

UNIDAD 1: Meteorología. Agrometeorología. Movimiento de traslación y rotación de la tierra. Movimiento aparente del sol. Declinación, duración del día, altura del sol sobre el horizonte. Atmósfera: composición, características. Estructura de la atmósfera. Concepto de Clima. Factores y elementos del clima y fitoclima. Fenología. Escalas decimales de observación fenológica. Métodos de observación fenológica

1.- METEOROLOGÍA: Es la rama de la Física que estudia los meteoros, es decir los fenómenos atmosféricos. Dichos fenómenos pueden ser aéreos como el viento; acuosos como la lluvia y el granizo; luminosos como el arco iris o eléctricos como el rayo y la aurora boreal. Asimismo se ocupa de las causas que los originan, realiza diagnósticos del estado de la atmósfera y mediante leyes físicas o reglas es capaz de predecir el comportamiento esperado para los próximos días (1 a 15 días) y estimar el comportamiento del tiempo para períodos mayores hasta 6 meses.

Siendo la meteorología la ciencia que estudia la atmósfera se halla subdividida, para tal fin, en las siguientes ramas:

a. **Meteorología sinóptica:** Analiza los procesos atmosféricos sobre la base de observaciones simultáneas provenientes de regiones extensas. Analiza y pronostica los fenómenos meteorológicos.

b. **Meteorología dinámica:** se ocupa de las fuerzas que originan y mantienen los movimientos de las masas de aire y de los intercambios de energía vinculados..

c. **Climatología (o Meteorología Estadística)** Enfoque estadístico de los elementos meteorológicos y del conjunto de condiciones atmosféricas que caracterizan un lugar o una región.

d. **Meteorología Agrícola o Agrometeorología:** Estudia la relación entre las variables meteorológicas y las plantas –en especial cultivos-. Utiliza variables como temperatura, lluvia, viento, radiación solar y otras para realizar aplicaciones de la meteorología en la agricultura.

e. **Meteorología Aeronáutica:** aplicación de esta ciencia en problemas de aviación.

f. **Meteorología Marítima:** se relaciona con la navegación en el mar.

g. **Hidrometeorología:** estudia los problemas meteorológicos vinculados con la provisión de agua, crecidas, irrigación, etc.

h. **Meteorología Médica:** se ocupa de la influencia que el estado del tiempo y el clima ejercen sobre el organismo humano.

i. **Aerología:** estudia las condiciones imperantes en la atmósfera libre, basándose en observaciones directas.

2.- ESTADO ACTUAL Y PERSPECTIVAS: La meteorología cuenta con avanzadas técnicas observacionales, de comunicación y de procesamiento de datos. La Organización Meteorológica Mundial (OMM), coordina con los países miembros una serie de programas como el de Vigilancia Meteorológica Mundial (VMM), el Programa Mundial de Investigación Atmosférica (PMIA), el Programa Mundial del Clima (PMC) y otros.

La Meteorología puede brindar asesoramiento en:

a. Clima local o regional. Descripción del desarrollo normal del tiempo, sus variaciones y valores extremos.

b. Estado del tiempo.

c. Pronóstico del tiempo. El desarrollo futuro del tiempo en un lugar o una región.

d. Lucha contra las adversidades del tiempo; que incluye alertas, alarmas, modificación artificial del tiempo, del clima o del microclima.

Para ello se cumplen una serie de etapas que se pueden caracterizar de la siguiente manera:

a. La observación.

b. La concentración de los datos observados en centros de análisis y pronósticos.

c. El procesamiento y análisis de los datos.

En los últimos años se pone énfasis en investigaciones relacionadas con las condiciones hídricas en diversas regiones, particularmente donde la sequía causa serios inconvenientes a la población y por cierto a las actividades productivas (Revista Brasileira de Meteorologia, v.22, n.1, 75-82, 2007, [en http://www.scielo.br/pdf/rbmet/v22n1/a08v22n1.pdf](http://www.scielo.br/pdf/rbmet/v22n1/a08v22n1.pdf)).

Otro aspecto de importancia relevante tiene que ver con la salud de las personas. Por ejemplo las ‘enfermedades metaxénicas (transmitidas por vectores) en la población humana como dengue, malaria, tripanosomiasis, leishmaniasis, entre otras, transmitidas a partir de un insecto. En Venezuela las áreas endémicas de estas enfermedades se identifican con espacios geográficos con montos de precipitación y temperatura del aire que favorecen, entre otros factores, la presencia de la enfermedad: Por otra parte, algunas proyecciones de estudios sobre cambio climático señalan que existe la posibilidad de un incremento de la temperatura del aire, que estaría entre 1° C y 3° C, para las próximas décadas (Revista Geográfica Venezolana, Vol. 48(1) 2007, 83-99, en: <http://www.saber.ula.ve/bitstream/123456789/24691/2/articulo4.pdf>).

El calentamiento global es un tema relevante que los meteorólogos, organismos gubernamentales, privadas, agrupaciones y organizaciones ecologistas, de todo el planeta, vienen tratando e investigando desde hace más de dos décadas. Por la envergadura del problema se analizan y ponen en práctica medidas tendientes a mitigar los efectos actuales y futuros. Hay evidencias firmes indican que indican un calentamiento global y en consecuencia derretimiento de hielos, elevación del nivel del mar y cambios en los regímenes de variables meteorológicas.

El Dr. V. Barros trata el tema de Cambio climático global en su libro de igual denominación (buscar y ver: en <http://books.google.com.ar/books?hl=es>)

2.1.-TÉCNICAS OBSERVACIONALES: Se mencionan a continuación brevemente los sistemas observacionales, de comunicación y procesamiento de datos que se vienen utilizando en las últimas décadas.

Radar: las ondas emitidas por el radar son reflejadas por partículas de nubes, precipitaciones o vehículos portadores de instrumental, cohetes, globos sonda, paracaídas. Es ampliamente utilizado en el mundo en aeronaves -para navegación segura al corregir el rumbo evitando las tormentas convectivas-, en el trabajo operativo de las centrales meteorológicas y en la investigación. Es la herramienta fundamental en la lucha contra el granizo. En nuestro país se montó en Mendoza, desde 1978 hasta 1985, una red de radares con los que realizaron las campañas de prevención contra el granizo. En los últimos años el programa ha sido desactivado en algunas localidades. Actualmente el Servicio Meteorológico Nacional y el INTA operan una incipiente red de radares meteorológicos operativos ubicados en Anguil, Pergamino, Ezeiza y Paraná.

Cohetes meteorológicos: utilizados para realizar mediciones -mediante el instrumental que transportan- en altura de: viento, humedad, temperatura, etc.; en general se utilizan para mediciones arriba de los 30 km. Además pueden transportar y poner en órbita satélites meteorológicos.

Satélites meteorológicos: la era satelitaria en meteorología comienza en 1960 con el 1er. satélite meteorológico el TIROS I. Hay dos tipos de satélites meteorológicos:

a. *Polares (o cuasi-polares).* Orbitan alrededor de la tierra. Transmiten imágenes del campo nuboso, datos del tiempo, temperatura, humedad, etc.

b. *Geo-estacionarios:* ubicados a 36.000 km. de distancia de la tierra, en posición fija (relativa) ecuatorial. Envían datos e imágenes cada 30 minutos.

El Servicio Meteorológico Nacional (SMN) posee una estación receptora de satélites en Villa Ortuzar, Buenos Aires. Actualmente recibe datos e imágenes del satélite circumpolar NOAA dos veces por día y del geostacionario cada media hora (<http://www.smn.gov.ar/?mod=satelite&id=1>). Actualmente es posible encontrar imágenes de los satélites meteorológicos en tiempo real para regiones o países del mundo. En la página del CIMA encontrarán vínculos a sitios que presentan estas imágenes (<http://wrf.cima.fcen.uba.ar/>) , también en la página del CPTEC (<http://www.cptec.inpe.br/>) .

Estaciones meteorológicas automáticas: constan de instrumental completo para realizar las mediciones a las horas establecidas de todos los parámetros necesarios, almacenar y/o transmitirlos en tiempo real a estaciones que concentran los datos. No requieren la intervención del hombre salvo para el mantenimiento, reparación o ajuste. En los últimos años se ha incrementado el número de estaciones automáticas operativas -tanto de organismos oficiales como privados-. En Entre Ríos la Dirección de Hidráulica opera varias estaciones que ofrecen datos actuales en la página web (<http://www.hidraulica.gov.ar/>). También el Cicytpp – Conicet de Diamante cuenta con una estación y la Cátedra de Climatología Agrícola (FCA UNER) ha instalado una estación en colonia ensayo y otra en Costa Grande (<http://www.cicytpp.org.ar/climatologiafca/>).

2.2.- TÉCNICAS DE COMUNICACIÓN: Los datos meteorológicos provenientes desde zonas remotas deben ser concentrados rápidamente para proceder a realizar el análisis y el pronóstico del tiempo. Para viabilizar el intercambio de los datos se utilizaron las siguientes técnicas de telecomunicación: radio-comunicación, onda corta y onda larga; cable o comunicación por línea; microondas, faxasimilado apto para transmisión graficada; correo electrónico mediante computadoras conectadas por línea telefónica u otra forma.

2.3.- TÉCNICAS DE PROCESAMIENTO DE LOS DATOS: La llegada de la computadora ha marcado un cambio sustancial en el procesamiento del volumen de datos meteorológicos. El avance de la computación ha estado muy ligado al de la meteorología de los últimos 50 años. En general las supercomputadoras se encuentran afectadas al procesamiento de modelos numéricos, almacenamiento y procesamiento de datos meteorológicos. Las actividades se pueden resumir en:

- a. Archivo de los datos: estadística, climatología e investigación.
- b. Procesamiento estadístico de los datos.
- c. Análisis objetivo y pronóstico numérico.

Todo el proceso se realiza automáticamente en la mayoría de los centros meteorológicos.

2.4.- PERSPECTIVAS: Con la incorporación de las nuevas tecnologías –informática, satélites, modelos- se lograron importantes avances, tanto en el campo del conocimiento como en las aplicaciones o servicios.

Un esfuerzo importante se realiza a nivel mundial para poner a punto modelos numéricos de pronósticos del tiempo, en cualquier parte del mundo, a corto plazo (1 a 7 días) y a plazo extendido (hasta 15 días). Estos modelos se encuentran desarrollados y se están sometiendo a pruebas y ajustes. Desde el punto de vista del clima se llevan a cabo programas mundiales para conocer como evolucionan la desertificación, la sequía y otras alteraciones que podrían estar relacionadas con la acción del hombre -aumento de la temperatura, efecto invernadero, capa de ozono-. También se realizan investigaciones que permitirán anticipar el clima del futuro.

La *meteorología agrícola* tuvo en las últimas décadas un importante impulso y durante la presente se mantiene en un lugar de interés, porque ofrece a la empresa agropecuaria la información que hace posible disminuir los riesgos en la toma de decisiones. Durante este período se han incorporado numerosas estaciones meteorológicas automáticas en nuestro país muchas para aplicaciones relacionadas con la producción agropecuaria. Se estima que hay más de 2000 estaciones automáticas instaladas por particulares o entidades no oficiales. Se esperaba que para fin del siglo pasado (año 2000) la Inteligencia artificial se integrara a la meteorología y que hubiera alcanzado un desarrollo importante, sin embargo la complejidad de los problemas hace que el uso de los sistemas expertos aún no se haya concretado.

3.- LA ORGANIZACIÓN METEOROLOGÍA MUNDIAL

Desde la predicción meteorológica hasta la investigación sobre la contaminación del aire, pasando por el cambio climático, los estudios del agotamiento de la capa de ozono y la predicción de las tormentas tropicales, la Organización Meteorológica Mundial (OMM) coordina la actividad científica mundial para que la información meteorológica, y otros servicios lleguen con rapidez y precisión cada vez mayores al público, al usuario privado y comercial, a la navegación aérea y marítima internacional. Las actividades de la OMM contribuyen a la seguridad de vidas y bienes, al desarrollo socioeconómico de las naciones y a la protección del medio ambiente.

