCMs) han estimado que el calentamiento global promedio será entre 1,5 y 4,5 °C, siendo la mejor estimación 2,5 °C. El derretimiento de los glaciares y la dilatación térmica de los océanos podrían aumentar el nivel del mar, amenazando las zonas costeras bajas e islas pequeñas. El nivel medio global del mar ya ha subido cerca de 15 cm en el último siglo y se prevé que el calentamiento de la Tierra ocasionará un aumento adicional de alrededor de 18 cm para el año 2030. De mantenerse la actual tendencia de las emisiones de gases termoactivos, ese aumento podría llegar a los 65 cm por encima de los niveles actuales antes del año 2100. Las tierras más vulnerables serían las regiones costeras desprotegidas y densamente pobladas de algunos de los países más pobres del mundo. Entre las víctimas probables se contaría Bangladesh, cuyas costas ya son propensas a inundaciones devastadoras, al igual que muchos pequeños estados insulares, como las Maldivas.

Soluciones a los problemas del adelgazamiento de la Capa de Ozono, al Calentamiento Global, a las alteraciones climáticas devastadoras, no son cuestión de años, ni siquiera décadas. Es por ello una preocupación que debe ser inmediata, no se podrá esperar a que los efectos se hagan notorios y claros, pues seguramente en ese momento ya será muy tarde para actuar buscando soluciones.

En la Agenda 21 de la Cumbre de Jefes de Estado de Río se plantea que la protección de la atmósfera es una labor amplia y multidimensional en la que intervienen varios sectores de la actividad económica. Se recomienda a los gobiernos y a las demás entidades que se esfuerzan por proteger la atmósfera que examinen y, cuando proceda, apliquen las opciones y medidas que se exponen en este capítulo. Se tiene presente que muchas de las cuestiones de que se trata en este capítulo se contemplan en acuerdos internacionales como el Convenio de Viena para la Protección de la Capa de Ozono de 1985, el Protocolo de Montreal relativo a las sustancias que agotan la capa de ozono de 1987, en su forma enmendada, la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático, de 1992, y otros instrumentos internacionales, incluidos los regionales. En el caso de las actividades contempladas en esos acuerdos, se entiende que las recomendaciones que figuran en este capítulo no obligan a ningún gobierno a tomar medidas que superen lo dispuesto en esos instrumentos jurídicos. No obstante, en el marco de este capítulo, los gobiernos son libres de aplicar medidas adicionales compatibles con esos instrumentos jurídicos.

Se tiene también presente que las actividades que se realicen para alcanzar los objetivos de este capítulo deberían coordinarse con el desarrollo social y económico en forma integral con el fin de evitar que tuviesen repercusiones negativas sobre este, teniendo plenamente en cuenta las legítimas necesidades prioritarias de los países en desarrollo por lo que respecta al logro del crecimiento económico sostenido y la erradicación de la pobreza.

Las evidencias indican que el clima de Cuba se ha hecho más cálido. Durante las últimas cuatro décadas la temperatura media anual ha aumentado cerca de 0,5 °C con el período más cálido en los años 80 y 90. Sin embargo, este incremento fue debido fundamentalmente a una tendencia muy marcada de ascenso de las temperaturas mínimas, que han sufrido un ascenso cerca de 1,4 °C en sus valores medios mensuales. Las tendencias en las temperaturas máximas no son significativas por lo que consecuentemente se ha registrado una disminución de la oscilación térmica media diaria de casi 2 °C.

Aunque las precipitaciones en Cuba no han mostrado variaciones significativas para períodos largos registrados, en las últimas décadas se observó un incremento de los acumulados del período poco lluvioso y un cierto9 decrecimiento en los acumulados del período lluvioso, con un incremento en las frecuencias de sequías desde 1960.

Impacto de la contaminación sobre la Salud

Las continuas alteraciones químicas y físicas del aire ejercen un notable influjo sobre la vida vegetativa, sensitiva e indirectamente síquica del ser humano que consume diariamente cerca de 25 kg de aire. Además está sometido a las radiaciones terrestres solar y cósmicas. También influyen en la salud algunos componentes que en pequeñísimas proporciones se hayan en el aire atmosférico

Con frecuencia los efectos sobre la salud derivados de la exposición cotidiana a concentraciones relativamente bajas de contaminantes atmosféricos son objeto de escasa percepción, a diferencia de lo que ocurre en memorables episodios agudos, graves, pero cada vez más infrecuentes, ocasionados por accidentes industriales, o el mantenimiento duradero de condiciones meteorológicas excepcionalmente adversas a la dispersión de estos agentes tóxicos. Hoy día, más de 1 000 millones de personas en el planeta residen en zonas urbanas expuestas a niveles de contaminantes del aire en exteriores que superan los recomendados por la Organización Mundial de la Salud (OMS). Mientras que en numerosas ciudades de países desarrollados la calidad del aire ha mejorado respecto a la existente en la década de 1970, en gran parte del mundo en desarrollo ha continuado su deterioro.

Los efectos de las exposiciones agudas, y más a menudo crónicas, a los contaminantes atmosféricos, a los niveles comúnmente observados, incluyen disminución del rendimiento físico, mayor incidencia de síntomas respiratorios, deterioro de la función pulmonar, tanto en los niños como en la población adulta supuestamente sana, agudización de las manifestaciones clínicas e incremento de la mortalidad en personas con neumatías o cardiopatías crónicas y en ancianos, incremento de la prevalencia y mortalidad por asma bronquial y de enfermedades pulmonares obstructivas crónicas, y de la incidencia de cáncer pulmonar. Estudios realizados en la Ciudad de La Habana, han reportado concentraciones elevadas de contaminantes atmosféricos en las zonas céntricas, asociadas a mayores frecuencias de enfermedades y síntomas respiratorios en grupos de riesgo residentes en las zonas más expuestas y de mayor densidad demográfica de esta capital, entre éstas el municipio Centro Habana.

Consultas de urgencia y porcentajes del total por motivo exceso PM₁₀ . de consulta atribuibles al Hospitales Pediátrico y Clínicoquirúrgico. Octubre 1996 a septiembre 1997

Indicador de morbilidad (motivo de consulta)	Consultas en exceso	Porcentaje del total
Crisis aguda de asma bronquial en niños	421	2,11
Crisis aguda de asma bronquial en	220	1,19

adultos		
Totales de crisis aguda de asma bronquial	699	1,82
Enfermedades respiratorias agudas en niños	1 009	2,48
Enfermedades respiratorias agudas en adultos	220	3,09
Totales de enfermedades respiratorias agudas	1 265	2,44
Total de consultas en exceso por estas causas	1 964	2,17

Existen evidencias de que valores promedio anuales de PM10 superiores a 30 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ son capaces de producir efectos adversos en los niños, los neumópatas crónicos y asmáticos, en los que puede incrementar la frecuencia y gravedad de los síntomas respiratorios agudos, incluyendo crisis de asma bronquial.

Concentraciones promedio-diarias ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) de contaminantes atmosféricos.
Estación de monitoreo Centro Habana. Octubre 1996-septiembre 1997

Contaminante	Percentiles				Media		
	10	30	50	70	90	99	aritmética
Humo (hollín)	8,5	15,4	22,6	31,4	51,5	86,4	27,1
Partículas $\leq 10 \mu\text{m}$	26,4	43,4	54,3	71,6	99,4	157,1	61,2
Dióxido de azufre	8,7	15,5	21,0	26,9	39,2	62,5	23,6
Dióxido de nitrógeno	3,9	8,0	10,7	13,6	19,7	30,3	11,5

Fuente: Registros mensuales. Estación de vigilancia Centro Habana.
Calidad del aire en interiores

Unos de los aspectos que considera el Programa de Calidad del Aire y Salud es el Síndrome del edificio y la vivienda enferma.

Muchos investigadores realizan la conceptualización del Edificio Problema, que es donde los sistemas de ventilación han demostrado mal funcionamiento y conceptualizan como Edificio Enfermo, donde existe una alta prevalencia de síntomas y enfermedades relacionadas con el deterioro de la calidad del aire interior.

Comúnmente los médicos consultan a pacientes que presentan estos síntomas los cuales no presentan causa evidente, y esta entidad no se diagnostica. No se trata de la causa específica de estas afectaciones a la salud, que es el deterioro del medio ambiente y los pacientes pueden continuar con estas enfermedades, incluso pueden evolucionar hacia la cronicidad o la muerte en el peor de los casos.

En Ciudad de la Habana, es donde más se trabaja la contaminación del aire interior, de los cuales señalamos algunos resultados:

- El estado de las redes de agua, la evacuación de residuos sólidos y la calidad del aire interior, son los que mayores deficiencias presentan para el diagnóstico de la vivienda enferma.
- El criterio que mayor dificultad presenta es el de las condiciones estructurales reales de la vivienda.
- El 50.2% de las viviendas encuestadas se diagnosticaron como viviendas enfermas.

Recursos del clima

Recursos de Radiación Solar.

La Radiación Fotosintéticamente Activa (RFA) es un elemento determinante en la formación de la cosecha, fluctuando los valores de la eficiencia de absorción, en esta longitud de onda, alrededor del 0,9 % de la radiación solar sumaria). La caña de azúcar puede alcanzar hasta un 1,5 %, siendo uno de los cultivos que mayor eficiencia en el uso de la radiación solar presenta. La RFA puede ser considerada, aproximadamente, como la mitad de la radiación sumaria o incidente.

Este índice se ha usado ampliamente en numerosos trabajos de Agroclimatología

La aplicación de la RFA al pronóstico de la productividad de cultivos está muy extendida mediante la utilización de modelos, entre los que se pueden citar: el WAGENINGEN, CORNF, EPIC y CERES-MAIZE. Un coeficiente de 0,50 aplicable a todos los meses y todos los ambientes es sugerido. El Instituto Experimental de Nutrición de Plantas de Roma propone un coeficiente de 0,47

El uso de la RFA por las plantas puede ser incrementado con la selección correcta de los cultivos en correspondencia con la región en que se quiere propagar, con el mejoramiento de la arquitectura de la planta dirigida a aumentar la absorción de RFA y una adecuada nutrición vegetal. Diferencias regionales en el rendimiento de la soya en Japón fueron estadísticamente analizadas en relación con las condiciones climáticas en verano, obteniéndose una relación empírica entre el rendimiento del arroz y la suma de radiación en una fase fenológica determinada .

Para caracterizar el fotoperíodo se utiliza otro índice: la duración del día en horas, minutos y segundos, de amplia utilización para determinar la actividad fotosintética de los cultivos. A partir de las diferencias en la respuesta de las plantas se establecen 3 grupos de plantas: plantas de días largos, plantas de días cortos y plantas neutras o indiferentes.

Recursos Térmicos.

Los principales índices de los recursos térmicos durante el período vegetativo activo de los cultivos son los siguientes :

Fecha de comienzo y fin del período vegetativo, por ejemplo, la fecha cuando la temperatura del aire es superior a 0, a 5, a 10 y a 15 °C. Palenzuela (1982) caracterizó este índice en el territorio nacional tomando como límites la fecha en que la temperatura del aire era superior a 20 y 25 °C, más acorde con las condiciones tropicales de Cuba.

Duración del período cálido e invernal considerando límites de temperaturas determinados.

Temperatura acumulada computada desde varios niveles de temperatura.

- Características de la intensidad de calor, en la forma de medias diurnas, en décadas y mensuales de las temperaturas extremas en la capa biológicamente activa del aire y del suelo.