Con sede en Ginebra, esta Organización cuenta con 185 Miembros, forma parte de las Naciones Unidas y es la voz científica en cuanto concierne al estado y al comportamiento de la atmósfera y el clima de la Tierra.

El Convenio Meteorológico Mundial, por el que se creó la Organización Meteorológica Mundial (OMM), fue adoptado en la Duodécima Conferencia de Directores de la Organización Meteorológica Internacional (OMI) reunida en Washington en 1947. Aunque el Convenio mismo entró en vigor en 1950, la OMM inició efectivamente sus actividades como sucesora de la OMI en 1951, y, a fines de este año quedó establecida como organismo especializado de las Naciones Unidas por acuerdo concertado entre las Naciones Unidas y la OMM.

Los **fines de la OMM** son facilitar la cooperación internacional en servicios y observaciones meteorológicos, promover el intercambio rápido de información meteorológica, la normalización de las observaciones meteorológicas y la publicación uniforme de observaciones y estadísticas. También fomenta la aplicación de la meteorología a la navegación aérea y marítima, a los problemas del agua, a la agricultura y a

otras actividades humanas, promueve la hidrología operativa y estimula la investigación y capacitación en meteorología.

En junio de 1996, el número de Miembros era de 185, 179 Estados Miembros y seis Territorios Miembros, todos los cuales poseen sus propios Servicios Meteorológicos e Hidrológicos.

Los Miembros se agrupan en seis **Asociaciones Regionales: África, Asia, Europa, América del Norte y América Central, América del Sur y Sudoeste del Pacífico**. Cada una de ellas se reúne cada cuatro años, coordina las actividades de meteorología e hidrología operativa en sus regiones, y examina las cuestiones que le ha remitido el Consejo.

La OMM tiene ocho **Comisiones Técnicas** sobre: **meteorología aeronáutica; meteorología agrícola; ciencias atmosféricas; sistemas básicos; climatología; hidrología; instrumentos y métodos de observación y meteorología marina**. Cada una de ellas se reúne cada cuatro años.

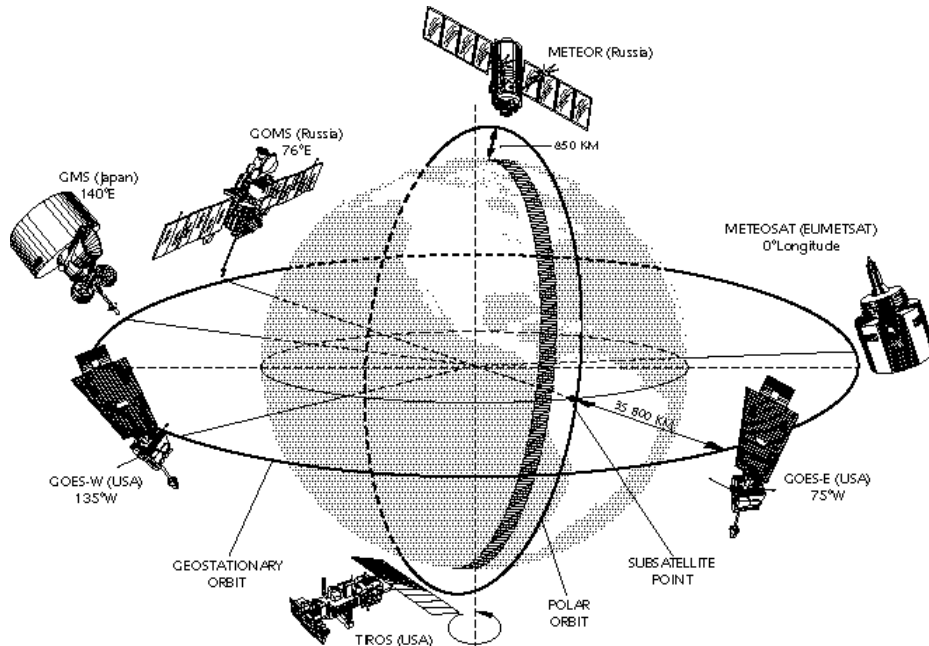


Figura 1. Red Satelital de la Vigilancia Meteorológica Mundial

PRINCIPALES PROGRAMAS DE LA OMM

Vigilancia Meteorológica Mundial

Entre los principales programas científicos y técnicos de la OMM figura la Vigilancia Meteorológica Mundial (VMM), piedra angular de las actividades de esta Organización. La VMM suministra a nivel mundial información meteorológica de última hora a través de los sistemas de observación y enlaces de telecomunicación a cargo de los Miembros que constan de los elementos siguientes: cuatro satélites de órbita polar, cinco satélites geoestacionarios (Figura 1), unas 10.000 estaciones de observación terrestres, 7.000 estaciones de buque y 300 boyas fondeadas y a la deriva equipadas con estaciones meteorológicas automáticas.

Cada día, los enlaces de gran velocidad transmiten más de 25 millones de caracteres de datos y 6.000 mapas meteorológicos a través de tres Centros Meteorológicos Mundiales, 35 Centros Meteorológicos Regionales y 183 Centros Meteorológicos Nacionales que colaboran en la preparación de análisis y predicciones meteorológicos con medios técnicos sumamente complejos. De ese modo, los buques y aeronaves transoceánicos, los científicos que investigan la contaminación del aire o el cambio climático mundial, los medios de comunicación y el público en general reciben constantemente la información reciente. Estos complejos acuerdos sobre normas, claves, medidas y comunicaciones se establecen a nivel internacional por conducto de la OMM.

Para emitir predicciones meteorológicas hacen falta datos de todo el mundo. Si no hubiera OMM, las naciones del mundo tendrían que concertar acuerdos entre sí para asegurar el intercambio y disponibilidad de datos con objeto de atender a sus necesidades nacionales, por ejemplo, las predicciones para el público y para servicios especiales destinados a distintos sectores económicos como la agricultura, los servicios públicos tales como el gas y la producción de energía hidroeléctrica, y así sucesivamente. Una aeronave no despegar, ni un buque abandona el puerto sin una predicción meteorológica. La prestación de esos servicios es parte de las responsabilidades internacionales de los distintos países, que tendrían serias dificultades para dar una

información precisa y puntual si no existiese la infraestructura mundial establecida bajo los auspicios de la OMM.

Al combinar los medios y servicios que aportan los países Miembros, la finalidad primordial del Programa es dar una información meteorológica, geofísica y ambiental conexa que les permita mantener la eficiencia de sus servicios meteorológicos. Las instalaciones y medios que se encuentran en regiones exteriores a un territorio nacional (espacio exterior, zonas oceánicas y la Antártida) son mantenidas por los Miembros con carácter voluntario. La Vigilancia Meteorológica Mundial consta de un Sistema Mundial de Observación, un Sistema Mundial de Proceso de Datos, un Sistema Mundial de Telecomunicación, Gestión de Datos y Actividad de Apoyo a los Sistemas.

Bajo el "paraguas protector" de la VMM se agrupan también las actividades satelitales y de respuesta de emergencia de la OMM; éstas últimas están relacionadas con la coordinación y aplicación de procedimientos y mecanismos de respuesta para la provisión e intercambio de datos de observación y de productos especializados en caso de accidente nuclear o de otras características, así como con el Programa de Instrumentos y Métodos de Observación y el Programa sobre Ciclones Tropicales (PCT). Este presta sustanciales contribuciones al Decenio Internacional de las Naciones Unidas para la Reducción de los Desastres Naturales; tiene la finalidad de ayudar a más de 50 países situados en zonas vulnerables a los ciclones tropicales a reducir a un mínimo los daños materiales y la pérdida de vidas humanas mediante la mejora de los sistemas de predicción y aviso y las medidas de prevención y preparación para casos de desastre.

Programa Mundial sobre el Clima

Las cuestiones relativas al clima y al cambio climático son una gran preocupación mundial en las últimas décadas. La concentración y conservación de los datos climáticos ayuda a los gobiernos a preparar planes nacionales de desarrollo y a determinar sus políticas para hacer frente al cambio de la situación. Establecido en 1979, el Programa Mundial sobre el Clima (**PMC**) tiene los componentes siguientes: Programa Mundial de Datos y Vigilancia del Clima (PMDVC), Programa Mundial de Aplicaciones y Servicios Climáticos (PMASC), Programa Mundial de Evaluación del Impacto del Clima y Estrategias de Respuesta (PMEICER) y Programa Mundial de Investigaciones Climáticas (PMIC). El PMC recibe el apoyo del Sistema Mundial de Observación del Clima (SMOC), que dará información exhaustiva sobre todo el sistema climático, abarcando todos los componentes del sistema climático: atmósfera, biosfera, criosfera y océanos.

Los objetivos del PMC son los siguientes: utilizar la información climática existente para mejorar la planificación económica y social; mejorar la comprensión de los procesos climáticos mediante la investigación, al objeto de determinar la predecibilidad del clima y el grado de influencia del hombre en el mismo y detectar, advirtiendo de ello a los gobiernos, las variaciones o cambios climáticos inminentes, naturales o de por influencia del hombre, que pueden afectar considerablemente a actividades humanas esenciales.

Programa de Investigación de la Atmósfera y el Medio Ambiente

El Programa de Investigación de la Atmósfera y el Medio Ambiente (PIAMA) coordina y fomenta la investigación sobre la estructura y composición de la atmósfera, sobre la física y química de las nubes, la modificación artificial del tiempo, la meteorología tropical y la predicción meteorológica. *Los objetivos* de este Programa principal son ayudar a los Miembros a ejecutar proyectos de investigación; difundir información científica pertinente; señalar a la atención de los Miembros, problemas de investigación pendientes de solución que revisten capital importancia; tales como la composición de la atmósfera y los cambios climáticos; y alentar y ayudar a los Miembros a que introduzcan los resultados de la investigación en la predicción operativa u otras técnicas apropiadas en actividades prácticas, en especial cuando acarrear cambios de procedimientos, para lo que es necesario la cooperación y el acuerdo internacional.

El Programa consta de la Vigilancia de la Atmósfera Global, el Programa de Investigación de la Predicción Meteorológica, el Programa de Investigación sobre Meteorología Tropical y el Programa de Investigación sobre Física y Química de las Nubes y Modificación Artificial del Tiempo.

Otra actividad de gran importancia fue la creación de la Red de Control de la Contaminación General Atmosférica (BAPMoN) cuyas observaciones aportaron entre otras cosas, la prueba de la concentración cada vez mayor de gases de efecto invernadero tales, como el CO₂ y el metano, en la atmósfera. En 1989, la red de control del ozono y la BAPMoN forman parte de la Vigilancia de la Atmósfera Global de la OMM (VAG).

Programa de Aplicaciones de la Meteorología

La aplicación de la información meteorológica a numerosas actividades humanas es soporte de proyectos nacionales de desarrollo. Por ejemplo, las pérdidas agrícolas imputables a las condiciones meteorológicas pueden acercarse al 20% de la producción anual en algunos países. Una rápida información

meteorológica puede disminuir considerablemente las pérdidas causadas por plagas y enfermedades. En las zonas propensas a la sequía, como el Sahel africano, por ejemplo, la utilización de boletines agrometeorológicos ajustados a esa zona permite aumentar los rendimientos de los cultivos.

El *Programa de Aplicaciones de la Meteorología* está destinado a ayudar a los Miembros en la aplicación de la meteorología y la climatología al desarrollo social y económico, la protección de la vida y de los bienes materiales y el bienestar de la humanidad. Los cuatro componentes de este Programa son: *Programa de Meteorología Agrícola*, *Programa de Meteorología Aeronáutica*, *Programa de Meteorología Marina* y *Actividades Oceanográficas Conexas* y *Programa de Servicios Meteorológicos para el Público*.

Programa de Hidrología y Recursos Hídricos

El Programa de Hidrología y Recursos Hídricos concentra su acción en el fomento de la cooperación a escala mundial en la evaluación de los recursos hídricos y la creación de redes y servicios hidrológicos, la concentración y proceso de datos, la predicción y avisos hidrológicos y el suministro de datos meteorológicos e hidrológicos con fines de diseño. Los tres componentes del Programa son: Programa de Hidrología Operativa, Sistemas Básicos, Programa de Hidrología Operativa_Aplicaciones y Medio Ambiente, y Programa sobre Cuestiones Relacionadas con el Agua.

Programa de Enseñanza y Formación Profesional

Las actividades de enseñanza y formación profesional de la OMM estimulan el intercambio de conocimientos científicos mediante cursos especiales, seminarios y materiales de capacitación. Mediante los programas de formación profesional se colocan cada año en cursos avanzados a varios cientos de especialistas. Entre otras actividades figuran las encuestas sobre las necesidades de capacitación del personal, la creación de los programas de capacitación apropiados, el establecimiento y mejora de centros regionales de capacitación, así como la organización de cursos de capacitación, seminarios y conferencias.

Programa de Cooperación Técnica

Con el Programa de Cooperación Técnica (PCOT) se trata de acortar las distancias entre los países desarrollados y en desarrollo por medio de una transferencia continua de conocimientos e información en meteorología e hidrología. El PCOT ayuda a los Miembros, en especial a los países en desarrollo, a formar recursos humanos en los aspectos técnicos y los equipos necesarios para el desarrollo de sus Servicios Meteorológicos e Hidrológicos Nacionales.

En síntesis, la OMM y otros organismos complementarios se interesan por conocer y comprender mejor el sistema climático, sus interacciones, comportamiento, variaciones y las causas que las producen (Figura 2).

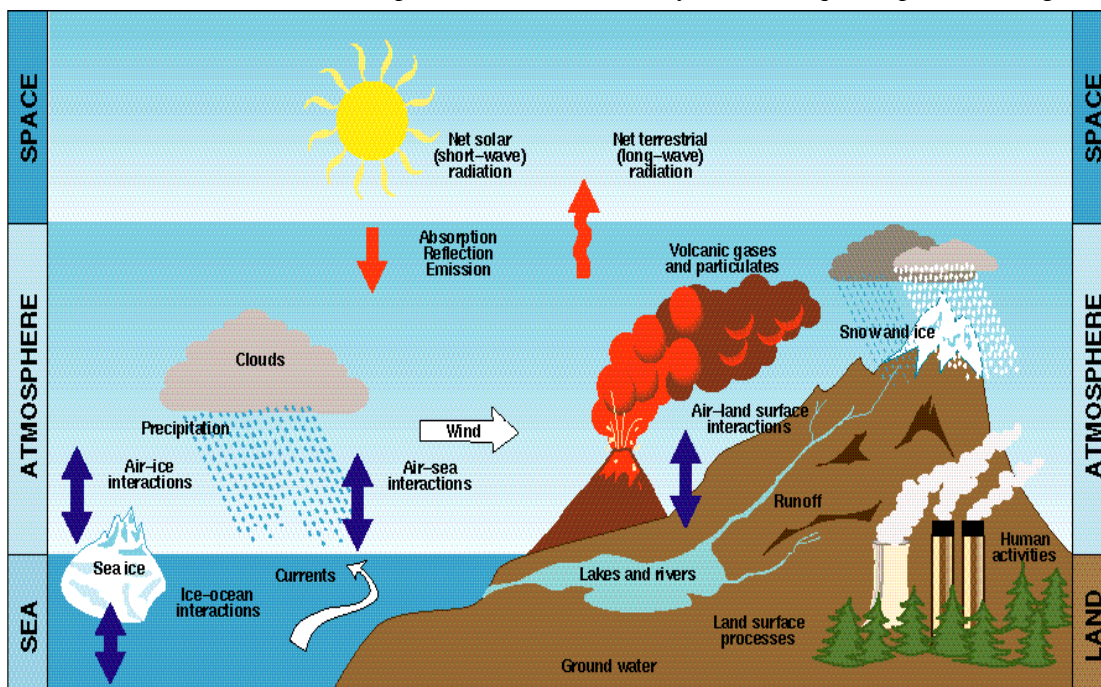


Figura 2. Esquema del sistema climático mundial

4. DECLINACIÓN DEL SOL Y DURACIÓN DEL DÍA

4.1.- MOVIMIENTO APARENTE DEL SOL: El sol aparenta tener un movimiento con respecto a la tierra, que hace que en invierno –en el hemisferio Sur- alcance al medio día una altura notablemente inferior que a la misma hora pero en verano. La explicación de éste fenómeno se encuentra analizando la componente astronómica del clima.

4.1.1.- LATITUD Y LONGITUD GEOGRÁFICA: El esquema de la Figura 3 representa el globo terráqueo. Para una mejor ilustración se supone que un haz de luz es emitido desde un punto C, este haz tiene la función de señalar un sistema de coordenadas polares. Utilizando el haz luminoso supuesto como un puntero, se puede trazar una serie de círculos para cada posición o elevación (ϕ). Al círculo máximo se llamó Ecuador ($\phi=0$) y a los restantes paralelos o círculos de **latitud**. La latitud se considera, por convención, positiva hacia el norte y negativa hacia el sur.

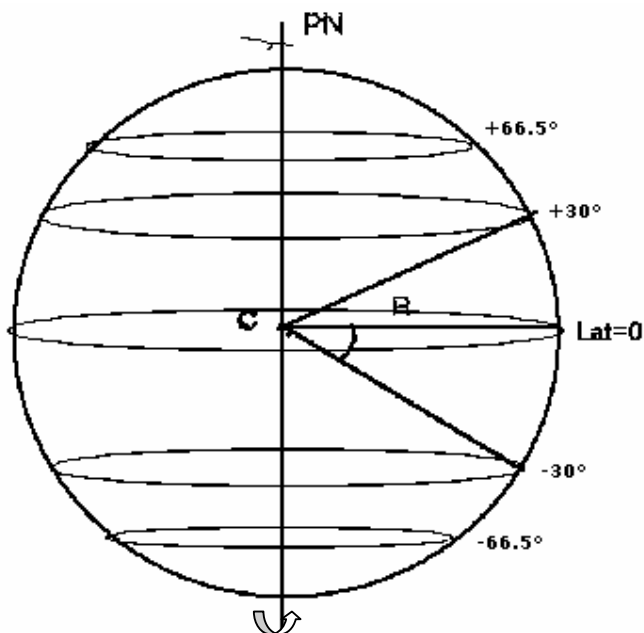


Figura 3. Latitud geográfica (círculos de ϕ constante)

Para localizar un punto cualquiera sobre la superficie de la Tierra, se requiere además subdividir de manera análoga, la esfera terrestre en círculos máximos que pasan por los polos. De esta manera se obtienen 360 partes o meridianos. Se toma como referencia el meridiano que pasa por Grennwich, éste se toma como "0". La posición con respecto a este meridiano se conoce como **longitud**.

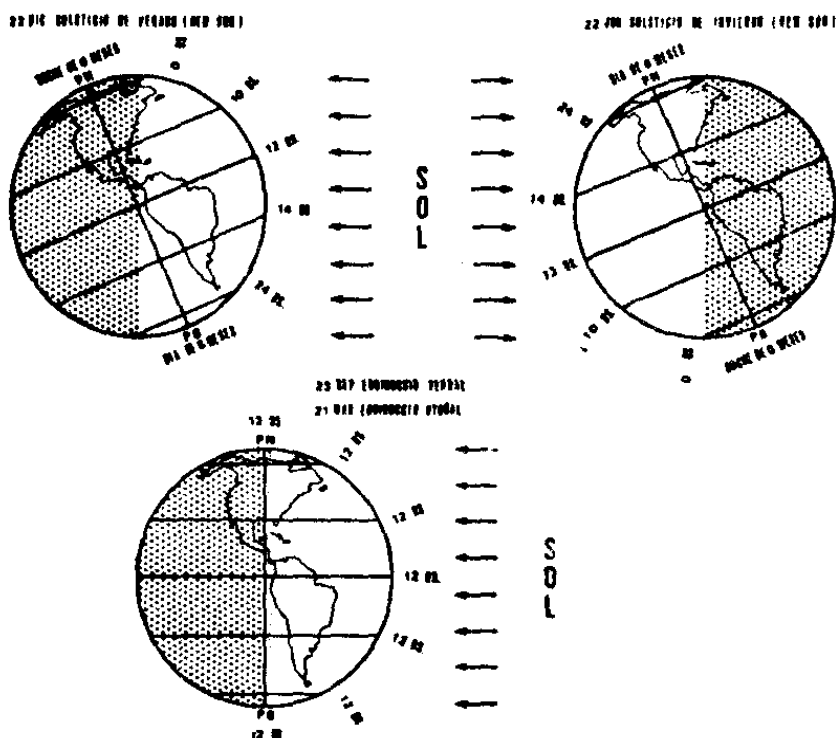
El eje de rotación de la Tierra, normal al plano ecuatorial, se intersecta con la esfera terrestre en los polos norte y sur. Un punto o localidad como Paraná, se ubica a $31^{\circ} 47'$ de latitud Sur y $60^{\circ} 29'$ de longitud al Oeste de Grennwich.

En climatología tienen mucha importancia los círculos de latitud que se mencionan a continuación:

- a) $\phi = 0^{\circ}$ Ecuador
- b) $\phi = 23 \text{ y } \frac{1}{2}^{\circ}$ N Trópico de Cáncer (HN)
- c) $\phi = 23 \text{ y } \frac{1}{2}^{\circ}$ S Trópico de Capricornio (HS)
- d) $\phi = 66 \text{ y } \frac{1}{2}^{\circ}$ N Círculo Polar del Hemisferio Norte
- e) $\phi = 66 \text{ y } \frac{1}{2}^{\circ}$ S Círculo Polar del Hemisferio Sur

A lo largo del año se observa un movimiento aparente del sol. El 21 de diciembre se halla en el solsticio de verano del HS. El 21 de marzo y el 21 de setiembre en los equinoccios y el 21 de junio en el solsticio de invierno (Figura 4).

Este movimiento del sol es periódico, vuelve a la misma posición cada año. La iluminación de la Tierra no es homogénea por las razones expuestas, y como se ve en la Figura 4, los casquetes polares, hasta los $66 \text{ y } \frac{1}{2}^{\circ}$ permanecen medio año iluminados y el restante medio año en el cono de sombra.



La inclinación del eje de la Tierra ($23^{\circ}27'$), respecto de la perpendicular al plano de la órbita terrestre, origina las estaciones meteorológicas del año. Situación de la Tierra en los solsticios de verano (22 de diciembre) e invierno (22 de junio) y en los equinoccios vernal (23 de setiembre) y otoñal (21 de marzo).

Figura 4. Movimiento aparente del sol durante el año (Traslación de la tierra).

La tabla 1 muestra los valores de latitud y las fechas en las que el sol incide perpendicularmente a las 12 hs. Local –siempre que no haya sido modificada por ahorro de energía-.

Tabla 1: Latitud del sol (declinación: δ) correspondiente a insolación perpendicular a las 12 hs. local.

FECHA	DECLINACIÓN	OBSERVACIONES
15 enero	21.20° S	
15 febrero	18.81° S	
15 marzo	1.89° S	HN: Primavera HS: Otoño
15 abril	9.98° N	
15 mayo	19.01° N	
15 junio	23.34° N	HN: Solsticio estival HS: Invierno
15 julio	21.44° N	
15 agosto	13.88° N	
15 setiembre	2.81° N	HN: Otoño HS: Primavera
15 octubre	8.74° S	
15 noviembre	18.65° S	
15 diciembre	23.31° S	HN: Invierno HS: Solsticio estival

Cuando los rayos tienen una declinación de $23\frac{1}{2}^{\circ}$ queda uno de los polos iluminados y el otro no. En el Polo Norte no llega luz solar entre el 21 de Setiembre y el 21 de marzo. A su vez, una situación similar entre el 21/03 y el 21/09 en el Polo Sur. En diciembre, cuando los rayos del sol llegan e iluminan el Polo Sur, se puede observar cómo el sol se desplaza durante las 24 hs. sobre el horizonte.

Por lo tanto, la duración del día en una localidad depende de la declinación del sol. La Tabla 2 muestra la duración, en horas, para diferentes latitudes del HN y HS (situaciones inversas).

Tabla 2: Duración del día, en horas para varias latitudes.