Índices adicionales relacionados con características biológicas de las plantas son desarrollados como: la amplitud de la temperatura del aire, la suma de temperaturas activas y efectivas, la suma de temperaturas diurnas y nocturnas, etc. Los índices anteriores incursionan en la solución de problemas en el campo de la Bioclimatología, así los mismos han sido diseñados tomando en consideración el ritmo climático de estos elementos y su influencia en la actividad biológica de los animales y plantas, lo que constituye un paso en la impresión de un carácter biológico en los índices agroclimáticos .

El índice agroclimático mas frecuentemente usado para la evaluación de los recursos térmicos es la suma de temperaturas activas, la cual se determina por la temperatura media diaria del aire durante el período de tiempo cuando la temperatura del aire es superior a 5, 10 o 15 °C. En los trabajos agroclimatológicos el límite más usado es 10 °C. Algunos investigadores han propuesto usar las características de la radiación expresadas en unidades de calor (calorías). Este índice es poco usado por no contarse con mediciones de radiación en la mayor parte de las regiones. Budyko(1974) ha logrado establecer relaciones entre la temperatura activa acumulada y el balance de radiación.

La temperatura activa acumulada mayor que 10 °C puede ser dividida en climáticas, biológicas y bioclimáticas. La temperatura climática acumulada expresa el total de los recursos de calor de un lugar específico; la temperatura biológica acumulada expresa los requerimientos de las plantas al calor para alcanzar una fase de desarrollo determinada; y la temperatura bioclimática acumulada expresa la cantidad de calor que garantiza a la planta alcanzar un grado de desarrollo determinado cada año o en un período de 10 años, etc.

La temperatura de la superficie activa (temperatura superficial de las plantas, del suelo, etc.) puede ser tomada como una evaluación bioclimática de los recursos de calor de las plantaciones o sembrados. En varias investigaciones se ha comprobado que en condiciones despejadas y a nivel del suelo, la temperatura de las hojas es superior a la del aire en un rango de 4 - 10 °C. Al no contarse con mediciones directas, se puede utilizar la ecuación de balance propuesta por Budyko (1974).

También son utilizados índices en los que se considera la sumatoria de las diferencias entre la temperatura de la superficie activa y la temperatura media diurna, o las sumatorias de la diferencia entre dos superficies activas en diferentes condiciones de relieve Son de mucha actualidad y están ampliamente extendidas las sumas de probabilidades o probabilidades acumuladas para la evaluación agroclimática de los recursos térmicos, puesto que brinda mediante diferentes niveles de probabilidad, el potencial de las regiones agrícolas para garantizar el buen crecimiento y desarrollo del cultivo objeto de análisis

Otros índices agroclimáticos responden más estrechamente a los requerimientos agroclimáticos de los cultivos, pudiendo evaluarse sobre áreas de diferentes escalas (macro, meso y micro). Se citan a continuación algunos índices térmicos que se usan con frecuencia :

- la temperatura media diurna del aire (T_d),
- la temperatura media nocturna del aire (T_n),
- la amplitud media diurna de la temperatura del aire (A_t) y
- la acumulación de las temperaturas diurnas y nocturnas $\left(\sum T_d, \sum T_n \right)$

Estos índices han sido desarrollados por Michenko (1984) desde mediciones de muchos años de la amplitud de la temperatura del aire en Ucrania y en regiones rusas.

La mayoría de los índices propuestos no consideran la dinámica de la temperatura a lo largo del día o en los subperíodos diurnos o nocturnos. El efecto de la influencia de la amplitud de la temperatura es conocido en la literatura como Termoperiodismo de las plantas. Son muchos los países que usan estos índices de manera exitosa en el establecimiento de las regiones agroclimáticas para cultivos particulares así como en la modelación agroclimática de la productividad de las plantas y para el pronóstico de los rendimientos

Para la evaluación bioclimática más detallada de los recursos térmicos en las áreas agrícolas, especialmente con un relieve complejo, es apropiado el uso de la temperatura diurna de una superficie natural y su suma de temperaturas a una altura de 2 m de altura. Las diferencias microclimáticas y fitoclimáticas son fuertemente anuladas a causa de la mezcla, por turbulencia, en las capas bajas de la atmósfera. Cuando las condiciones de relieve son menos pronunciadas, entonces es factible ampliar el diapasón de variables hacia las temperaturas nocturnas, la amplitud de la temperatura, la temperatura de bulbo húmedo y otras.

Recursos Hídricos.

El mejor índice para la evaluación del contenido de humedad de un área es el dato sobre la humedad disponible en el suelo. La experiencia en el uso de este índice es muy aceptable para la evaluación agroclimática, sin embargo, en ocasiones por la ausencia o poca información que existe de esta variable es difícil llevar a cabo la evaluación agroclimática. Para el cálculo de la disponibilidad hídrica del suelo, se establece el balance hídrico calculando la fracción volumétrica del agua aprovechable a partir del mapa textural de suelo, o asumiendo una capacidad máxima de almacenamiento. Los siguientes índices son los más recomendados para tener un resultado confiable de la humedad de las plantas durante el período vegetativo:

- ◆ Cantidad de precipitaciones por década, mensual, estacional, anual y durante el período vegetativo (considerando la máxima, la mínima y la cantidad promedio en el período específico) .Evaporación por década, mensual , estacional, anual y durante el período específico.
- ◆ Comienzo y duración del período seco.
- ◆ Número de días con precipitación de diferentes magnitudes.
- ◆ Máximo diario de precipitaciones.
- ◆ Índices convencionales del contenido de humedad, frecuentemente llamados coeficientes .

La confiabilidad de la cantidad de precipitaciones en un período es importante por muchas razones, lo que dependerá del índice utilizado. La precipitación normal promedio se evalúa con un 50 % de probabilidad de ocurrencia, lo que resultará en un valor bajo o alto, en dependencia de la región y de la estación .El uso de las probabilidades acumuladas representadas mediante nomogramas resultan de mucha utilidad y sus valores mucho más exactos .Sin embargo, hasta aquí sólo se ha evaluado una variable de entrada en el balance de humedad, y es bien conocido que las salidas del sistema (evaporación, transpiración, etc.) a veces determinan las características del clima de ciertas localidades, por tanto se hace necesario conocer el tipo de suelo, la superficie activa, el tipo de planta, la fase de desarrollo en que se encuentra, etc.,para poder establecer mediante modelos matemáticos a partir de diferencias, razones u otras formas la magnitud de la humedad en el área evaluada .

La humedad es evaluada por muchos investigadores a partir de elementos meteorológicos que se relacionan con el uso de agua por las plantas. Así se calcula el consumo de agua por las plantas a partir de la temperatura media del aire, la suma de temperaturas diurnas, el déficit de saturación, la insolación relativa y otros .

Otros métodos ponen en función el consumo de agua de la planta de varias variables. Por ejemplo la evapotranspiración puede ser reducida de balance hídrico:

$$\sum E = P - Es - (W_1 - W_2)$$

donde **E** es la evapotranspiración en mm, **P** la precipitación en mm, **Es** el escurrimiento en mm y **W₁** y **W₂** las reservas de humedad en el suelo al inicio y al final del período vegetativo.

Otros autores proponen el uso de la temperatura del aire y otros factores climáticos.

La fórmula de Thornthwaite la cual está bastante generalizada tiene la siguiente forma:

$$E_{tp} = 1,6 \left(\frac{10\bar{T}}{J} \right)^a$$

donde **E_{tp}** es la evapotranspiración potencial (cm); \bar{T} es la temperatura mensual del aire (°C); **J** es el índice del balance térmico el cual es tomado como la suma de 12 valores mensuales del índice **i** obtenido de

acuerdo a la fórmula $i = \left(\frac{T}{5} \right)^{1,514}$; y **a** es la función cúbica de **J**. Cada vez que esta expresión es usada

se debe hacer una corrección introducida por el número de días en cada mes y por la duración de la luz del día en horas. Han sido confeccionadas tablas para simplificar el cómputo. Cuando la fórmula toma en consideración la duración del día en horas y la longitud del período para el cual **E_{tp}** es considerado, la

fórmula toma la siguiente forma : $E_{ta} = E_{tp} \left(\frac{D}{30} \cdot \frac{N}{12} \right)$

donde **E_{ta}** es la evapotranspiración actual, **D** es el número de días cubiertos y **N** la duración del día durante el período. La simplicidad y disponibilidad de los datos requeridos para el cálculo (temperatura del aire y latitud del lugar), ha posibilitado que se use ampliamente . Su desventaja radica en que no considera la influencia de la radiación y de la humedad sobre la evaporación.

La fórmula de Thornthwaite es de uso frecuente para la estimación de la evaporación, brindando mejores resultados en climas húmedos. La misma ha sido de utilidad en trabajos sobre Agroclimatología

La fórmula de Blaney - Criddle está basada en el comportamiento de la evaporación, desde pequeñas parcelas irrigadas, mediante el uso de lisímetros. La fórmula tiene la siguiente forma:

$Et = 25,4KF$ donde **Et** es la evapotranspiración (mm) en condiciones de irrigación; $F = tP$, donde **t** es la temperatura media mensual del aire (°F) y **P** es la razón en porcentaje del número de horas luz en un mes al número de horas luz en un año y **K** es un coeficiente empírico que depende del tipo de cultivo, las condiciones climáticas y la variación anual. Esta fórmula, la cual es regional de naturaleza, puede ser exitosamente usada para el cálculo de la evaporación desde superficies totalmente húmedas (evaporación potencial), semejante a las condiciones para las que se concibió. Sin embargo, Kirilova (1976) plantea que

Blaney – Criddle tienen una fórmula empírica que hace buenas estimaciones de la evapotranspiración en condiciones de aridez.

Turc obtuvo fórmulas para el cálculo de la evaporación (evaporación máxima obtenida desde una superficie totalmente humedecida, o sea, al 100 % de su capacidad de campo). Entre las fórmulas está la siguiente: $E_o = 300 + 25t + 0,05t^3$ donde E_o es la evaporación potencial (mm /año) y t es la temperatura media anual de la cuenca (°C). Para determinar la evaporación en cortos períodos de tiempo (10 días o un mes) Turc (1955) propone la siguiente

fórmula : $E_o = \frac{1}{16}(t + 2)\sqrt{Q}$ donde t es la temperatura media mensual del aire (°C) ; Q es la radiación solar global (cal/cm² día) y E_o es la evaporación (mm / 10 días).

Turc (1955) propone otra fórmula para la evaluación de la evaporación en cortos períodos de tiempo desde suelo desnudo y desde suelo cubierto con vegetación. La fórmula para la determinación de la evapotranspiración actual (mm/días) es la siguiente:

$$E = \frac{p + a + v}{\sqrt{1 + \left(\frac{p + a}{l} + \frac{v}{2l} \right)^2}}$$

donde p es la precipitación por década ; a es el cambio en el contenido de humedad del suelo en un período de 10 días ; v es el factor de vegetación el cual depende del incremento de la materia seca de las plantas , déficit de saturación del suelo, etc. ; l , caracteriza el máximo de evaporación por década desde un suelo húmedo el cual depende de la temperatura media por década del aire t y la radiación global J (cal/cm día) en la forma :

$$l = \frac{1}{16}(t + 2)\sqrt{J} \quad \text{cuando } t > 2 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$l = 0 \quad \text{cuando } t \leq 2 \text{ } ^\circ\text{C}$$

La fórmula de Turc (1955) aporta buenos resultados en condiciones de abundante humedad.