Fecha HN	$\varphi=0^\circ$	$\varphi=20^\circ$	$\varphi=40^\circ$	$\varphi=60^\circ$	$\varphi=80^\circ$	$\varphi=90^\circ$	Fecha HS
21 diciem.	12 hs	10.9 hs	9.3 hs	5.9 hs	0 hs	0 hs	21 junio
21 set. y 21 mar	12 hs	12 hs	12 hs	12 hs	12 hs	12 hs	21 mar y 21 set
21 junio	12 hs	13.3 hs	15.0 hs	18.8 hs	24 hs	24 hs	21 diciem

La declinación del sol (δ) se calcula mediante la fórmula:

$$\delta = 23.45 \text{ sen } \left(360^\circ \left(\frac{284 + n}{365} \right) \right) \quad (1)$$

dónde n = número del día juliano.

La duración del día (Tdía) solar, se calcula mediante la siguiente fórmula:

$$T_{\text{día}} = \frac{2}{15} \text{ arcos } (-\text{tg } \varphi \text{ tg } \delta) \quad (2)$$

siendo: φ la latitud ($< 0^\circ$ en el HS) y δ la declinación.

Ejemplo: 1. a) Calcular la duración del día para las siguientes fechas: 1 de enero, 21 de marzo, 22 de junio y 21 de setiembre.

Ejemplo: 1.b) Calcular para esas fechas la duración del día solar para las estaciones:

El Colorado (Formosa) $26^\circ 18'S$ y $59^\circ 22' W$

Paraná (Entre Ríos) $31^\circ 50'S$ y $60^\circ 31' W$

Alto Valle (Río Negro) $39^\circ 01'$ y $67^\circ 40' W$

a) En primer lugar, deben conocerse los valores correspondientes de los días del calendario en días julianos.

1 enero = 1 día juliano, 2 enero = 2 día juliano (n=2)..... 2 febrero = 32 día juliano....)

Para el 1 de enero, (n=1) la declinación será:

$$\delta_1 = 23.45 \text{ sen } \left(360^\circ \left(\frac{284 + 1}{365} \right) \right) = -23.01^\circ$$

Para el 22 de marzo, (n=81)

$$\delta_2 = 23.45 \text{ sen } \left(360^\circ \left(\frac{284 + 81}{365} \right) \right) = 0^\circ$$

Para el 21 de setiembre, (n=264)

$$\delta_3 = 23.45 \text{ sen } \left(360^\circ \left(\frac{284 + 264}{365} \right) \right) = -0^\circ 12'$$

De la misma forma se puede calcular para otras fechas.

b) Conociendo la declinación solar, para esa fecha y latitud, del lugar de interés se puede calcular la duración del día. Para El Colorado es

$$T = \frac{2}{15} \text{ arcos } (-\text{tg } (-26.3^\circ) \text{ tg } (-23^\circ)) = 13 \text{ hs } 36'$$

donde φ se expresa en grados y décimos,

$$\varphi = 26^\circ 18' = 26^\circ + \frac{18 * 1^\circ}{60'} = 26.3^\circ$$

La duración se expresa luego en horas y minutos. De igual forma se trabaja para las otras estaciones obteniendo: duración del día solar, horas y minutos para distintas fechas.

FECHA	1 enero	22 marzo	22 junio	21 setiembre
δ (declinación)	$-23^\circ 0'$	0°	$23^\circ 26'$	$-0^\circ 12'$
El Colorado	13 h 36'	12 h 00'	10 h 21'	12 h 01'
Paraná	14 h 21'	12 h 00'	9h 56'	12 h 01'
Alto Valle	14 h 41'	12 h 00'	9 h 16'	12 h 01'

La **altura del sol sobre el horizonte** (h) se obtiene a partir de la fórmula:

$$\sin h = \sin \varphi \sin \delta + \cos \varphi \cos \delta \cos \tau \quad (3)$$

τ = hora del día.

Los valores que pueden tomar φ , δ y τ :

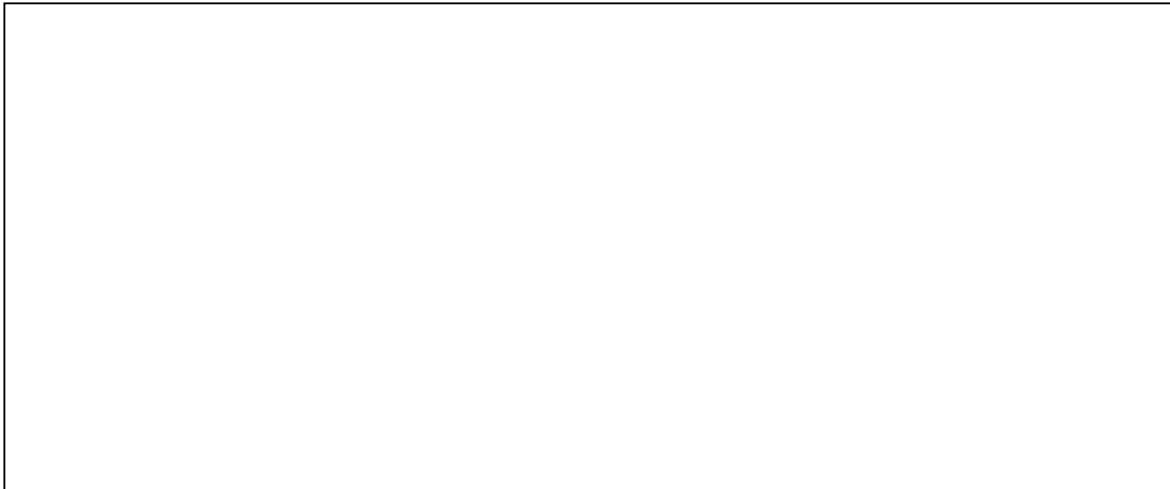
$$-23 \frac{1}{2}^{\circ} \leq \delta \leq 23 \frac{1}{2}^{\circ} \quad -\pi/2 \leq \varphi \leq \pi/2 \quad 0^{\circ} \leq \tau \leq 360^{\circ}$$

Valores de τ : a diferentes horas del día:

Hora del día	12 h	18 h	24 h	6 h	
Valor de τ :	0°	90°	180°	270°	τ : varía 15°/hora

De esta manera, se puede calcular la posición del sol para cualquier día y hora del año. Asimismo, se obtiene la duración del día solar para cualquier punto de la tierra. Más adelante se verá como la energía irradiada por el sol, que llega a la superficie de la tierra depende de éstas variables que acaban de describirse.

Ejemplo 2. Calcule para la estación Paraná la altura del sol sobre el horizonte a las 8, 14 y 18 hs del día 21 de setiembre.



5.- ATMÓSFERA.

La atmósfera es una delicada cubierta de aire que permite el desarrollo de la vida y rodea al frágil planeta. De una forma u otra tiene influencia sobre todo lo que nos rodea, y está íntimamente relacionada con nuestras vidas. El aire está con nosotros desde que nacemos y es imposible separarnos de él. Podemos sobrevivir sin comida por unas semanas, sin agua unos días pero sin aire no sobrevivimos más allá de unos pocos minutos. Esta cubierta gaseosa que nos rodea y acompaña filtra la dañina radiación y mantiene temperaturas agradables. Sin la presión y el peso de nuestra atmósfera todos los cuerpos de agua se evaporarían, incluso el sonido de un perro ladrando o el de un avión estarían ausentes sin el medio del aire que lo transmita a nuestros oídos.

La exploración del espacio realizada mediante técnicas de radiosondeo, y con cohetes y satélites artificiales ha permitido comprobar que puede considerarse a la atmósfera compuesta por estratos diferenciados y separados entre sí por zonas de discontinuidad denominadas Pausas. Aunque los fenómenos de una capa están directamente relacionados con los del estrato adyacente. Esta comprobación se agrega a las nociones ya conocidas acerca de la estructura de la atmósfera, que pueden resumirse así:

- la mitad de la atmósfera, en peso, se concentra en los primeros 4 km. sobre el nivel del terreno.
- en los primeros 20 km. se halla el 90 % de su masa.

Cerca de la superficie de la tierra, la atmósfera está constituida por una mezcla de gases estables, gases variables y de partículas sólidas y líquidas. La densidad disminuye en un $\frac{3}{4}$, aproximadamente, de su nivel inicial para cada desnivel de 10 km.

5.1.- COMPOSICIÓN DE LA ATMÓSFERA.

La tierra es la única que se sabe que posee una cantidad significativa de vapor de agua y oxígeno (O₂), importante para sostener la vida en todas sus formas. El calor es provisto a los planetas por el sol. La distancia

promedio entre el sol y la tierra es de 93 millones de millas y la tierra sólo atrapa una fracción del total de toda esta energía recibida en forma de radiación.

Es esta radiación la que controla la atmósfera, los patrones de viento y el tiempo permitiendo una temperatura promedio en la superficie de 15 °C ó 59 °F. Esta temperatura es agradable pero en ciertas áreas se experimentan temperaturas drásticas ej. -85 °C ó -121 °F en el antártico durante la noche, por otro lado durante el día las temperaturas pueden alcanzar 50 °C ó 122 °F en un desierto subtropical.

La atmósfera terrestre es una fina capa de gases compuesta mayormente de Nitrógeno (N₂) 78% y Oxígeno (O₂) 21% incluyendo concentraciones más pequeñas de otros gases y vapor de agua (Tabla 3).

Gases Permanentes:

Gas	% por volumen en el aire	
Nitrógeno	N ₂	78.08
Oxígeno	O ₂	20.95
Argón	Ar	0.93
Neón	Ne	0.0018
Helio	He	0.0005
Hidrógeno	H	0.00006
Xenón	XE	0.000009

Gases Variables:

Gases Variables:	Símbolo	% por volumen/partes	partes/millón
Vapor de agua	H ₂ O	0 a 4	
Dióxido de carbono	CO ₂	0.035	355
Metano	CH ₄	0.00017	1.7
Oxidos de Nitrógeno	N ₂ O	0.00003	0.3
Ozono	O ₃	0.000004	0.04
Partículas (polvo etc.)		0.000001	0.01
Clorofluorocarbonos (CFCs)		0.0000001	0.0001

Tabla 3 Composición de la Atmósfera Cerca de la Superficie –Gases permanentes y gases variables-

Ej:Para CO₂, partes por millón significa que por cada millón de moléculas de aire, 355 son moléculas de CO₂.

En las fotografías satelitales que se han tomado del planeta se observa una capa azul que lo bordea es en ésta área donde la atmósfera es más densa. Nuestra atmósfera se extiende hacia arriba aproximadamente 120 Km sobre la superficie terrestre donde el 99% se encuentra a sólo 30 Km.

Esta delgada capa de aire protege de los elementos indeseables del espacio interplanetario.

5.2.- ESTRATOS DE LA ATMÓSFERA

5.2.1.- TROPOSFERA.

Es el estrato atmosférico más directamente en contacto con la superficie terrestre. Contiene la mayor parte de la masa atmosférica y alberga el 75 % del vapor de agua, por esta razón tienen lugar en él los hidrometeoros (nubes y precipitaciones). También se encuentran los elementos antes mencionados y contiene todo un conjunto de cuerpos, partículas, etc., que provienen de las emanaciones volcánicas, de procesos de combustión o de la respiración de los seres vivos (animales y vegetales). Este estrato tiene una altura media de 12 km en los polos alcanza 6 o 7 km., y en Ecuador unos 17 km. y recibe el nombre de *troposfera*.

La temperatura en la troposfera, disminuye regularmente 1° C cada 180 m, especialmente a partir de los 2.000 o 3.000 m. Esta disminución regular termina en la *Tropopausa*, es decir en aquella serie de estratos de escaso espesor en los que se produce una inversión del comportamiento térmico y donde se manifiestan violentas corrientes de aire, dirigidas de Oeste a Este, situadas alrededor de los 40° de latitud media en ambos hemisferios y que se denominan corrientes a chorro. Los pilotos que vuelan a más de 3 Km de altura por largos períodos de tiempo crean una deficiencia de oxígeno en el cerebro que se conoce como hipoxia.

Algunos autores consideran un estrato entre 20 y 45 km aproximadamente (que se denomina estratosfera).

Luego encontramos el siguiente estrato o mesósfera que es separada de la estratósfera por la *estratopausa*. La mesósfera tiene un espesor de 35 Km. Aquí el aire es extremadamente fino y la presión atmosférica es

sumamente baja. La concentración de (N₂) y (O₂) en la mesósfera es igual que la que se obtiene al nivel del mar, pero el aire es más denso y una persona no podría sobrevivir respirando por mucho tiempo aquí.

5.2.2.- ESTRATOSFERA

Después de la troposfera y hasta una altura aproximada de 80 km., se encuentra la *estratosfera*. En ella se mantiene prácticamente constante la composición química del aire, la densidad disminuye el agua se reduce 0.01% y faltan todas las partículas que enturbian la troposfera. La estratosfera es límpida y seca.

Entre los 15 y los 45 km. de altura se encuentra una capa de ozono, formada por la acción de los rayos ultravioletas procedentes del sol, que transforman el O₂ en O₃. Dicha capa impide que las radiaciones ultravioletas lleguen a la superficie terrestre y afecten a los seres vivos. En esta región se pueden encontrar temperaturas de 15°C hasta 170°C, aunque la estratósfera tiene en su base y en el tope, temperaturas cercanas a -50°C.

5.2.3.- IONOSFERA

La estratopausa constituye el techo de la estratosfera, y a partir de ella, comienza la *ionosfera*. Esta se extiende unos 40 Km por encima de la mesósfera. Es en esta área donde se encuentra la *ionósfera*, que es la zona de la atmósfera que está cargada eléctricamente. Es de gran utilidad para las radiocomunicaciones por la propiedad que posee de reflejar las ondas de radio haciendo posible la comunicación a larga distancia.

La *ionósfera* no es estática, ésta varía en altura entre el día y la noche. También puede cambiar su propiedad de refracción a causa del sol y las partículas que éste libera. Esto puede durar minutos, horas, o semanas, afectando así la comunicación en el planeta.

La densidad disminuye rápidamente a valores de 10 g/l y a los 150 km. se alcanzan valores de presión del vacío neumático. Hay disociación molecular, dando lugar a una mezcla de átomos y moléculas. Además se produce la ionización como consecuencia de la pérdida de un electrón por parte de los átomos, moléculas o grupos de ellos. La energía de las radiaciones solares hace aumentar la temperatura con la altura:

150 km.	- 21° C
250 km.	650° C
500 km.	2.000° C
+ 500 km.	exósfera

Por encima de los 500 km. se encuentra la *exósfera*.

6.- FITOSFERA Y FITOCLIMA.

En la troposfera tienen lugar una serie de fenómenos en el aire, que se manifiestan especialmente en la temperatura, la humedad y las condiciones barométricas. Tienen un comportamiento durante el año, según el lugar y además influyen y condicionan recíprocamente. Cada área de la superficie terrestre expuesta desde hace millones de años a la acción del calor, el agua, las lluvias, el hielo y los vientos, adquirió una configuración particular en el relieve y la cobertura biológica, adaptada a la sucesión de las condiciones meteorológicas durante el año.

El hombre se inserta en esta situación de equilibrio, actualmente con cierta independencia. En efecto, puede recurrir a técnicas idóneas para defenderse de las condiciones ambientales adversas o desfavorables, y al mismo tiempo utilizar la variedad de esas condiciones en beneficio de su propia supervivencia. Esto lo ha llevado a conocer la integración de los factores climáticos, fisiológicos y edáficos en el ambiente de la vegetación, pero especialmente en los cultivos, tratando que el crecimiento y la producción de los cultivos sea óptima.

Por ello es importante analizar los elementos climáticos como *radiación solar*, *temperatura*, *viento*, *humedad*, en los estratos de la atmósfera con vegetación como así también arriba de la misma. Este ambiente en el que se desenvuelven las plantas, es decir, un ámbito ecológico particular que se establece en la interfase *suelo-atmósfera* en donde se desarrollan las plantas, se denomina *fitósfera*, y las condiciones meteorológicas asociadas con ella *fitoclima*.

7.- CLIMA.

7.1.- DEFINICIONES.

En los ítems anteriores se mencionó el término "clima", según la concepción habitual. El concepto más reciente de 'clima' tiene un significado algo diferente. Entendido como el resultado de una de las tantas realizaciones – probabilísticas- posibles del sistema tierra-atmósfera, que está representado por una serie de características, elementos y fenómenos que presentan variaciones periódicas y aperiódicas. Definiciones anteriores de clima:

Clima: es el conjunto de características (elementos y fenómenos) meteorológicas de un lugar o zona en el promedio de un período determinado, más las variaciones periódicas y aperiódicas.

Clima: (Humboldt). Todas las variaciones de la atmósfera que logran afectar nuestros sentidos, tal como las correspondientes a temperaturas (T), humedad relativa (HR), presión (p), viento (v), tensión eléctrica, pureza del aire, estado nuboso, etc.

Clima: (J: V: Hank, 1883). Es el estado medio de la atmósfera y sus variaciones periódicas y aperiódicas, y además el desarrollo normal del tiempo en el transcurso del año.

Clima: (Bonacina, 1907). Es el tiempo regional medio.

Clima: (Hellpach, 1935). Es la característica regional del desarrollo del tiempo.

Clima: (Koeppens). Es el estado medio y el desarrollo común del tiempo en un lugar.

Clima: (reciente). *Estado medio de la atmósfera, representado por el conjunto de los elementos y los fenómenos meteorológicos referidos a un período suficientemente largo, las variaciones periódicas y aperiódicas y el desarrollo normal del tiempo en el transcurso del año, en un lugar, región, continente, hemisferio o planeta.*

Clima artificial: estado medio del ambiente que se mantiene aproximadamente constante durante un período determinado en las cámaras climáticas o en ambientes de aire acondicionado.

Clima de invernáculo: es un estado intermedio entre el clima natural y el clima artificial por cuanto se trata de condiciones atmosféricas modificadas por el hombre. El aire en estos ambientes participa de las variaciones de la atmósfera pero en forma amortiguada.

Microclima: es el clima en la capa de la atmósfera que va desde la superficie del suelo hasta la altura de la vegetación (20 m para un bosque) o a la altura de la edificación.

Desde el punto de vista de escala, se pueden mencionar los siguientes ejemplos::

Macroclima: hemisferios, océanos, continentes, países.

Mesoclima: delta, costa atlántica, pampa húmeda.

Microclima: bosques, plantaciones, cultivos.

7.2.- FACTORES Y ELEMENTOS.

Los elementos meteorológicos que se consideran están determinados o influenciados por las condiciones atmosféricas, geográficas y astronómicas o factores climáticos. Entre estos factores se encuentran:

- latitud (ϕ)
- longitud (λ)
- rotación de la tierra (τ)
- traslación (δ)
- estado de la superficie de la tierra - orografía
- circulación atmosférica
- corrientes marinas
- valles
- altura (a)
- distribución tierra/mar
- vegetación
- planicies

Los elementos más comúnmente observados son

- **Temperatura:** máxima absoluta, máxima, media, mínima, mínima absoluta.
- **Humedad:** relativa, tensión de vapor, punto de rocío.
- **Viento:** dirección y velocidad.
- **Nubosidad:** tipo y grado.
- **Precipitación:** número de días, intensidad y cantidad.
- **Presión.**
- **Heliofanía.**
- **Otros:** granizo, chaparrones, llovizna, nieve, tormenta de polvo, visibilidad, heladas.

Las variaciones periódicas presentes en la marcha de los elementos son diarias, por efecto de rotación de la Tierra, o anuales por traslación de la Tierra. Las variaciones aperiódicas producen variaciones interdiurnas o de mes a mes, y se deben a la circulación de la atmósfera.

7.3.- RAMAS DE LA CLIMATOLOGÍA.

La climatología estudia el estado medio de la atmósfera, sus variaciones periódicas y aperiódicas (o fluctuaciones) para condiciones futuras generales o a largo plazo. Se diferencia de la Meteorología Sinóptica, por cuanto ésta, estudia el estado momentáneo de la atmósfera y los procesos que modifican ese estado. Además estudia en una escala espacial continental, el desarrollo del tiempo y ofrece el pronóstico para las próximas horas (1 – 5 o 7 días).

La climatología está relacionada prácticamente con todas las ciencias de la vida y de aquellas que como la ingeniería o la arquitectura, implican la interacción del hombre con la naturaleza y las alteraciones que produce.

ÁREA DE INTERÉS	ÁREA DE ESTUDIO	CONEXIÓN
Construcciones	Climatología en Ingeniería	Ingeniería
Caudales de río	Hidroclimatología	Hidrología
Embalses	Hidroclimatología	Hidráulica
Operaciones de vuelo	Climatología Aeronáutica	
Condiciones urbanas	Climatología urbana	Arquitectura
Vida	Bioclimatología	Ecología
Flora	Fitoclimatología	Ecología y Botánica
Fauna	Zooclimatología	Ecología y Zoología
Hombre	Bioclimatología humana	Biología y Medicina
Patologías	Climatología médica	Medicina
Flora y fauna útil	Agroclimatología	Agronomía

7.4.- EL TIEMPO Y LAS ACTIVIDADES HUMANAS.

Se debe distinguir entre "estado del tiempo" y "clima" o sea el estado medio del tiempo..El clima de un país o de una región, es el tiempo que normalmente debería esperarse. El hombre condiciona sus actividades al clima del lugar donde vive. Un agricultor en una región con un período libre de heladas de, por ejemplo, 90 días podrá dedicarse a cultivos resistentes a heladas ligeras. Un ingeniero que debe proyectar una represa para producir energía debe asegurarse que las lluvias en la cuenca de captación sean abundantes y de intensidad adecuada. Los médicos necesitan conocer con precisión cuales son los lugares apropiados para el tratamiento de algunas dolencias (ejemplo: artritis). A las compañías de aviación les interesa conocer el régimen de vientos en aquellos lugares donde hacen escalas los aviones.

7.4.1.- EL TIEMPO Y LA AGRICULTURA.

El tiempo afecta diariamente las actividades del agricultor. Proyecta sus tareas según el tiempo que espera, realiza pronósticos a corto plazo (muchas veces con acierto) sobre la base de su experiencia interpretando ciertos signos relativos al tiempo. Organiza su calendario de cultivos de acuerdo a lo que conoce del lugar. Siembra aprovechando las lluvias que humedecen bien el perfil y busca que la maduración de los granos coincida con un período de pocas precipitaciones. Con la ayuda de los técnicos, puede defenderse de las heladas utilizando diversos métodos de protección. La actividad agropecuaria ha incentivado notablemente las actividades para inducir lluvia en forma artificial, en aquellos lugares donde 20 o 30 mm adicionales en momentos críticos pueden resultar muy beneficiosos. Y como consecuencia de ello, se desarrollaron y se mantienen numerosas experiencias para prevenir la caída de granizo. Una granizada intensa puede causar, en cultivos como la vid en Mendoza, pérdidas millonarias en muy corto tiempo. La ganadería también depende, aunque en menor medida del tiempo. El frío y el calor en exceso perjudican a los animales. La falta de lluvias por un período prolongado trae aparejada la escasez de pastos; las crecidas en las islas donde pastorea el ganado obliga a frecuentes traslados hacia zonas más altas o hacia la costa.

7.4.2.- EL TIEMPO Y LA AVIACIÓN.

El servicio meteorológico para la aeronavegación, sigue siendo en muchos países prioritario, asignando cuantiosos recursos. La necesidad de contar con pronósticos más precisos y seguros, la importancia de las inversiones financieras puestas en juego y fundamentalmente la vida de las personas transportadas, han hecho que en poco tiempo se establezcan redes compactas, interconectadas sin barreras de fronteras que ofrecen a los pilotos de aviones toda la información referida a las condiciones meteorológicas que les permitan operar con seguridad.

7.4.3.- EL TIEMPO Y LA FORESTACIÓN.