Otros métodos para el cálculo de la evaporación y la evaporación potencial se fundamentan en la ecuación de balance de agua con ciertos elementos de la ecuación de balance térmico. Entre estos se encuentran las metodologías de Penman ,Budyko y Zubenok .

Budyko (1974) propuso un método para el cálculo de la evaporación potencial desde superficies húmedas de dimensiones no tan pequeñas el cual está basado en la ecuación de balance de calor y tiene la forma siguiente:

$E_o = \frac{1}{L}(R_o - B)$ donde R_o es el balance de radiación de la superficie húmeda determinado por el cálculo de la radiación efectiva de acuerdo a la temperatura del aire; B es el flujo de calor hacia el suelo; L es el calor latente de evaporación; E_o es la evaporación potencial.

El más fundamentado de estos métodos, desde el punto de vista físico es el método para la determinación de la capacidad evaporante a través del cálculo combinado del balance de radiación, la temperatura del aire y la humedad: $E_o = \rho D(q_s - q)$ donde ρ es la densidad del aire; D es el coeficiente integral de la difusión externa; q_s es la humedad específica del aire saturado por el vapor de agua a la temperatura de la superficie θ_w ; q es la humedad específica del aire en un abrigo sicrométrico.

Budyko propuso la siguiente fórmula usando una relación lineal de la intensidad de la evaporación desde el suelo con los recursos de humedad disponibles:

$$E = E_o \quad \text{cuando} \quad \frac{W_1 + W_2}{2} \geq W_0$$

$$E = E_o \frac{w_1 + w_2}{2w_0} \quad \text{cuando} \quad \frac{W_1 + W_2}{2} < W_0$$

Aquí E y E_o son los totales mensuales de evaporación y evaporación potencial respectivamente; W_1 y W_2 son los recursos de agua productiva en la capa superior de 1 m de grosor al comienzo y al final del mes; W_0 es el valor crítico de la humedad productiva en el suelo a la cual y por encima de la cual $E = E_o$.

Han sido desarrollados índices de humedecimiento convencionales para la evaluación agroclimática en la concepción de que la dependencia de humedad de una localidad está relacionada directamente con las precipitaciones e inversamente con las pérdidas potenciales de agua. Un gran número de coeficientes o índices se han obtenido en función de las condiciones climáticas diversas a lo largo del mundo, incluyendo aquellos relacionados con cultivos específicos. A continuación se considerarán algunos de ellos con más detalle.

El índice de humedad de Shashko, $Md = P / \Sigma d$, donde P es la precipitación para un año, Σd es el déficit de saturación media acumulado para un año. El valor $Md = 0,45$ indica la correspondencia de la precipitación y

la evaporación potencial dentro de los límites de un año; cuando $Md > 0,45$ las precipitaciones exceden a la evaporación; $Md \geq 0,60$ indica que hay un exceso de humedecimiento. El valor $Md < 0,45$ es un índice de insuficiente humedad; $Md < 0,15$ indica extremas condiciones de sequía. La desventaja del índice de Shashko es que la precipitación es considerada por lo general para un año, sin embargo su significación en el invierno y en el verano no es idéntica (Shashko,1973).

El coeficiente hidrotérmico de Selianinov es también ampliamente usado para la caracterización de los

climas. Se calcula de la forma siguiente: $CHT = \frac{\sum P}{\sum T_{>10}} 10$ donde $\sum P$ es la suma de precipitaciones para

un período dado; $\sum T_{>10}$ es la suma de temperaturas para el mismo período mayores de 10 °C y reducida 10 veces, la cual convencionalmente caracteriza la evaporación potencial.

El comienzo y el final de estos períodos pueden ser calculados de acuerdo a la fórmula de interpolación del

tipo: $P = \frac{K-B}{a-B} \cdot d + 15$ donde K es el valor umbral de CHT (1,0 o 0,5), B el valor medio mensual de CHT más bajo que el valor umbral, a es el valor de CHT más alto que el umbral, mientras que d es el número de días en el mes con $CHT = B$. Como que las condiciones de humedecimiento varían entre años, es necesario calcular la variabilidad temporal.

En trabajos de aplicación, en algunos países se utiliza la diferencia entre la Evaporación Potencial (E_o) y la Evaporación Actual (E_a), equivalente a un Déficit Hídrico y es usado como un índice para llevar a cabo la irrigación así como para determinar las características cuantitativas de la sequía y de los vientos secos.

Un índice adimensional que expresa la relación entre la evaporación actual y la potencial E_a/E_o , es el Coeficiente de Cultivo. Este índice caracteriza:

- el régimen hídrico de las plantas directamente,
- el estado de abastecimiento de agua a las plantas,
- las necesidades hídricas de las plantas en relación con la evaporación potencial,
- y la humedad del suelo directamente.

En este último caso se refiere a que la relación entre la cantidad de agua disponible para las plantas y la productiva para asegurar la máxima evaporación potencial está en relación directa con E_a/E_o .

La diferencia entre la cantidad total de agua en el suelo en 1 m de la capa de suelo desde la superficie y el punto de marchitez permanente de las plantas es usado en algunos países como índice agroclimático.

Es usualmente utilizado el método de Penman (1948, 1963) para el cálculo de la evapotranspiración potencial que estima la cantidad máxima de agua que puede ser evaporada por una capa uniforme de césped corto y compacto, cuando la provisión de agua es ilimitada. En el Pronóstico de Cosechas de Frere y Popov (1980) es utilizada esta metodología (Frere, 1972) en la que se muestra la experiencia adquirida por la FAO con la fórmula de Penman durante 10 años.

La utilización de los índices anteriores estará regulado por la disponibilidad de los datos iniciales así como la laboriosidad del cómputo de los mismos.

Generalmente, los índices reflejados no consideran las características de los suelos para el cálculo de la disponibilidad de agua para los cultivos, además se basan en medias y otros estadígrafos que no consideran los riesgos del sistema agrícola. Otros no integran el componente biológico de la planta, lo que le daría el carácter sistémico al índice agroclimático. La necesidad de crear índices que cubran estas expectativas es un reclamo de estos tiempos.

TEMA 2 OBSERVACIONES AGROMETEOROLOGICAS

Tipos de observaciones agrometeorológicas.

Observaciones fenológicas.

Determinación de la densidad de siembra.

Medición de la altura de las plantas.

Determinación del grado de propagación de las malas hierbas en los sembrados.

Determinación de los deterioros de los cultivos agrícolas a causa de los fenómenos meteorológicos desfavorables.

Determinación de los deterioros de los cultivos agrícolas a causa de las plagas y enfermedades.

Observaciones de la formación de los elementos de productividad.

En la tabla siguiente brindamos algunos ejemplos de plantas y el periodo n que debemos realizar las mediciones de altura para cada una de ellas.

Nombre del cultivo	Primera medición	Ultima medición
Caña de azúcar	En caña planta, al comienzo del crecimiento del tallo. En caña soca y resoca durante el crecimiento masivo de las plantas después de corte.	Después de la interrupción del crecimiento (cuando la diferencia de altura entre una década y la siguiente no sea mayor de 3cms.
Maíz	Quinta hoja	Madurez lechosa del

		grano
Tabaco	Al final de la década siguiente al trasplante del semillero.	En las plantaciones, para producción. Cuando se separan las inflorescencias. En las plantaciones para semillas, durante la floración.

Apreciación del grado de propagación de malas hierbas.

Grado de Propagación de malas hierbas	Calificación del cultivo	Apreciación en puntos
No hay	Limpio	0
Se encuentra raramente	Malas hierbas aisladas	1
Hay pocas, las cuales se notan solo de cerca.	Invasión débil	2
Se encuentran frecuente pero no crean condiciones muy perjudiciales.	Invasión media	3
Hay muchas, creando condiciones muy perjudiciales.	Invasión grande	4

Deterioro de los sembrados por los fenómenos meteorológicos peligrosos.

Fecha del examen	No. del terreno, cultivo,	Encamado de las plantas y deterioro (orgánico	Area de difusión y peculiaridades	Causa de los deterioros e intensidad del
-------------------------	----------------------------------	--	--	---

	variedad y fase de desarrollo	dañados, grado de deterioro y abastecimiento en las plantas).	de las plantas dañadas	fenómeno que los provocó
--	-------------------------------	---	------------------------	--------------------------

Deterioro de los cultivos agrícolas por las plagas y enfermedades.

Fecha de descubrimiento	No. del terreno, cultivo, variedad y fase de desarrollo	Carácter y grado de deterioro (órganos dañados, grado de deterioro)	Area de propagación del deterioro	Especie de insecto dañino o enfermedad, lugar y área de propagación. Medidas para proteger las plantas.
--------------------------------	---	---	-----------------------------------	---

Deterioro de los cultivos agrícolas por las plagas y enfermedades.

Fecha de descubrimiento	No. del terreno, cultivo, variedad y fase de desarrollo	Carácter y grado de deterioro (órganos dañados, grado de deterioro)	Area de propagación del deterioro	Especie de insecto dañino o enfermedad, lugar y área de propagación. Medidas para proteger las plantas.
--------------------------------	---	---	-----------------------------------	---

Fases de desarrollo de algunos cultivos.

Tomate

- Brotes
- Primera hoja verdadera
- Tercera hoja verdadera

- Formación de brotes laterales
- Formación de las inflorescencias
- Floración
- Desfloración
- Maduración de los frutos

Arroz

- Germinación del grano
- Brotes
- Tercera hoja
- Formación de brotes laterales
- Crecimiento del tallo
- aparición de la panícula
- madurez lecnosa
- madurez cerea
- madurez completa

Soya

- brotes
- quinta hoja verdadera
- formación de brotes laterales
- formación
- formación de las vainas
- Maduración de las vainas.

Papa

- Brotes
- Formación de brotes laterales
- Aparición de las inflorescencia
- Floración
- Desfloración
- Marchitamiento de hojas y tallos.

ETAPAS DE DESARROLLO DEL FRIJOL (1983).

V0	V1	V2	V3	V4	R5	R6	R7	R8	R9
Fase Vegetativa					Fase reproductiva				
					Formación de estructuras vegetativas				

Siembra

primer botón floral

madurez de cosecha

Vo-germinación
 V1-emergencia
 V2-hojas primarias
 V3-2da hoja trifoliada
 V4-3ra hoja trifoliada

R5- prefloración
 R6- floración
 R7- formación de vainas
 R8- llenado de vainas
 R9- maduración

CICLO DE FORMACION DE LA COSECHA EN LAS NARANJAS TEMPRANAS EN CUBA.