La meteorología puede realizar su aporte para prevenir y evitar incendios en bosques. La humedad en las hojas o ramitas es importante, por cuanto según sea alta o baja, habría más o menos posibilidad de incendios. Los elementos que deben tomarse en cuenta son: la temperatura, la humedad, el viento y de éstos depende la evaporación, si aumenta la evaporación la humedad de la hojarasca disminuye por lo que el peligro de fuego aumenta. Si aumenta la humedad, o mejor si llueve, el riesgo disminuye. Una vez iniciado el fuego, su propagación depende principalmente de la velocidad del viento.

7.4.4.- EL TIEMPO Y LA HIDROLOGÍA.

La meteorología y la hidrología tienen puntos en común. El estudio de esos fenómenos meteorológicos y de las consecuencias hidrológicas que acarrearán, es realizado por la Hidrometeorología. El ciclo hidrológico, la evaporación de los ríos, suelos, mares, transpiración de las plantas, son algunos de los temas comunes. Además interviene la precipitación, el balance hídrico, la humedad del aire, la humedad del suelo. Los hidrólogos requieren conocer las precipitaciones para procurar un adecuado suministro a los embalses; para diseñar sistemas de riego o para proponer obras de canalización para retener agua o para extraerla de una zona y así impedir su acumulación.

El hidrólogo conoce la altura y el caudal de los ríos y arroyos, y requiere de los meteorólogos la información acerca de las lluvias, intensidad y duración y fundamentalmente le interesa buenos pronósticos a largo plazo.

7.4.5.- EL TIEMPO Y LA SALUD.

El hombre ha demostrado en el transcurso de su historia que es capaz de adaptarse para vivir en la mayor parte de los climas de la Tierra. Desde los cálidos ambientes ecuatoriales, hasta los intensos fríos del ártico, pasando por los desiertos de Arabia o Australia, áreas templadas húmedas como la Pradera pampeana, o húmedo y frío como en Tierra del Fuego. En el llano, en las costas, en el valle o en los cerros, el hombre se adapta para vivir y acondiciona su vivienda y su ropa. Las variaciones del tiempo que se experimentan diariamente afectan frecuentemente el cuerpo, pues este no reacciona inmediatamente por lo que queda expuesto a posibles infecciones.

Desde hace mucho tiempo, se estudia la comodidad que experimentan los individuos bajo condiciones meteorológicas variables. El viento contribuye junto con temperaturas bajas a experimentar una sensación de fríos más intensa. Desde hace años se informa, además de los valores medidos por el instrumental meteorológico, la *sensación térmica*, es decir lo que experimenta realmente el cuerpo. Las ropas, tipos, confección y color son importantes, en especial en los climas más rudos. Con respecto a la alimentación puede decirse que en temporadas calurosas deben consumirse alimentos que tengan mucha agua y evitarse los que tienen almidón porque producen calor.

8. FENOLOGIA

8.1 CONCEPTOS Y DEFINICIONES

La conexión entre los fenómenos periódicos que exteriorizan los seres vivos (vegetales y animales) y los elementos del clima, se estudia a través de la *fenología*. Fenología del latín *phaenomenon* y ésta del griego *phainomenon* que significa aparecer o manifestar, y *logo* tratado o ciencia, se define como:

Fenología: Rama de la Ecología que estudia los fenómenos periódicos de los seres vivos y su relación con las condiciones ambientales, tales como la temperatura, luz, humedad y otros.

Las migraciones de las aves, las mudas de los animales, la nidificación, la postura de huevos, la secreción láctea en algunos mamíferos, son algunos ejemplos de fenómenos que ocurren en animales y que son objeto de estudio de la fenología animal. En cuanto a los fenómenos vegetales, la brotación, floración, fructificación y otros. Otra herramienta usada es la *fenología cuantitativa* también llamada *fenometría*, que como la fenología busca precisar la influencia de los factores ambientales sobre la evolución de los seres vivos, pero esta vez en forma cuantitativa. Ejemplo de esto son las medidas en volumen, longitud y peso de los frutos, cantidad de macollos en gramíneas, peso y tamaño en general de animales al nacer o en distintas etapas.

Fenómeno es toda manifestación de un hecho. Se llaman ***fenómenos periódicos*** a las manifestaciones externas que se producen en animales o vegetales, con algunas variaciones, año a año y en las mismas épocas. Las observaciones fenológicas en la agricultura son de suma importancia, ya que el conocimiento de las necesidades climáticas de una especie vegetal o determinada especie o raza animal, permite una mejor elección del tipo de producción a implementar en una zona o región. Es decir que, la observación y cuantificación de los distintos fenómenos de los animales y vegetales, que se relacionan con los elementos y factores climáticos,

significan un paso en el conocimiento de las formas y metodologías que permitan un uso racional del medio ambiente en beneficio de la producción. Los vegetales, desde su nacimiento e inicio del crecimiento, presentan una actividad biológica que está determinada en su ritmo -se acelera o retarda- según la ocurrencia de los fenómenos meteorológicos.

De las experiencias, observaciones y registros fenológicos se infiere que entre los factores que más inciden en los fenómenos periódicos de los vegetales se encuentran:

- la marcha de la *temperatura*;
- la variación en la *duración del día*, y
- el *régimen pluviométrico*.

La planta, es un verdadero sensor meteorológico complejo ya que no registra las variaciones de un solo elemento, sino de todos los componentes climáticos que tienen influencia sobre su ciclo biológico. (Planchuelo, et. al 1987). El ciclo vital de todo ser vivo y por ende de los vegetales, implica el *nacimiento, crecimiento, desarrollo, reproducción y muerte*. El nacimiento, en la visualización de una nueva planta, puede generarse a partir de una semilla denominándose en ese caso *germinación*; o a partir de una parte del vegetal, y en tal caso será *brotación*.

En su ciclo ontogénico, los vegetales experimentan cambios visibles o no y que están en estrecha relación con las condiciones ambientales y genéticas. A estos cambios podemos dividirlos en dos grandes grupos que son *crecimiento y desarrollo*. Definiendo *crecimiento* como el aumento en número, tamaño o volumen de las células del vegetal y *desarrollo* como la diferenciación de las células de las plantas. Mientras crecimiento implica un cambio *cuantitativo*, desarrollo es un cambio *cualitativo*.

Las plantas pueden ser clasificadas según su ciclo ontogénico en *anuales, bianuales o perennes*.

- **Anuales:** aquellas plantas que completan su ciclo ontogénico en el transcurso de un año (365 días) o en menos de un año. A su vez, y según su ubicación geográfica, las plantas anuales que se encuentran en latitudes donde las estaciones están bien determinadas (ejemplo: Paraná, 31° 47' Lat. Sur) se clasifican según las exigencias calóricas en *cultivos de invierno, primaverales y estivales*.

- Siendo los *cultivos de invierno* aquellos que tienen exigencias en bajas temperaturas, resistencia al frío o una combinación de ellas. Estas plantas son sembradas en otoño, transcurren el invierno en forma vegetativa y florecen y fructifican en primavera. (Ejemplo: trigo, colza, etc.).

- Las *primaverales* tienen requerimientos más altos en temperatura, que las invernales pero menos que las estivales, a su vez menor resistencia al frío. Generalmente presentan un ciclo vegetativo muy breve, cosechándose en verano, un ejemplo son los trigos de ciclo corto también llamados primaverales.

- En cuanto a las plantas *estivales*, tienen alto requerimiento calórico, y por ende no tienen resistencia a bajas temperaturas. Las mismas se siembran en primavera, (generalmente en períodos libres de heladas) y se cosechan una vez terminado el verano, son los ejemplos más característicos la soja, sorgo y maíz.

En las latitudes ecuatoriales donde las diferencias térmicas no son muy notorias, las estaciones están determinadas por las precipitaciones, es decir que los cultivos se sembrarán o implantarán según las necesidades hídricas de los mismos y en la topografía (valles protegidos, zonas altas, laderas de cerro, etc.) que presenten las condiciones de temperatura que satisfagan las necesidades calóricas de las plantas.

- **Bianuales:** no es muy común en las plantas cultivadas, y son aquellas que *vegetan* durante un año o más, y luego florecen y fructifican en algún momento del segundo año. El caso más conocido es la remolacha.

- **Perennes:** se denomina de esta forma a los vegetales que requieren tres o más años para completar su ciclo ontogénico. A su vez pueden dividirse en plantas de:

Un solo ciclo perteneciendo a éstas aquellas que durante varios años solamente vegetan y fructifican una sola vez antes de fenecer. Casos típicos son la pita, bambú, banano y caña de azúcar.

De ciclo permanente, son aquellas plantas que repiten la floración y fructificación todos los años, siempre que hayan satisfecho sus necesidades para ello. Los árboles forestales y frutales son los ejemplos más típicos de esta categoría.

Fase: es la aparición, transformación, o desaparición rápida de los órganos de un ser vivo. A su vez las fases correspondientes al mundo vegetal se denominan *fitofases* y *zoofases* a las del mundo animal. Ejemplos de fitofases son la tuberización, encañazón, panojamiento, caída de frutos.

Se acostumbra también definir las fases como *vegetativas* o *reproductivas*, y cuando se manifiestan exteriormente son designadas como fases visibles (floración, caída follaje, etc.). Las fases invisibles (germinación, tuberización, etc.) que no se pueden apreciar a simple vista. Mediante una gráfica de la distribución normal (Figura 5) se ilustra como la frecuencia de individuos (plantas), que se encuentran en alguna de las fases, se utiliza para definir la condición de inicio, plenitu o fin de fase.

Duración de fase es la cantidad de tiempo (expresada generalmente en días) que transcurre entre el comienzo y el fin de una fase. Durante las observaciones fenológicas se tomará el siguiente criterio:

Inicio de fase: sucede una aparición, desaparición o transformación ininterrumpida y en aumento de algún órgano. Comienza un proceso que es continuo y que en pocos días se hace generalizado en la población en estudio. El porcentaje de plantas que presentan la fase observada alcanza o supera el 20 %;

Plenitud de fase el momento en que el fenómeno tiene su máxima intensidad y el porcentaje alcanza al menos el 50 % de los individuos que se encuentran en la fase

Fin de fase es la aparición, desaparición o transformación de los últimos órganos de la fase, sin interrumpir la continuidad del proceso. El porcentaje de individuos observados superan el 80 % de la fase en cuestión.

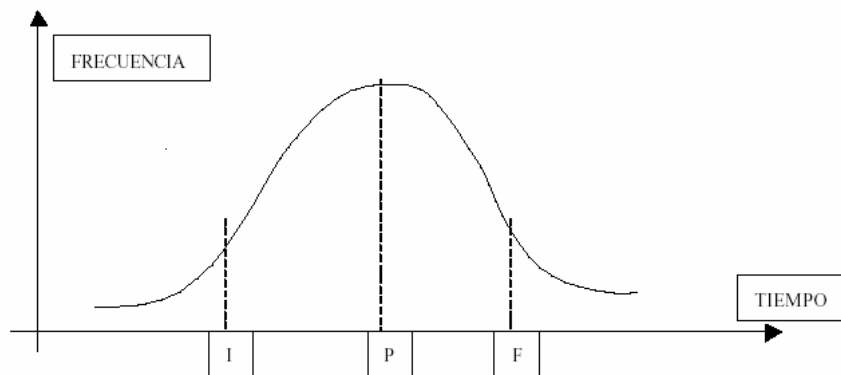


Figura 5: Distribución del número de plantas en las fases fenológicas.

Se denomina **energía de fase** a la rapidez que expresan los individuos en desarrollar una fase. Expresa, también, el grado de satisfacción que la misma ha logrado en sus necesidades meteorológicas durante el período. Si la ocurrencia de la fase no presenta alteraciones o anomalías respecto a lo observado y medido en años anteriores para la especie, se habla de **fase normal**. Si se suceden fases normales en el ciclo ontogénico, se puede predecir un rendimiento productivo favorable. El tiempo transcurrido entre una y otra fase consecutivas, se denomina **subperíodo**. Es en estas etapas donde los requerimientos ambientales se hacen más importantes. Se considera que los **puntos críticos** y límites que fijan los rendimientos, tienen máxima influencia en los días previos a la ocurrencia de las diferentes fases. Las exigencias meteorológicas de los vegetales son distintas a lo largo de su vida, pero se acepta generalmente que en los subperíodos éstos requerimientos son relativamente constantes.

Siembra	F1	F2	F3	F4	F _(i+1)	Cosecha
	Subperíodo			Subperíodo		.

Mercedes de Azkues, del INIA de Venezuela (INIA-CENIAP-IIRA-Agroclimatología) presenta un documento sobre '**La Fenología como herramienta en la Agroclimatología**' (ver el trabajo en <http://www.infoagro.com/frutas/fenologia.htm>).

8.2 MÉTODOS DE OBSERVACIÓN FENOLÓGICA

Las observaciones fenológicas permitirán identificar y valorar aquellos fenómenos periódicos que muestran variaciones en el crecimiento y desarrollo, así como también los daños producidos por fenómenos meteorológicos. Si se disponen en forma simultánea datos meteorológicos, fenológicos y fenométricos, así como las observaciones acerca del estado de un cultivo determinado en una zona o región, se podrá predecir el comportamiento antes de la terminación del ciclo. Las observaciones fenológicas deben ser efectuadas en lugares que sean representativos. La elección de los lugares o plantas a observar, independientemente de sus características, deberá ser al azar, que sean representativos, evitándose los bordes y cabeceras de los lotes.

El momento propicio para la observación dependerá del cultivo y de la fase. El criterio más general es efectuar las observaciones cada 2 o 3 días. Asimismo, se recomienda que las observaciones sean en las mismas horas, preferentemente por la mañana, de 10 a 13 horas, cuando la actividad del vegetal es mayor. En cuanto a la metodología para registrar los datos fenológicos dependen del tipo de cultivo, una primera división es en **anuales** ó **perennes**, y dentro de las anuales en **densos** ó **ralos**.

a) **Cultivos anuales.**

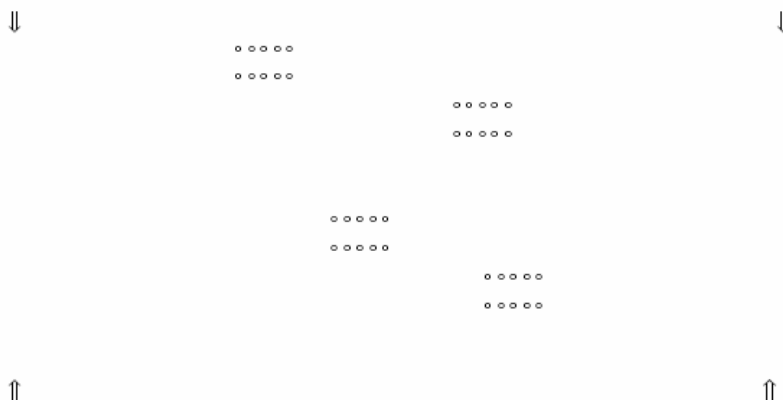
a1) **Cultivos anuales densos.**

Se denominan así aquellos cultivos que sembrados en hileras o al voleo, cuando alcanzan un desarrollo de masa verde importante, cubren totalmente el terreno siendo dificultoso discriminar las plantas individualmente. Ejemplos: trigo, cebada, arroz y praderas.

* Se localizarán 4 (cuatro) *sitios* en la parcela, siempre al azar, individualizándolos con una estaca o cualquier elemento que perdure durante el ciclo del cultivo y que se pueda localizar fácilmente. Se realizarán las observaciones en 10 plantas por sitio, es decir, 40 en cada parcela. Dadas las características de los cultivos densos, no siempre serán los mismos individuos los observados. En los cultivos que macollan –como el trigo– hasta que ocurra esta fase se observarán 40 plantas o tallos principales, pero luego cuando es difícil diferenciar los tallos primarios de los secundarios se tomarán 40 macollos. Se observa y se anota la/s fase/s y el número de individuos o plantas correspondiente en cada sitio de 10 (Ej. emergencia: 6 pl, macollaje: 4 pl) y luego se contabiliza el total de cada fase para las 40 plantas y se calculan los porcentajes.

a2) *Cultivos anuales raros.*

Son típicos los cultivos de maíz, soja y girasol, donde la siembra se realiza en hileras bien separadas. Las plantas son fáciles de visualizar y registra las observaciones fenológicas de los individuos.



* Se eligen cuatro sitios al azar y 10 plantas por cada sitio. Las plantas deben estar en dos filas enfrentadas y deben ser identificadas por medio de algún elemento que no se deteriore y permita su ubicación en cualquier momento del ciclo. En ambos casos se deberá tener cuidado de no producir daños al cultivo y no modificar el medio al realizar las observaciones. Se observa y se anotan los registros como en el caso anterior.

b) *Cultivos de árboles y arbustos perennes.*

Las plantas perennes tienen una reacción más uniforme a los factores ambientales y por consiguiente las observaciones fenológicas pueden hacerse en un número menor de plantas. La mayoría de las plantas perennes son árboles o arbustos. Dentro de éstas se hace una diferenciación entre las que tienen un patrón estacional y aquellas que no la tienen.

Plantas con patrón estacional son las que tienen fases fenológicas de aparición simultánea en todas las plantas y en todas las ramas de una misma planta. Este comportamiento es típico de las perennes que crecen en latitudes medias y/o altas donde el desarrollo de las plantas está determinado por las condiciones de temperatura. En este tipo de plantaciones de árboles o arbustos (generalmente montes frutales) las observaciones y registros siguen un método particular. Para cada cultivo se seleccionan 10 individuos, los que deben ser de la misma variedad, de la misma edad –osimilar– y que presenten un desarrollo normal. Los árboles o arbustos se marcan con pintura indeleble y no tóxica o con etiquetas. Se seleccionan plantas representativas, desechándose aquellas que estén en la periferia de la plantación, o en las cercanías de cortinas rompevientos, así como las que presenten podas artísticas. Cada una de las 10 plantas debe ser observada como un todo, registrándose cada fase. El comienzo debe registrarse cuando sus características aparecen al menos en el 20 % de los individuos observados. Recordar que se toma para la observación el árbol o arbusto como un todo para realizar las observaciones.

Planta que ***no presentan un patrón estacional*** son aquellas que se cultivan en el ecuador o cercanías, donde prácticamente no existe variación de temperatura ni de la longitud del día. Dentro de una plantación de árboles frutales como el mango, café o cítricos, es común encontrar distintas fases fenológicas simultáneamente, en el predio observado o incluso en un mismo individuo. Para estos casos es difícil dar guías y normas estrictas para el registro de las observaciones, pero a diferencia de las anteriores, las observaciones no

deberán llevarse a cabo en la totalidad de la planta, sino en una de sus ramas, la que deberá ser identificada de igual forma que lo detallado anteriormente.

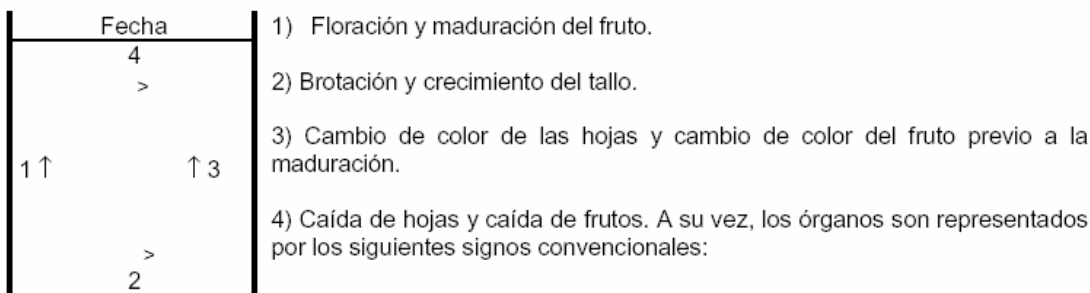
En cuanto a cultivos de **huerta, medicinales y aromáticas** las observaciones fenológicas seguirán el criterio en cuanto a la clasificación como ralos, densos, perennes, etc. En general, las fases que pueden presentar son:

- Emergencia
- Transplante: cantidad de plantitas que arraigaron
- Maduración: comercial o industrial
- Floración: comienzo y plenitud
- Maduración de semillas y frutos
- Maduración de otros órganos de interés

Las labores:

- Siembra
- Cosecha de semillas o frutos
- y Recolección de raíces, rizomas, bulbos o tubérculos.
- No son consideradas fases.

Existen diversos modelos de **registros fenológicos** tanto para cultivos densos como ralos se realizan de igual forma. En cada observación se cuentan el número de plantas que presentan características de una fase dada. En 1953 el Ing. Ledesma propuso un registro adaptado especialmente para plantas perennes, que consiste en el registro simultáneo del desarrollo de los procesos fenológicos de toda la planta. Es conocido como **Registro fitofenológico integral de Ledesma**. Se utiliza una serie de cuadritos por fecha de observación, donde se registra lo observado mediante signos convencionales para cada uno de los órganos. Los cuadritos, consecutivos de 10 o 12 mm. de lado, deben llevar la fecha y cada lado del mismo está destinado a una fase determinada como se indica en el esquema.



Simbología	Descripción
. (punto)	órganos en preparación o proceso parcialmente cumplido
- (guión)	todos los órganos menos el fruto
~ (guión ondulado)	únicamente para el fruto
v (letra v)	para indicar fruto verde
m (letra m)	para indicar fruto maduro

De igual forma, la intensidad de los procesos observados se cuantifican en cada uno de los cuadrados por el número de signos (desde ninguno o 0, hasta repetir cinco veces el signo que es el máximo) los que siguen la dirección de las flechas.

Las observaciones en **pasturas o praderas**, debido a la diversidad de especies, hábitos de crecimiento, desarrollo de masa verde, morfología y estructura de la canopia, etc. deberán adaptarse para que responda a lo programado por el observador. Las observaciones pueden realizarse en praderas con los animales en pastoreo, pero para investigaciones específicas es mejor seleccionar la parcela y delimitarla. Es conveniente que las mismas no sean inferiores a 2.500 m² (50 m x 50 m), programándose una de estas parcelas para cada año de observación. En el método propuesto por Todorov, la parcela de 2.500 m² deberá dividirse en tres partes principales, dedicándose la I y III para las observaciones fenológicas y estado de las plantas y la II a observaciones fenométricas y estado de suelo, fundamentalmente humedad. Cada una de estas partes dedicadas a la fenología deberá subdividirse en dos para obtener cuatro réplicas. Como una pradera consta generalmente

de más de dos especies botánicas, las observaciones se llevan a cabo en las dos o tres más importantes desde el punto de su valor nutricional. Se usa igual criterio que para las observaciones en cultivos agrícolas, respecto a los días y horas. Se debe observar 40 plantas para cada especie botánica (10 de cada una de las réplicas). Dependerá de la estructura de la especie observada el criterio de seguimiento, si son altas y fácilmente identificables el método ralo y si presentan porte denso y rastrero el de cultivos densos. En cuanto a la fenometría, es fundamental la medición de cobertura por m² y el incremento en masa vegetativa.

Observación del estado de los cultivos ya que los factores meteorológicos afectan no sólo el desarrollo de los cultivos sino también su estado (buen estado, moderado, regular) se recomienda realizar las siguientes observaciones que complementaran todo informe fenológico:

- Evaluación general del estado de las plantas;
- densidad del área de cultivo;
- altura de las plantas;
- daños producidos por fenómenos meteorológicos adversos;
- daños producidos por pestes o enfermedades;
- extensión de la maleza;
- rendimiento de las cosechas.

El registro del estado de los cultivos debe contener una columna que indique la fase fenológica en que se encuentre el cultivo. Las evaluaciones de los cultivos se realizan cada 10 días. Las mismas se hacen sobre todas las plantas que hay en la parcela analizada y no en algunas como en las observaciones fenológicas. La evaluación se hace visualmente y para ello el observador debe conocer la especie a evaluar y estar bien informado de lo que se consideran condiciones meteorológicas normales en la región. Para la evaluación hay que tener en cuenta los siguientes factores: salud de las plantas, uniformidad y densidad del área sembrada, cantidad de malezas en el terreno, etc. Para el registro se utilizan cinco “grados” o “marcas”.