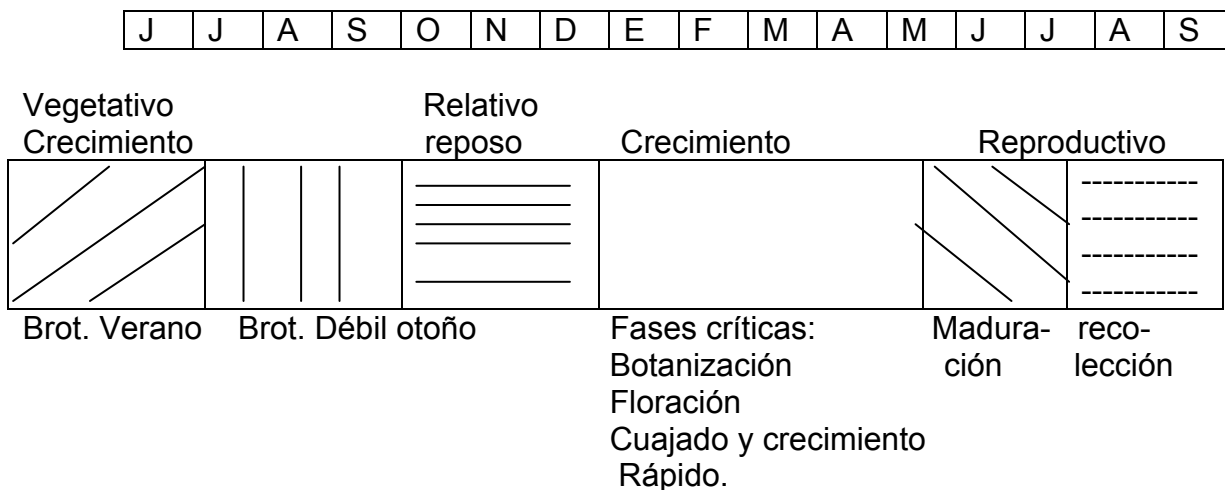


Tabla 1 Duración de las fases de desarrollo en días.

Fecha de siembra	F	E	N	O	F	A	S	E	S
	I	II	III	IV	V	VI			
29-VIII -1986	14	13	12	10	11	13			

5-XI -1986	21	5	7	4	10	21
6- I - 1987	27	8	9	8	13	12
5- II - 1987	24	10	5	9	21	9
17- III-1987	25	10	17	11	14	31
27- IV- 1987	21	14	12	14	21	25
26- V - 1987	16	20	14	7	28	15
22- VI- 1987	20	14	15	13	19	14
7- VIII- 1987	18	11	9	6	21	11
28- VIII - 1987	17	10	8	5	25	10
28- X - 1987	19	7	7	10	20	5

13.6	X	21.5	10.0	9.6	8.6	20.1
6.8	S±	3.9	4.2	3.4	2.7	5.7

- I- Germinación - 5ta hoja
- II- 5ta. Hoja inicio floración
- III- Inicio floración- formación vainas
- IV- Formación de vainas- inicio llenado
- V- Inicio llenado - fin llenado
- VI- Fin llenado- inicio maduración.

Tabla 2. Numero de días y sumatoria de las temperaturas efectivas desde la siembra en las diferentes fases en tres fechas de siembra.

FASE FENOLÓGICA.	SIEMBRAS					
	I		II		III	
	#días	Temp. efect.	#días	Temp.efect.	#días	Temp. efect.
Siembra Germinación	8	125.2	10	159.4	5	87.5
Germinación 5ta. Hoja verdadera	27	446.4	22	350.5	17	281.3
5ta. Hoja verdadera, inicio de floración	42	674.9	46	723.4	37	594.7
Inicio floración, inicio vaina	56	889.1	61	961.6	63	999.3
Inicio vaina Llenado del grano	66	1047.1	71	1124.6	72	1149.6
Llenado del grano Maduración	96	1503.3	108	1694.0	91	1448.5
Inicio maduración, cosecha.	111	1735.8	119	1872.8	99	1582.3

La planilla para la toma de datos tiene el siguiente formato

Cultivo-----
 Campo-----

Variedad-----
 Lugar-----

Fecha	Fase	Numero de plantas en fase en cada punto.				
		I	II	III	IV	%
14/4/95	Inicio floración - for. Vaina	5	4	5	6	50%
21/4/95	Inicio floración - for. Vaina	8	5	7	10	75%
28/4/95	Formación - for. Vaina	8	9	8	5	75%
	Inicio llenado - fin llenado	2	1	2	5	25%

Papel de las observaciones fenológicas

- Establecer fecha de plantación o siembra, cosecha.
- Poner en conocimiento de las empresas o acopio para su planificación
- Escalonamiento de siembra
- Comparar desarrollo de un cultivo con el habitual
- Conocer fechas de germinación, semillamiento, etc de las malezas
- Conocer fechas probables de ocurrencia de plagas y enfermedades.
- Planear regadío
- Saber cuando se producen los períodos críticos.
- Determinar correlación entre actividad biológica de los organismo y las condiciones ambientales.

TEMA 3 PRONOSTICO AGROMETEOROLOGICO

Los principios en los que se basan los estudios para obtener las ecuaciones de pronóstico son:
Paralelismo observación
Factores ecológicos \longleftrightarrow fases de desarrollo

Evaluación cuantitativa de:

- Desarrollo y estado de siembra
- Desarrollo de plagas
- Realización trabajos de campo.

Metodología para la obtencion de las relaciones cuantitativas del modelo suelo - planta - atmósfera:

Metodología de las observaciones paralelas: Se basa en las observaciones simultaneas de las condiciones del tiempo y el crecimiento, desarrollo y los rendimientos de los cultivos agrícolas.

Método acelerado de las etapas de siembra: Las plantas se siembran en el campo en diferentes etapas conduciendo. Se observaciones paralelas del desarrollo de las plantas y de las condiciones del tiempo en un mismo lugar.

Método de las siembras geográficas: Las plantas se siembras en diferentes zonas geográficas (en diferentes condiciones climáticas).

Método de variación de la agrotecnia: Se varían las condiciones Agrometeorológicas de las plantas (densidad de siembra, riego, distancia de plantación, etc).

Método de Teledetección: Se evalúan a través de helicópteros, aviones y satélites las condiciones de las plantas y del ambiente.

Método de Fitotron: Permite investigar la reacción de las plantas bajo diferentes condiciones de luz; y humedad en cámaras de clima artificial.

Método matemático - estadístico: se establecen las características de las plantas y de las condiciones del tiempo para una serie larga de años.

Método de modelación matemática: Consiste en la construcción de modelos matemáticos que permiten describir la influencia de condiciones Agrometeorológicas en el crecimiento y desarrollo de las plantas y su productividad.

MODELOS UTILIZADOS PARA EL PRONOSTICO AGROMETEOROLOGICO:

Modelos de simulación del crecimiento de los cultivos.

Modelos de análisis cultivo - ambiente.

Modelos estadísticos empíricos.

Predictores

Variables Biológicas

Duración de cada período de desarrollo

Crecimiento en altura en cada período de desarrollo.

Crecimiento en masa seca en cada período de desarrollo.

Rendimiento

Número de legumbres por planta

Masa de 100 semillas

Número de semillas por legumbres.

Precipitación

Humedad relativa

Índice fototérmico.

Variables Climáticas

- Temperatura Media

- Temperatura Máxima

- Temperatura Mínima

- Temperaturas efectivas

- Longitud del día

- Intensidad de radiación

- Sumatoria de la radiación

PARA LA ELABORACION DE UN MODELO DINAMICO DE LA POBLACION DE LA CHINCHES DE CAMPO FUERON TOMADOS EN CUANTO LOS SIGUIENTES PREDICTORES:

Los factores climáticos

Número de chinche

Estado fisiológico de las chinches (condiciones de desarrollo, etc)

Area poblada por las chinches

Area trabajada contra las chinches

La fase dinámica de las chinches

Coefficiente hidrotérmico (CHT) del período vuelo.

Contaminación de los huevos

Coefficiente de reproducción

Número de larvas

Area poblada por las larvas

Area trabajada contra las larvas

Temperatura del periodo puesta - rotura de los huevos

Estado y la fenología de las plantas huéspedes

Composición por edad de la población en la etapa de recolección de la cosecha o de eliminación de las plantas huéspedes.

Tipos de pronóstico agrometeorológicos

- Pronóstico de Riego
- Pronóstico de Plagas
- Pronóstico de Fase Fenológica
- Pronóstico de rendimiento

-Pronóstico de Riego

La disponibilidad de agua dulce es uno de los grandes desafíos que enfrenta hoy la humanidad. La agricultura de regadío es el mayor consumidor de agua y a su vez uno de los menos eficientes. El riego ha representado tradicionalmente alrededor de un 80 % del consumo de agua controlada. Se ha calculado que mientras la mayoría de los procesos industriales utilizan menos de 100 toneladas de agua por tonelada de producto final, la agricultura puede requerir más e incluso se dice que solamente el 40 % del agua suministrada llega finalmente a los cultivos.

Conocer cuanta agua gasta un cultivo es importante para que el agricultor pueda hacer un uso eficiente del recurso hídrico disponible.

La combinación del fenómeno físico conocido como evaporación y el biológico determinan un importante egreso que se denomina evapotranspiración.

En base a estos trabajos surge la idea de la evapotranspiración de referencia, es decir que se tiene una vegetación de la cual se conoce su evapotranspiración así como los parámetros climáticos que actúan sobre ella, de forma que con los coeficientes de cultivo (K_c) se puede calcular la evapotranspiración de los cultivos.

En Cuba a partir de la década de los años 80 se generaliza el uso del evaporímetro clase "A" para el pronóstico del momento de riego de los cultivos, este método ha sido denominado como bioclimático (Rey y de la Hoz). Entre sus posibilidades estaba que solamente necesitaba de un solo elemento climático a diferencia de otros métodos de mayor complejidad. Este método fue utilizado lo mismo para uso en la actividad de proyección como explotación de los sistemas de riego.

En la actualidad existen herramientas como el programa de cómputo "reference" reportado por Snyder, 1998, para el cálculo de la evapotranspiración de referencia. Smith, 1992 desarrolló un programa para el manejo y planeamiento del riego, integrado de los cultivos emitida por Doorembos y Pruitt, (1977) así como los de Doorembos y Kassam, (1979).

Metodología de trabajo

El cálculo se realiza por los métodos de Perman Monteith y Evaporímetro.

Para el pronóstico de riego fue empleada la ecuación simplificada del balance hídrico.

MESES	EVAPORIMETRO (mm/d)	PENMANMONTEITH (mm/d)
E	3.0	3.1
F	3.8	4.0
M	4.4	5.2
A	5.4	5.8
M	4.7	5.1
J	4.5	4.7
J	5.0	5.5
A	4.7	5.2
S	4.5	5.6
O	3.8	4.7
N	3.4	4.1
D	3.1	3.1

$$W_f = W_i + L_{la} + N - ET$$

W_f : Reserva final (mm)

W_i : Reserva inicial (mm)

L_{la} : Lluvia aprovechable

N : Norma de riego (mm)

ET : Evapotranspiración del cultivo (mm/días)

Ejemplo practico

Cultivo: Maíz Variedad: Criollo

Ciclo (días)	Fases de desarrollo	Kc	Eto	Ecultivo	H (m)
15	Establecimiento	0,40	4,52	1,80	0,20
60	Período Vegetativo	0,80	4,56	3,64	0,30
105	Floración	1,15	4,84	5,56	0,30
120	Maduración-Cosecha	0,70	4,59	3,67	0,30

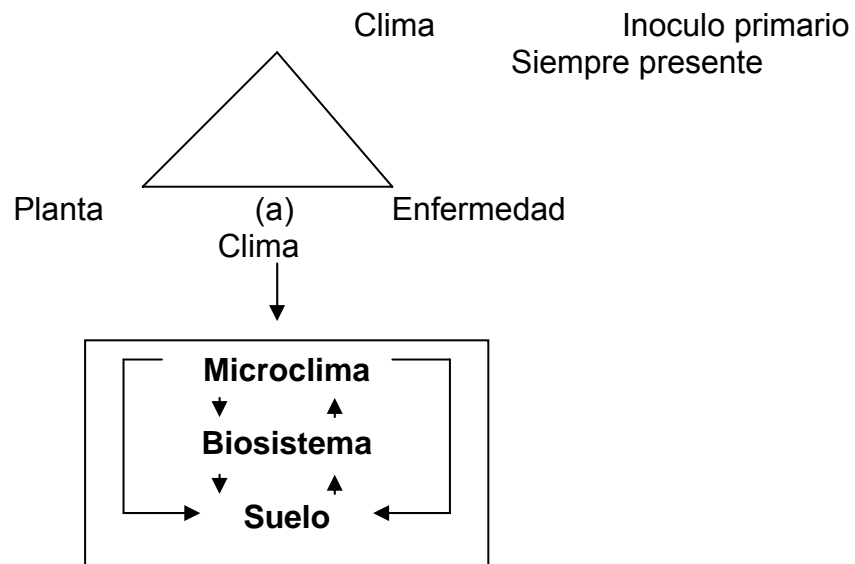
-Pronóstico de Plagas

Es conocido desde la antigüedad que el clima influye en el desarrollo de las enfermedades de las plantas y en el incremento de las poblaciones de algunas plagas. De un modo empírico, los agricultores han tenido en cuenta esta influencia y por ello tienen en cuenta las fluctuaciones climáticas a la hora de planificar sus siembras, labores y cosechas. No obstante, es

principalmente durante el siglo XX que se ha estudiado este tema con mayor profundidad y criterio científico.

Se conocen tres componentes que deben coincidir para el desarrollo de una epifitía o enfermedad en una planta: el hospedero (la planta) el patógeno (causa de la enfermedad) y el clima. De estos tres factores, el clima es el más variable. La planta puede permanecer en condiciones de susceptibilidad por un tiempo prolongado y el patógeno puede igualmente estar presente, pero la variación de las condiciones ambientales (que puede ser repentina), es quien viene a condicionar el desarrollo e intensidad de la enfermedad.

Por el ambiente en que se desarrollan la mayoría de los parásitos de plantas y animales, su ciclo de vida se encuentra influenciado y a veces condicionado por elementos meteorológicos. Estos afectan al mismo tiempo tanto la predisposición del hospedero al ataque, como el transporte de los patógenos.



Secuencia Epidemiológica

Condiciones Meteorológicas Infl.

- Inoculo primario-----Temperatura
- Liberación y transporte de patógenos---Hr --- insol--- precip viento --- 3m/seg
- Retención -----Hr sup húmeda
- Infección -----No siempre -- temp necesita humedad preceda la fase.
- Incubación----- Temperatura, Humedad Sup. Mojada.

Ej. De Modelos.

1. Modelo de simulación para enfermedad en el maíz (EPIMAY) tizón de la hoja Temp. Hr, viento, mojadura, insolación, base trihoraria, éxito indiana.
2. Para el tizón tardío de la papa.
Reglas Dutch Holandesas, Irlandesas, Noruegas, etc.

La primera señala 4 condiciones: Dentro de 10-14 días, al menos 4 horas de rocío nocturno, t min --- 10C, Nubosidad al día siguiente 80% y al menos 0,1mm de lluvia 34h previas al rocío.

Red de procesamiento de datos.

Puede ser a nivel de micro a macroescala

el servicio meteorológico requiere:

- Medidas hechas por observadores en los cultivos
- Medidas hechas por agricultores y transmitidas a central de procesamiento
- Medidas hechas tomadas en estaciones meteorológicas STANDARD.

Aplicación para protección operacional de cultivo

- Pronóstico a mediano y corto plazo
- Advertencias a mediano y corto plazo
- Pronóstico para la aplicación de productos .

Sistema de información y advertencia

Varia según el cultivo.

- Hortalizas
- Frutales

Métodos de difusión

Para difundir el pronóstico existen diversos métodos:

- Contacto personal
- Servicio postal
- Prensa -----60% de los países
- Teléfono
- Radio (85%)
- Televisión
- Videotexto
- Telex

La consideración de las condiciones meteorológicas en la prevención y el combate de las enfermedades así como el uso de sistemas de pronósticos meteorológicos y biometeorológicos, son herramientas

importantes para racionalizar el uso de agroquímicos, reducir los costos de producción y también mantener los cultivos en buenas condiciones fitosanitarias

Entendemos como sistema de pronóstico la predicción del comportamiento de un organismo nocivo y la ocurrencia de condiciones favorables para el desarrollo de dicho organismo (período crítico) y a partir de datos recopilados por largos períodos de tiempo. Por lo general, estas condiciones favorables son de carácter climático (temperatura, humedad relativa, precipitaciones, etc.), aunque a veces influyen otros factores; tal es el caso de la concentración de ozono troposférico en cuanto a la aparición de la mancha blanca en las aliáceas.

Ejemplos de algunos de los sistemas de pronóstico

Pronóstico para el tizón tardío (*Phytophthora infestans* Mont (De Bary) en papa

El pronóstico a corto plazo del tizón tardío de la papa se ha estado estudiando en el país desde 1972, algunos autores recomendaron el método gráfico móvil para el pronóstico del tizón tardío de la papa, como el más adecuado para las condiciones de Cuba, ya que por el método de Wallin se produjeron severidades acumuladas muy altas con respecto a los resultados de Hyre y col. (1959) y Kyrow (1967), mientras que por el método de Beaumont se produjeron pocos períodos críticos.

Padrón (1982), trabajó en la determinación de umbrales de lluvia para el pronóstico en La Habana, según el procedimiento de Cook y halló una línea crítica de 38 mm de lluvia mensuales de incremento a partir del mes de diciembre. Por este medio pudieron explicarse las epidemias ocurridas desde 1970 hasta 1979 en la zona, posteriormente otros, recomendaron la utilización del método de Naumova, pero con determinadas modificaciones para precisar si los períodos críticos eran responsables de focos o epidemias severas. Luego del trabajo de 11 años de observaciones (1980 – 1990) la probabilidad de ocurrencia del tizón tardío basándose en umbrales decenales favorables y no favorables a partir de las variables climáticas: temperatura mínima y máxima medias decenales del aire (T_n y T_x), la humedad relativa media decenal (HR), la suma decenal de las horas de brillo solar (BS) y un coeficiente hidrotérmico (CHT) que se obtiene de la razón de la lámina de lluvia decenal entre la suma de las temperaturas medias diarias de la decena. Con tales datos establecieron la siguiente tabla de favorabilidad:

Condiciones	Variables meteorológicas				
	Brillo solar (hs)	Temp. Máx. (°C)	Temp. Mín. (°C)	Hum. Rel. (%)	Coef. Hidrotérmico
Favorables	< 71	< 27.5	> 13 < 17.5	> 81	> 0.3
No favorables	> 71	> 27.5	< 13 > 17.5	< 81	< 0.3

Gómez (1998), recomienda un método de pronóstico a mediano plazo del tizón temprano para Cuba, teniendo en cuenta la ocurrencia o no del fenómeno ENOS, no obstante, para el pronóstico a corto plazo continúa recomendando el método de Naumova modificado.

Castellanos y col. (1989) propusieron el siguiente método como modificación del de Naumova :

- Señal de alerta cuando durante 2 días:
- HR min. >60%
- T. min. > 11°C
- T. máx. < 28°C
- ? (Período de alerta).

- Señal de aplicación contra la enfermedad cuando durante 2 días:
- HR med. > 84%
- HR min. > 60%
- T. min. > 11°C
- T. máx. <28°C
- ? (Período favorable)
- HR min. > 75%
- T. min. > 11°C
- T. máx. <25°C
- ? (Período muy favorable)

Pronóstico de Alternaria solani Sor. (tizón temprano de la papa y el tomate)

En (1990) fue propuesto por Gómez y otros colaboradores un método de pronóstico del tizón temprano en papa en el que consideran un período favorable durante dos días consecutivos cuando se presentan:

- 1.-Humedad relativa media del día > 84% ó HR mínima > 60%.
- 2.-Temperatura mínima del día > 18 °C
- 3 - Precipitaciones > 0,5 mm.

Un trabajo de validación del método de pronóstico anterior se realizó en la Empresa Cultivo Varios de Horquita durante tres campañas, y fueron evidentes altos niveles de tizón temprano sin que se produjeran períodos favorables a la enfermedad. También se obtuvieron resultados similares en un análisis retrospectivo con datos de esta empresa durante 17 campañas, al presentarse períodos escasos o nulos con humedad relativa mínima >60% o humedad relativa media > 84% durante algunas campañas y aparecer la enfermedad y alcanzar altos niveles de intensidad de ataque. Este comportamiento se le atribuyó a la menor frecuencia de los frentes fríos y su menor efecto, por estar Horquita más al centro y al sur del país con respecto a la provincia de la Habana, donde este método demostró más posibilidades

-Pronóstico de Fase Fenológica

Pronostico fenologico basado en la suma de temperaturas efectivas.

Este tipo de pronóstico sirve para conocer el momento de ocurrencia de una determinada fase, incluyendo el momento de la cosecha

$$D = D_0 + \frac{\sum te}{t - t_{mb}}$$

D- Fecha de posible aparición de la fenofase.

Do- Fecha en que se realiza el pronóstico

Σte - Suma de temperaturas efectivas

t - Temperatura media

tmb- Temperatura mínima biológica.

$$\Sigma te = n (t - tmb)$$

Temperaturas efectivas para algunos cultivos:

Papa y tomate----10⁰ C Soya----- 13⁰C

Cítricos----- 12.8⁰C Caña----- 15⁰C

-Pronóstico de rendimiento

Existen diferentes métodos de pronóstico de rendimiento

Ecuación de pronóstico de rendimiento para la soya.

$$Y=229,0608 N_{II, IV} + 0,6714Q_V + 6,5835P_{II} - 1749,6348 \quad (\text{Cruz 1991})$$

Siendo: N- Duración del fotoperiodo

Q- Radiación Global

P- Precipitación

Otro método es el de Freere y Popov (1980) basado en un criterio hídrico

	DECADAS					
	I	II	III	I	II	III
Pn						
Etr						
B						
Rs						
E/D						
I						

Pn-precipitación normal

Etr-Evapotranspiración

B-Balance (Pn-Etr)

Rs-Reserva del suelo (función de la profundidad del sistema radical)

E/D-Excesos y déficit

I-Indice

TEMA 4 AGROCLIMATOLOGIA

Clasificación de los climas

El agrupamiento sistemático de los elementos del clima en clases, según sus relaciones comunes, se puede fundamentar en gran número de parámetros; la dificultad reside en establecer criterios generales partiendo de los componentes climáticos que consideramos representativos. La primera y más generalizada regionalización se debe a los griegos, y dividía la Tierra en tres grandes zonas climáticas, basándose en la distribución de las temperaturas: tropical, templada y polar. Desde entonces pueden observarse dos tendencias principales en la clasificación, clasificaciones **genéticas**, basadas en los factores que generan la diversidad climática (circulación de la atmósfera, masas de aire, tipos de tiempo), y las llamadas **empíricas**, basadas en elementos del clima combinados en índices (grado de aridez y temperaturas).

Las principales clasificaciones son las siguientes:

Clasificación genética de [Flohn](#)

Clasificación de [Budyko](#)

Sistema de [Thornthwaite](#)

Clasificación de [Köppen](#)

Resumen del tema "Clasificación de los climas" del libro **Climatología** de Jose M^a Cuadrat y M^a Fernanda Pita

Clasificación genética de Flohn

El esquema utilizado por este autor en 1950 se fundamenta en los grandes cinturones de viento del planeta y en la precipitación. A la vez tiene en cuenta el balanceo estacional de los flujos generales de la circulación atmosférica y separa aquellas regiones dominadas todo el año

por un mismo sistema de vientos, a las que llama de **clima homogéneo**, de las sometidas a la variación estacional del movimiento del aire, denominadas de **clima heterogéneo**. En conjunto reconoce siete zonas climáticas.

<u>Tipos climáticos</u>	<u>Características pluviométricas</u>
1. Zona ecuatorial de vientos del Oeste	Siempre húmeda
2. Zona tropical de vientos alisios en verano	Precipitación en verano
3. Zona subtropical seca de vientos alisios o cinturón de altas presiones tropicales	Condiciones secas todo el año
4. Zona subtropical de lluvias invernales (tipo mediterráneo)	Precipitación en invierno
5. Zona templada de los vientos del Oeste a lo largo de todo el año	Precipitación moderada repartida
6. Zona subpolar, vientos del Este en verano	Precipitación importante a lo largo del año
6a. Zona subpolar continental	Luvia en verano; nieve temprana en invierno
7. Zona polar de vientos del Este	Precipitación débil todo el año

[Arriba](#)

Clasificación de Budyko

En 1956 el climatólogo ruso Budyko propuso una clasificación sencilla, basada en el balance de energía, que ha tenido amplia aceptación: Para ello se sirve del denominado **índice racional de sequedad (Id)**, que calcula mediante la ecuación

$$Id = R_n / (L \cdot r)$$

donde R_n es la radiación neta que puede emplearse en la evaporación de una superficie húmeda (considerando un albedo de 0.18), L es el calor latente de evaporación y r la precipitación media anual.

Los valores calculados de **Id** son inferiores a la unidad en regiones húmedas y superiores a ella en las secas. Se obtienen cinco tipos climáticos.

<u>Tipos climáticos</u>	<u>Índice racional de sequedad (Id)</u>
1. Desierto	> 3.0
2. Semidesierto	2.0 - 3.0
3. Estepa	1.0 - 2.0

4. Bosque	0.33 - 1.0
5. Tundra	< 0.33

[Arriba](#)

Sistema de Thornthwaite

Se basa en el concepto de evapotranspiración potencial y en el balance de vapor de agua, y contiene cuatro criterios básicos: índice global de humedad, variación estacional de la humedad efectiva, índice de eficiencia térmica y concentración estival de la eficacia térmica. La evapotranspiración potencial(ETP) se determina a partir de la temperatura media mensual, corregida según la duración del día; y el exceso o déficit se calcula a partir del balance de vapor de agua, considerando la humedad (Im), que junto con la ETP permite definir los tipos de clima, que se subdividen en otros en función del momento del año con exceso o falta de agua y de la concentración estacional de la eficacia térmica.

<u>En función de la humedad</u>	
<u>Tipo de clima</u>	<u>Índice de humedad</u>
A Perhúmedo	> 100
B4 Húmedo	80 - 100
B3 Húmedo	60 - 80
B2 Húmedo	40 - 60
B1 Húmedo	20 - 40
C2 Subhúmedo húmedo	0 - 20
C1 Subhúmedo seco	-33 a 0
D Semiárido	-67 a -33
E Árido	-100 a -67

<u>En función de la eficacia térmica</u>	
<u>Tipo de clima</u>	<u>ETP (CM)</u>
A' Perhúmedo	> 114
B4' Húmedo	99.7 - 114

B3' Húmedo	88.5 - 99.7
B2' Húmedo	71.2 - 88.5
B1' Húmedo	57 - 71.2
C2' Subhúmedo húmedo	42.7 - 57
C1' Subhúmedo seco	28.5 - 42.7
D' Semiárido	14.2 - 28.5
E' Árido	< 14.2

[Arriba](#)

Clasificación de Köppen

Constituye el mejor ejemplo de clasificación empírica y es uno de los esquemas más conocidos y de mayor aplicación por los geógrafos. Su idea de partida es que la vegetación natural constituye un indicador del clima, y algunas de sus categorías se apoyan precisamente en los límites climáticos de ciertas formas vegetales. Los climas son definidos por los valores medios anuales y mensuales de las temperaturas y las precipitaciones, y con estos criterios diferencia cinco grandes grupos, reconocidos mediante letras mayúsculas :

A : Clima tropical lluvioso. Todos los meses la temperatura media es superior a 18° C. No existe estación invernal y las lluvias son abundantes.

B : Climas secos. La evaporación es superior a la precipitación y no hay excedente hídrico.

C : Climas templados y húmedos. El mes más frío tiene una temperatura media comprendida entre 18° y -3° C, y la media del mes más cálido supera los 10° C.

D : Climas templados de invierno frío. la temperatura media del mes más frío es inferior a -3° C y la del mes más cálido está por encima de 10° C.

E : Climas polares. No tienen estación cálida y el promedio mensual de las temperaturas es siempre inferior a 10° C. Cuando el mes más cálido oscila entre 0 y 10° C de temperatura media, el autor diferencia el grupo ET (clima de tundra) y en el caso de que ningún mes supere los 0° C de media el grupo EF (clima de hielo permanente).

Los grupos anteriores se subdividen a su vez en subgrupos más específicos mediante letras minúsculas, con referencia a la distribución estacional de la precipitación:

f : lluvioso todo el año, ausencia de período seco.

s : presencia de estación seca en verano.

w : estación seca en invierno.

m : precipitación de tipo monzónico.

Para matizar el régimen térmico se hace uso de una tercera letra:

a : temperatura media del mes más cálido superior a 22° C

b : temperatura media del mes más cálido inferior a 22° C, pero con temperaturas medias de al menos cuatro meses superiores a 10° C

c : menos de cuatro meses tienen temperatura media superior a 10° C

d : el mes más frío está por debajo de -38° C

h : temperatura media anual superior a 18° C

k : temperatura media anual inferior a 18° C

De esta manera se obtienen los siguientes tipos de clima

<u>Fórmula climática</u>	<u>Definición</u>
Af	Selva tropical. Sin estación seca. $P_{mín} > 60$ mm
Aw	Sabana tropical. Invierno seco. $P_{mín} > 100 - P/25$
Am	Monzónico. $60 < P_{mín} < 100 - P/25$
BS	Estepa (semiárido)
BW	Desierto (árido)
Cf	Templado húmedo sin estación seca (régimen de precipitación uniforme)
Cw	Templado con invierno seco. $P_{mín} < P_{máx} / 10$
Cs	Templado con verano seco. $P_{mín} < 30$ mm y $P_{mín} < P_{máx} / 3$. Mediterráneo
Df	Bosque frío sin estación seca. Taiga régimen de precipitación uniforme.
Dw	Bosque frío con invierno seco. Taiga. $P_{mín} < P_{máx} / 10$.
ET	Tundra. Temperatura del mes más caliente superior a 0° C.
EF	Glacial. temperatura del mes más caliente inferior a 0° C.

Indices climáticos

Los índices climáticos básicamente, se dividen en dos tipos: los que se ciñen al medio físico y los que relacionan los parámetros climáticos con las especies vivas (animales y vegetales). Existen multitud de índices climáticos para cuantificar, e incluso poder llegar a sistematizar las influencias meteorológicas, donde se encuentran las diversas especies vegetales ubicadas. Asimismo, pueden valorar las áreas donde pueden habitar las distintas especies vegetales atendiendo a los factores limitantes que impone el clima para su desarrollo y supervivencia. A lo

largo de la historia se crean diferentes índices según surgen necesidades de estudio, comparación, caracterización de zonas, regiones, pisos donde habitan las especies, etc. El coeficiente hidrotérmico de Selianinov es ampliamente usado para la caracterización de los climas. Se calcula de la forma siguiente:

$$\text{CHT} = \frac{\sum P}{\sum T_{>10}} 10$$

Donde:

ΣP es la suma de precipitaciones para un período dado en mm

$\Sigma T_{>10}$ es la suma de temperaturas para el mismo período mayores de 10 °C y reducida 10 veces, la cual convencionalmente caracteriza la evaporación potencial.

>1,6 excesivamente húmedo

1,3 - 1,0 insuficiente humedad

1,0 - 0,7 seco

0,7 - 0,4 muy seco

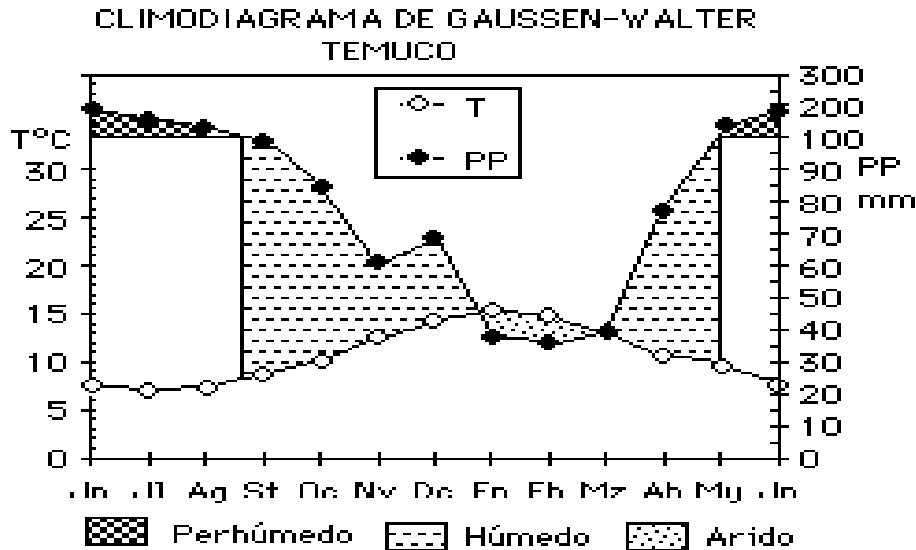
<0,4 semidesierto y desierto

Representación Gráfica de los Climas.

Los datos climáticos pueden ser representados gráficamente, de enero a diciembre, con un número variable de ordenadas, según sea la finalidad, aplicación o criterio para procesar la información. Los métodos más usados, consideran variables como la temperatura, humedad relativa y precipitación.

El diagrama climático simple es un gráfico donde los valores promedios mensuales de dos elementos climáticos, son mostrados de manera que se obtiene una curva donde se permite ver sus variaciones asociadas.

Como se muestra en la figura, en el eje de las X se plasman los meses del año y en el eje de las Y los valores mensuales de la temperatura, en grados Celsius, al lado izquierdo y la precipitación promedio al lado derecho, manteniendo la relación de un grado Celsius a 2mm de precipitación. Esta relación se aproxima vagamente a la evaporación; cuando la curva de precipitaciones está mas baja que la de temperatura, denota un período de sequía.



Zonificación Agroclimática de Cultivos.

La Naturaleza y su “sabiduría inherente” fue capaz de lograr la adaptabilidad necesaria planta - medio ambiente en diferentes paisajes, para lo cual requirió de largos plazos de tiempo. El hombre, con el objetivo de satisfacer sus necesidades alimentarias, utiliza el entorno y lo transforma. Con una alta carga empírica se descubrieron regiones idóneas para determinados cultivos, dependiendo del éxito o el fracaso alcanzado. Varias interrogantes quedan por responder de este caudal de experiencias: ¿Se “muestrearon” todas las zonas de la región para el cultivo de interés? ; ¿Existirán otros cultivos con mejor adaptabilidad a las zonas de interés?. Pues es evidente que dada la diversidad de zonas con condiciones ambientales diferentes, es posible que no se hayan considerado algunas zonas con características óptimas o que se trabaje sobre zonas limítrofes con las exigencias del cultivo.

Sobran razones para la búsqueda de agroclimas que satisfagan los requerimientos que los cultivos exigen para alcanzar su máximo potencial productivo en condiciones naturales. La Agroclimatología evalúa la aptitud de los territorios, regiones o zonas, respecto a las condiciones climáticas, para la satisfacción de los requerimientos de los sistemas agrícolas. Para el logro de estos objetivos la Agroclimatología se apoya en los Índices Agroclimáticos

Tareas fundamentales de la Agroclimatología se encuentran las siguientes

- i)Revelación de las regularidades climáticas del territorio objeto de estudio con el fin de racionalizar la utilización de los recursos ambientales.
- ii)Fundamentación climática de los métodos de manejo de la producción agrícola y de las condiciones de trabajo de la maquinaria agrícola.
- iii)Fundamentación climática de las medidas de lucha con las plagas de los cultivos.
- iv) Estudio del clima y del microclima de las plantas con el objetivo de su posible mejoramiento para la producción agrícola.

La Zonificación Agroclimática es parte de la Agroclimatología y cumple con los objetivos propuestos, siendo su propósito la división de los territorios según los grados de similitud o de

diferencia en sus condiciones climáticas relacionada con los requerimientos de los sistemas agrícolas. Ella brinda la fundamentación científica para la distribución de los renglones agrícolas espacial y temporalmente en las diferentes zonas climáticas y se apoya en las Leyes de la Diferenciabilidad de los Factores Climáticos, el de la Irreemplazabilidad de los Factores del Medio Ambiente esenciales para la vida de las plantas y en la Ley de los Factores Limitantes. La Zonificación Agroclimática le presta una gran atención a las medidas de lucha contra los fenómenos meteorológicos peligrosos para la agricultura, al aseguramiento de las condiciones ambientales requeridas por los cultivos y a la defensa de las plantas de los ataques de plagas. Por ejemplo, en Tailandia un 12,6 % del área dedicada al arroz no es sembrada, y un 20,8 % de lo sembrado no es cosechado debido a fenómenos adversos del tiempo. El uso de modelos para evaluación de impactos en el sector agropecuario debido a fenómenos climáticos y otros son de amplio uso. La Zonificación Agroclimática brinda las herramientas necesarias para el conocimiento más exacto del clima y el microclima de los sistemas agropecuarios con el fin de su mejoramiento (Rivera, 1994; Pereira, 1994; Gikuchi, 1994; Reddy, 1994). Estos estudios se desarrollan en el campo de la Agroclimatología (Rivas, 1990; Brito, 1994; Giménez, 1990 y Lazo, 1993).

La Zonificación Agroclimática se fundamenta en el hecho de que los cultivos y el ganado, para su crecimiento y desarrollo, requieren de determinadas condiciones ambientales. Si estas condiciones ambientales se presentan en exceso o en defecto se verá afectado el crecimiento y desarrollo de las plantas. De aquí se deriva que la Zonificación Agroclimática se apoya también en la Ley del Mínimo o de los Factores Limitantes y en la Teoría de la Tolerancia de Shelford en sus acepciones actuales.

Los principios en los que se fundamenta la zonificación agroclimática, que coinciden con la agroecológica, son los siguientes

Especificidad.

Para hablar de idoneidad de la tierra se debe hacer sobre la base de un uso específico, ya sea para un cultivo o explotación animal determinada, donde se destaque la coherencia entre las condiciones de la región y las exigencias de la especie a desarrollar.

2. Idoneidad sostenida.

Esta idoneidad propuesta se debe proyectar sobre la base de la sostenibilidad del proyecto de producción, sin causar degradación de los recursos medioambientales de la región.

3. Comparar distintos usos.

Se comparan diferentes usos para su evaluación, posibilitando conocer la idoneidad para uno o para varios cultivos.

4. Criterio económico - social.

Los diversos usos de la tierra se evalúan sobre la base estrictamente económica, o sea, se consideran los bienes producidos y el costo de producción de cada uno de los usos para su selección.

5. Enfoque multidisciplinario.

Para realizar una evaluación eficiente deben intervenir diferentes disciplinas, como la Edafología, la Ecología, la Fitotecnia, la Zootecnia, la Economía y la Climatología.

Existen dos tipos de Zonificación Agroclimática: la General y la Especializada. La Zonificación General caracteriza el comportamiento en el territorio de los elementos fundamentales del clima, expresando cuantitativamente el grado con que las condiciones del clima son favorables para las plantas y los animales. La Zonificación Especializada se ocupa de la caracterización de las condiciones climáticas para el buen desarrollo de las especies que componen el agroecosistema, para la definición de la fitotecnia y la evaluación de su efectividad en las

diferentes zonas edafo - climáticas .La Zonificación General aporta la fundamentación para el manejo del agroclima de los sistemas agrícolas.

La Zonificación Agroclimática es parte de la Agroecológica, que considera los factores bióticos, los edáficos y fisiográficos y los socioeconómicos, complementando el cuadro de aspectos de interés para la zonificación de cultivos. Las especies biológicas presentan determinadas exigencias a los factores ambientales. Mediante el análisis de estos factores en las zonas objeto de estudio, se puede definir la vocación de cada una de ellas para el fomento de la especie en cuestión

Los siguientes criterios han sido utilizados en la Zonificación Agroecológica : criterios de medio ambiente relativos a los recursos naturales en general, criterios de medio ambiente sociocultural,criterios de medio ambiente político/institucional y criterios de sistemas agrícola familiar.

Respecto al clima las variables son las siguientes: precipitaciones, temperatura, humedad, radiación solar, granizo y helada. Le da mayor importancia a los promedios y a los valores extremos. Además se le presta mayor atención a las diferencias y a la estacionalidad de las variables climáticas .

La Zonificación Agroclimática constituye una herramienta poderosa para los planificadores, puesto que al considerar el marco de referencia biofísico es posible el establecimiento, con mayor exactitud, de los potenciales productivos de las áreas o regiones sobre las que va a recaer el planeamiento .

Los productos agropecuarios que se encuentran deficitarios en una zona o región; las perspectivas de exportación que ofrece el mercado internacional para determinados productos; la infraestructura económica para el desarrollo de un proyecto agropecuario y otras cuestiones más pueden obtenerse mediante un diagnóstico económico, no obstante este análisis no estará completo hasta no haber establecido las características medio ambientales de las regiones donde se desarrollará la producción, sus potencialidades agroclimáticas y el grado en que se cubren las necesidades ambientales de los cultivos y el ganado, de manera que se pueda evaluar con un amplio margen las posibilidades de cubrir los costos y hacer rentable la empresa

Los estudios de Zonificación Agroclimática consideran las condiciones climáticas de las diversas áreas geográficas de un país para un cultivo dado. Algunos autores concluyen que los factores climáticos son más influyentes que los relativos al suelo, puesto que a su vez los primeros determinan las condiciones de los segundos, aunque en la región objeto de estudio se pueden encontrar bajo una misma condición climática una diversidad de caracteres edáficos contrastantes.

Es necesario concluir que la importancia radica en la consideración del análisis de sistema, capaz de integrar todos los aspectos de interés para la producción agrícola. Ningún elemento por sí solo puede aportar soluciones efectivas.

Según el grado de detalle con que se realice el trabajo, la Zonificación Agroecológica presenta tres categorías:

Primera aproximación (al nivel de zona)

Segunda aproximación (al nivel de subzona)

Tercera aproximación (al nivel de área)

Glosario Agrometeorológico

CALENDARIO DE CULTIVO. Lista de cultivos patrones de una región, en forma de calendario, dando las fechas de siembra, las fechas de cosecha y de otras operaciones agrícolas y varios estados del ciclo de crecimiento, en años de tiempo normal. (AMS)

CALIBRACION. Determinación experimental de las relaciones entre la cantidad a medir la indicación del instrumento o proceso que las mide. (GHI)

CAPACIDAD DE CAMPO (o Capacidad de retención). Cantidad de agua retenida en una muestra de suelo después de drenar el exceso de agua de gravedad. (GHI)

CLASIFICACION CLIMATICA. División de los climas de las tierras en un sistema mundial de regiones continuas, cada una de las cuales es definida por la relativa homogeneidad de los elementos climáticos.

La **clasificación** climática más antigua conocida, diseñada por los griegos, dividía simplemente cada hemisferio en un **clima** matemático de griegos, dividía simplemente cada hemisferio en un **clima** matemático de tres zonas: el “verano”, “intermedio” y el “invierno”, tomando en consideración solo las diferencias latitudinales del efecto solar (la palabra griega klima significa “inclinación”). Más recientemente estos fueron llamados zonas tórricas, templadas y frías. Aparentemente, el mayor avance sobre esto fue introducido por Alexander Supan en el siglo diez y nueve. El basó su zonificación en las temperaturas actuales en vez de las teóricas y las llamó de cinturón caliente, dos cinturones templados y dos cabos fríos. Supan también dividió el mundo en treinta y cuatro provincias climáticas, sin intentar relacionar climas similares de diferentes localidades.

Otra teoría básica y mucho más usada reconoce otros controles climáticos, así como el del sol. Los climas resultantes son el polar, templado, tropical, continental, marino, montañoso y probablemente otro con variaciones.

De las clasificaciones climáticas mayores usadas hoy en día, se usan más los de W. Köppen (1918) y C.W. Thornthwaite (1931). El elaborado “sistema geográfico climático” de Köppen está basado en los valores anuales y estacionales de la temperatura y la precipitación; sus regiones climáticas reciben una letra como código. Las mayores categorías son el **clima** lluvioso tropical, **clima** seco, **clima** lluvioso temperado, **clima** forestal nevado, **clima** de tundra y **clima** de helada permanente. En 1934 Gorczinski diseñó un sistema de número decimal similar a la **clasificación** de Köppen. El sistema bioclimatológico de Thornthwaite (1931) utiliza **índices** de efectividad de la precipitación para destacar las provincias de humedad y eficiencia térmica para las provincias de temperatura; y nuevamente un código de letra designa las regiones.

Thornthwaite en 1948, introdujo la teoría de una **clasificación** “racional”, donde la evapotranspiración potencial se usa como una medida de eficiencia térmica y es comparada a la precipitación para formar un índice de humedad y para mostrar cantidades y períodos de exceso de agua y deficiencia. Puntos de ruptura definidos se encuentran que son adaptables como límites climáticos. Muchos autores han diseñado clasificaciones modificadas para instruir una audiencia en particular. Un ejemplo es el de C.E.P. Brooks (El **clima** en la vida diaria, “Climate in Everyday Life” 1951, pp. 17-21) en donde regiones climáticas son definidas con respecto a la

“actividad humana”. (AMS)

CLIMA. Conjunto fluctuante de condiciones atmosféricas caracterizadas por los estados y desarrollo del tiempo en un área dada. (OMM)

CLIMA ARIDO. Generalmente un **clima** extremadamente seco.

Definido por C.W. Thornthwaite en 1931, en la **clasificación** climática como: una provincia de humedad dentro de la cual los valores del índice de la precipitación efectiva son menores de 16. En la escala del índice de humedad que él usó en 1948 los valores de -60 a -40 definen un **clima** árido (designado como E en ambos casos).

W. Köppen y otros han usado el término **clima** desértico para condiciones similares de extrema aridez. (AMS)

CLIMA SECO. (1) En la **clasificación** climática de W. Köppen, la mayor categoría (Climas B) que incluyen **clima** de estepa y **clima** desértico. Estos climas, contrarios a otros en su trabajo, son definidos estrictamente por la cantidad de precipitación anual como función de una distribución estacional y de la temperatura anual (véase fórmulas bajo **clima** de estepa). En contraste están los climas lluviosos.

(2) En la **clasificación** climática de C.W. Thornthwaite (1948), cualquier tipo de **clima** en el cual el exceso estacional de agua no contraría la deficiencia estacional de agua; así tiene un índice de humedad menor que cero. Este incluye los climas seco subhúmedo, semi-árido y árido. Por contraste están los climas húmedos.

CLIMAGRAMA. Gráfico, en donde los valores promedios mensuales de dos elementos climáticos, son mostrados, uno en las abscisas y otros en ordenadas, de manera que se obtiene una curva donde se permite ver sus variaciones asociadas. (OMM)

CLIMATOLOGIA AGRICOLA. (1) La climatología agrícola trata los efectos del **clima** (incluyendo su variabilidad y cambio)) en la agricultura, en su sentido más amplio.

(2) En general, la climatología aplicada a los efectos del **clima** en los cultivos. Incluye especialmente el largo del período de crecimiento, la relación entre la tasa de crecimiento y de los rendimientos con los factores climáticos y por lo tanto los climas óptimo y limitado para algún cultivo dado, el valor del riego, y el efecto de las condiciones climáticas y del tiempo en el desarrollo y dispersión de las enfermedades de los cultivos.

Esta disciplina se ocupa, en primer lugar, con el espacio ocupado por los cultivos, principalmente con el suelo y la capa de aire por encima de las plantas, donde las condiciones son regidas por el microclima. (AMS)

CLIMATOLOGIA ECOLOGICA (o Ecoclimatología). Una rama de la bioclimatología que estudia la relación entre organismos y su medio climático. Incluye las adaptaciones fisiológicas de plantas y animales a su **clima**, y la distribución geográfica de plantas y animales en relación al **clima**. (OMM)

COEFICIENTE DE ARIDEZ. Una función de la precipitación y la temperatura diseñada por W. Gorczynski para representar la relativa falta de humedad efectiva (la aridez) de un lugar. Es dado por: $(\text{factor latitud}) \times (\text{rango de temperatura}) \times (\text{relación de precipitación})$. El factor de latitud es el cosecante de la latitud (tomada como 3.0 para $0-4^\circ$). El rango de temperatura es la diferente ($^\circ\text{F}$) entre las medias de los meses más calientes y los más fríos. La relación de la precipitación es la diferencia entre los totales anuales mayores y menores (ajustados a un período de 50 años) divididos por el promedio.

El valor de este coeficiente es de cerca de 100 en el medio del Sahara; en los Estados Unidos varía desde 70 en Bagdad, California a 2 en Eureka, California. (AMS)

CONDENSACION. Transición de la fase de vapor a la fase líquida. (GHI)

(2) Proceso físico por el cual un vapor se convierte en líquido o sólido; lo contrario de evaporación. En el uso meteorológico, este término se aplica sólo a la transformación de vapor a líquido; cualquier proceso en que se forma directamente del vapor se llama sublimación y es el proceso inverso. (AMS)

CURVA ALTURA-DURACION (Curva intensidad de precipitación-duración). Curva que relaciona la altura media de precipitación en un área dada y la duración de la tormenta. (GHI)

BIBLIOGRAFIA CONSULTADA.

- Blaney, H. F., 1950. Determining Water Requirements in Irrigated Areas from Climatological and Irrigation Data. US. Dept. Agric. Soil Cons. Serv. Techn.Paper 96.
- Budyko, M. I., 1974. Climate and Life. Academic Press London, LTD.
- Byrne, G.F. , et al,1969. Simulation of a Pasture- Environment Interaction. Agric. Meteorology, Vol. 3, No. 5.
- Castellanos, L. T. Rivero, F. Mora, P. Brito, B. Rivas y J. Pajón. 2001. Nuevo sistema de pronóstico para agentes fitosanitarios.
- Cinitzina, N. I., 1973. Agroclimatología. Leningrado, Guidrometeoizdat.
- Chirkov, Y. I., 1986. Agrometeorología. Guidrometeoizdat, Leningrado, 320 pag.
- Cruz O. 1991 Estudios agrometeorológicos de la soya en Cuba Tesis de Doctorado UNAH Habana.
- De Wit, C. T. 1965. Photosynthesis of Leaf Canopies. Agric. Res. 663. Wageningen.
- FAO, 1981. Informe del Proyecto de Zonas Agroecológicas. Vol. 3. Metodología y Resultados para América del Sur y Central. Informe sobre Recursos Mundiales de Suelos. 48 / 3.
- Franquin, P., 1983. Modelos Estadísticos sobre Potenciales del Período Climático de Crecimiento de Cultivos. En: Simposio Interamericano sobre Modelos y Sistemas de Información Agroclimática. Caracas. Set., FONAIAP-BID. 151-184.
- Frere, M. y Popov, G. F., 1980. Pronóstico de Cosechas basado en Datos Agrometeorológicos. Estudio FAO : Producción y Protección Vegetal, Roma.
- Geiger, R., 1960. Clima de la Superficie del Suelo. Moscú, Editora de Literatura Extranjera.
- GlosarioAgrometeorología 2003
http://www.senamhi.gob.pe/aprendiendo/glosario/glos_agro_c.htm
- Goldsberg, I.A., 1967. Microclima de la URSS. Guidrometeoizdat, Leningrado.
- Guía elemental de la [Convención Marco de las Naciones Unidas por la Oficina de Información sobre el Cambio Climático](#). [http : medioambiente.gov.ar/acuerdos/convenciones/unfccc/ccindex.htm](http://medioambiente.gov.ar/acuerdos/convenciones/unfccc/ccindex.htm) 2002
- Gulinova, N. V. 1974. Métodos Agroclimáticos de Elaboración de las Observaciones. Guidrometeoizdat, Leningrado.
- Herrera M., 2000 .Caracterización Agroclimática de la caña en la provincia dela Habana Tesis de Doctorado UNAH Habana .
- Herrera, J., 1998. Problemas de Drenaje en Zonas Costeras. Instituto de Investigaciones en Riego y Denaje. C. Habana, Cuba. (Comunicación personal).

- ISMET . 2003 Elementos de Meteorología y Climatología Tabloide Universidad para todos.
- Jones, C.A., 1986. CERES-MAIZE. A Simulation Model of Maize Growth and Development. College Station : Texas A & M University Press.
- Kanemasu, E.T. et al., 1974. Radiant Energy and Light Environmental of Crops. Agric. Meteorology, 14, N. 1-2.
- Kirilova, L.T., 1976. Sobre la evapotranspiración y métodos para su determinación. Serie 1, Ingeniería Agronómica, Universidad de la Habana.
- Lauciani, E. et al, 1993. Photosynthetically Active Radiation (PAR). Empirical Determination and Literature Survey. FAO, Agrometeorology Series, Working Paper, Remote Sensing Centre.
- MARNR, 1990. Estudio de las Probabilidades de Lluvia para la Aplicación de Calendarios Siembra-Cosecha. Dir, Hidro-Meteorología.
- Marrero P, M. Herrera y O.Cruz 1980 Manual de Agrometeorología ENPES La Habana.
- Mayea, S., A. Alonso, J. G. Beruvides y O. Saucedo. Algunos métodos para el pronóstico del tizón en papa y las posibilidades de su utilización en Cuba. Centro Agrícola 2 (2-3), mayo-diciembre, 1975
- Michenko, Z. A., 1984. Bioclima del día y de la noche. Guidrometeoizdat, Leningrado, 279 p.
- MINAZ. 1980. Agrotecnia de la Caña de Azúcar. Editorial Ciencia y Técnica. La Habana, Cuba.
- MINAGRI. 1997. Informe Técnico de la Producción Azucarera.
- Monsi, M., 1976. The Development and Use of Physiologically Based Crop Models. Station Joseph, Michigan.
- Monteith, J.L. et al, 1962. Radiative Temperature in the Heat Balance of Natural Surface. Q.J. Royal Met. Soc., vol 88, N° 378, October.
- Norero, A., 1990. Fórmula para Estimar la Influencia de la Humedad del Suelo en la Productividad de los Cultivos. Tema II, subtemas 1 y 4. Caracas .V Jornada de Riego, 43 p.
- Padrón,J. 1982. Umbrales de lluvia para el pronóstico del tizón tardío de la papa en Cuba. Cienc. Téc. Agric., Protección de Plantas 5 (2)
- Palenzuela, E. C., 1982. Guía Climática Abreviada para los Especialistas de la Agricultura. MINAGRI. Academia de Ciencias, Cuba.
- Penman, H. L., 1963. Vegetation and Hidrology. Commonwealth Agric. Bureau.
- Retana,J.y Herrera,H. 1998 La agrometeorología en la protección agropecuaria. En: Opciones al uso unilateral de plaguicidas en Costa Rica: Pasado, presente y futuro. Volumen II. Oficina de Extensión Comunitaria y Conservación del Medio Ambiente. Universidad Estatal a Distancia. Costa Rica.
- Rey, A. G., 1979. Manual de Régimen de Riego de los Principales Cultivos de Cuba. Edit. Orbe, Ciudad de la Habana.
- Robertson, G. W. 1968. A Biometeorological Time Scale for a Cereal Crop Involving Day and Night Temperatures and Photoperiod. Int. J. Biometeor. Vol. 2, N. 3, pp. 191- 223.
- Rojas, O. 1982. Una contribución a la metodología de la zonificación ecológica de cultivos: Estudio agroclimático de la caña de azúcar en Costa Rica. Tesis para optar por el título de Ingeniero Agrónomo con Grado de Licenciado en Economía Agrícola. Univ. de Costa Rica.
- Rojas, O., 1993. Algunas aplicaciones de la agrometeorología en la seguridad alimentaria. Documento de Trabajo. Serie Agrometeorológica, Número 5. FAO, Roma, Italia.
- Schnelle, F., 1961. Fenología de las Plantas .Guidrometeizdat, Leningrado..

- Shashko, D. I. 1973. Regionalización Agroclimática de la URSS. Moscú. Edit. Kolos, 333 p.
- Stapper, M., 1980. A Dynamic Growth and Development Model for Maize. Texas Agr. Exp. Station. Temple. Texas 22.
- Thornthwaite, C. W., 1963. Topoclimatology. Proc. Toronto Meteor. Conf., 227-232.
- Tooming, J. G., 1977. Radiación Solar y Formación de la Cosecha. Guidrometeoizdat, Leningrado, 199 p.
- William, J.R., 1984. A Modelling Approach to Determining the Relationship between Erosion and Soil Productivity. Trans ASAE 27, 129-144.
- Zubenok, L. I., 1976. Evaporación en los Continentes. Leningrado. Guidrometeoizdat, 264p.