ESTADO DE LOS CULTIVOS

Marca 5: estado excelente. Plantas fuertes, sanas, bien enraizadas y desarrolladas. Densidad sembrada óptima sin pérdidas de plantas. Sin malezas. (Un grado 5 es típico de años con buenas condiciones meteorológicas debiendo esperarse un rendimiento a cosecha mayor que en años normales).

Marca 4: muy buen estado. La diferencia con el anterior es debido a pequeñas deficiencias, con algunas plantas no muy sanas o fuertes, faltan plantas, hay un poco de malezas, pequeños daños causados por fenómenos meteorológicos adversos, pestes o enfermedades. Sin embargo es posible obtener cosechas mejores que en años normales.

Marca 3: estado normal. La altura y condiciones de las plantas, la densidad del área sembrada, la cantidad de maleza, los daños por fenómenos meteorológicos adversos, las pestes o enfermedades son las comunes y, por consiguiente, se puede esperar un rendimiento normal.

Marca 2: estado insatisfactorio. La densidad en el terreno es insuficiente, hay pérdida de plantas, debido a condiciones meteorológicas adversas, las pestes o enfermedades, la altura y la condición de las plantas está por debajo de lo normal. Debe esperarse un rendimiento inferior a lo normal.

Marca 1: mal estado. Plantas pequeñas, débiles y en malas condiciones. En realidad las plantas están sufriendo los efectos de condiciones meteorológicas desfavorables o daños por fenómenos adversos como pestes o enfermedades. Debe esperarse rendimientos muy bajos.

También pueden registrarse cada una de las apreciaciones mediante escalas como la siguiente:

“**M**” (**Malo**): más del 75 % de la parcela afectada.

“**R**” (**Regular**): entre el 50 y el 75 % de la parcela afectada.

“**B**” (**Bueno**): entre el 25 y el 50 % de la parcela afectada.

“**MB**” (**Muy bueno**): menos del 25 % de la parcela afectada.

Para el caso de malezas, insectos o enfermedades, puede ser:

“**0**”: sin malezas, insectos o enfermedades, o menos del 25 % afectado.

“**1**”: poca presencia. Entre 25 y 50 % afectado.

“**2**”: mediana presencia. Entre 50 y 75 % afectado.

“**3**”: mucha presencia, más del 75 % afectado.

Hay varios fenómenos meteorológicos que pueden causar daños a los cultivos, entre ellos:

sequías: períodos secos de larga duración o durante los períodos críticos en agua. Los episodios secos son especialmente dañinos cuando la temperatura del aire es alta y a la vez la humedad muy baja. El efecto en las plantas puede ser gradual y puede expresarse como hojas que se marchitan durante el día recobrando la turgidez por la noche, hojas que se tuercen, amarilleo de hojas, caída de hojas, flores o frutos, etc.

Granizo, fuertes aguaceros, tormentas: los daños causados son caída y/o despedazamiento de hojas, flores o frutos, rotura de ramas o plantas completas, etc.

Heladas y otras temperaturas adversas: con las heladas las plantas se ven marchitas a pesar de permanecer verdes, oscurecimientos de partes del vegetal, caída de flores y frutos. Las temperaturas muy altas también influyen en el desarrollo de los vegetales, sobre todo si ocurren durante la floración o la madurez.

Malezas: En cuanto a la extensión de la maleza se debe observar y determinar por que ésta afecta el estado y rendimiento del cultivo. Se estima visualmente y se expresa de acuerdo a las siguientes “**señales**”:

Señal 5: no hay ninguna maleza.

Señal 4: se pueden observar malezas pero hay muy pocas.

Señal 3: muy pocas malezas pero más que en 4.

Señal 2: cantidad considerable de malezas pero sin estrangular las plantas.

Señal 1: gran cantidad de malezas, invadiendo las plantas y estrangulándolas.

El Ensayo Territorial de Resistencia de Enfermedades (E.T.R.E.) que lleva adelante el INTA registra las enfermedades de los cereales invernales tomando en cuenta el momento de aparición de la enfermedad y su grado de ataque.

Otros conceptos a tener en cuenta al evaluar un cultivo son:

Rendimiento: es la producción (qq/ha o kg/ha de grano, Ton./ha de forraje) que produce un determinado cultivo en un ciclo, bajo las condiciones que se registraron en ese mismo período.

Productividad: es la producción, que potencialmente podría alcanzar un cultivo bajo condiciones óptimas para su desarrollo.

Resistencia: es la capacidad que posee un cultivo, variedad o híbrido para soportar diferentes condiciones adversas para su desarrollo, sean meteorológicas, enfermedades, u otras sin llegar a sufrir daños mayores.

Rusticidad: Es la capacidad de adaptación.-sin mayores inconvenientes- que presenta una variedad, híbrido de un cultivo en aquellas zonas donde las condiciones no sean del todo favorables.

8.3 OBSERVACIONES FENOLÓGICAS SEGÚN ESCALAS DECIMALES

8.3.1 Introducción

En el ciclo de vida de una célula, órgano, planta o cultivo transcurren dos tipos de procesos simultáneos e interdependientes: el crecimiento y el desarrollo. El **crecimiento** involucra *aumento de tamaño* (área, volumen, masa), mientras que el **desarrollo** es la sucesión progresiva de *estados diferenciados fisiológica y/o morfológicamente*. A nivel de cultivo, el desarrollo involucra la sucesiva generación de estructuras vegetativas o reproductivas. La organogénesis, además de producir cambios morfológicos en las plantas, es clave en la definición de los patrones de partición de biomasa.

Ambos procesos, crecimiento y desarrollo, se encuentran bajo control genético y están modulados por factores ambientales. Consecuentemente, el patrón de crecimiento y desarrollo fenológico puede diferir entre variedades de una especie y, para una variedad dada, con las condiciones ambientales. La temperatura y el fotoperíodo son los factores ambientales que tienen mayor influencia sobre el desarrollo de los cultivos. Estos factores son tan importantes que, algunas cuestiones agronómicas básicas, tales como que, como y cuando sembrar, están directamente dictados por los requerimientos térmicos y fotoperiódicos de los cultivos. Varios autores coinciden que en trigo, girasol y soja, el patrón de desarrollo fenológico es el carácter varietal más importante en la adaptación de los cultivos a ambientes con problemas de deficiencias hídricas.

Las observaciones fenológicas en la agricultura son de suma importancia, ya que el conocimiento de las necesidades ecológicas de una especie vegetal o determinada especie o raza animal, permite una mejor elección del tipo de producción a implementar en una zona o región. Es decir que, la observación y cuantificación de los distintos fenómenos de los animales y vegetales, que se relacionan con los elementos y

factores climáticos, significan un paso en el conocimiento de las formas y metodologías que permitan un uso racional del medio ambiente en beneficio de la producción.

8.3.2 Escalas fenológicas:

Son escalas que señalan mediante la observación de signos macroscópicos (e.g. antesis) y microscópicos (e.g. iniciación floral), los estadios relevantes del ciclo del cultivo. Para un cultivo anual los estadios normalmente considerados son siembra, emergencia, iniciación floral, antesis, madurez fisiológica y madurez de cosecha. Dada la diversidad de intereses y objetivos, cada cultivo cuenta con varias escalas fenológicas.

Se puede definir con relativa precisión el estado fenológico de una planta individual, pero para la descripción de un cultivo se debe tener en cuenta la variación entre las plantas. Normalmente se considera que se alcanza un determinado estado cuando el 50% de las plantas se encuentran en él.

Para los cultivos tradicionalmente realizados en nuestra provincia y en la región agrícola de nuestro país, las escalas fenológicas de mayor aceptación son:

- **Trigo:** Escala de Zadocks
- **Soja:** Escala de Fehr *et al.*
- **Maíz:** Escala de Ritchie y Hanway
- **Girasol:** Escala de Schneiter y Miller

Todas éstas se basan en signos microscópicos de los cultivos e involucran tanto procesos de desarrollo como de crecimiento para describir los diferentes estados. Esta particularidad es importante al analizar los estados y procesos de desarrollo junto a los factores climáticos que los regulan y modifican. Los estados pueden modificarse por el crecimiento, dependiendo en este caso de la temperatura como principal factor regulador, o por ejemplo pueden modificarse por la diferenciación de estructuras reproductivas, actuando como reguladores tanto la temperatura como el fotoperíodo.

8.3.3 TRIGO: Escala de Zadocks:

Esta escala divide el ciclo del cultivo en 10 etapas principales, donde cada una de éstas es subdividida a su vez en 10 etapas secundarias.

Estados principales descritos en la escala de Sadocks *et al.*

0 – GERMINACIÓN	5 – EMERGENCIA DE INFLORESCENCIA
1 – CRECIMIENTO DE PLÁNTULA (hojas -hasta 4ta. Hoja)	6 – ANTESIS
2 – MACOLLAJE (macollos - desde 4ta. Hoja)	7 – DESARROLLO LECHOSO DEL GRANO
3 – ELONGACIÓN DEL TALLO (nudos – elongación del tallo)	8 – DESARROLLO PASTOSO DEL GRANO
4 – ESTADO DE BOTA	9 - MADUREZ

Durante el período siembra – emergencia se diferencian en el ápice nuevos primordios foliares y se produce el crecimiento del coleóptilo y el epicótilo, que crecen hasta que el primero alcanza la superficie del suelo y percibe la luz. Desde la aparición de la primera hoja a través del coleóptilo, las demás aparecen regularmente a un intervalo constante de sumas térmicas denominado filocrono.

Este período de aparición de hojas hasta la hoja bandera, se caracteriza por tres etapas:

1^a) Premacollaje: desde emergencia hasta 4^a hoja. Solo se observa aparición y crecimiento de hojas. Este estado se denomina 1 y las subdivisiones indican el número de hojas expandidas en el tallo principal, de esta manera una planta con 3 hojas expandidas le corresponderá el estado Z_{13} .

2^a) Macollaje: aparición de macollos con alto grado de sincronía con la aparición de hojas. La emergencia del macollo de la primera hoja coincide con la aparición de la punta de la 4^a hoja del vástago

principal. Los siguientes macollos principales emergen a intervalos de un filocrono, regla válida también para los macollos secundarios. Cabe aclarar que los macollos primarios son los que crecen desde el tallo principal y los secundarios son los que lo hacen desde los macollos primarios. De manera similar que en el estado 1, en el 2 el segundo dígito indica el número de macollos visibles en la planta. Siguiendo la misma lógica, una planta con 3 macollos visibles estará en el estado Z_{23} .

3ª) Encañazón: se elongan los entrenudos dando origen al tallo verdadero. Se extiende hasta alrededor de la floración. Esta etapa incluye la aparición de las últimas hojas y el período inmediatamente posterior hasta que se visualiza la hoja bandera con la lámina desplegada. Este estado es coincidente con el de vaina engrosada. Para la elongación del tallo, la subdivisión del estado en la escala responde al número de nudos visibles que tiene el macollo a muestrear. De este modo si se observan 3 nudos, el estado será Z_{33} .

4ta) Estado de bota: momento en el que la espiga está encerrada en la vaina de la hoja bandera. En este momento es muy sensible a heladas, estrés hídrico y altas temperaturas.

5ta) La emergencia de la inflorescencia (espigazón), corresponde al estado 5 y ocurre inmediatamente antes que a floración. Es la primera señal macroscópica de que la planta está en estado reproductivo, aunque la espiga ya fue desarrollada con anterioridad. El período espigazón - antesis resulta crítico para la ocurrencia de heladas y es función de esto que se determina las fechas de siembra. La antesis corresponde al valor 6 de la escala.

6ta.) Antesis.

7ta, 8ª y 9ª) Entre la floración y la madurez se produce el llenado de los granos. Al llegar a la madurez fisiológica los granos alcanzan su máximo tamaño. Desde este momento hasta la cosecha solo les resta perder humedad en los granos. Estas etapas se denominan con los números 7, 8 y 9, para grano lechoso, pastoso y madurez respectivamente.

La figura 6 muestra un esquema con los estadios y los componentes del rendimiento determinado en cada uno. Hasta el estado 2 inclusive el muestreo se realiza observando la planta entera. A partir del estado 3, los macollos son considerados como unidades independientes y son estos, en forma individual, los que se utilizan en cada observación.

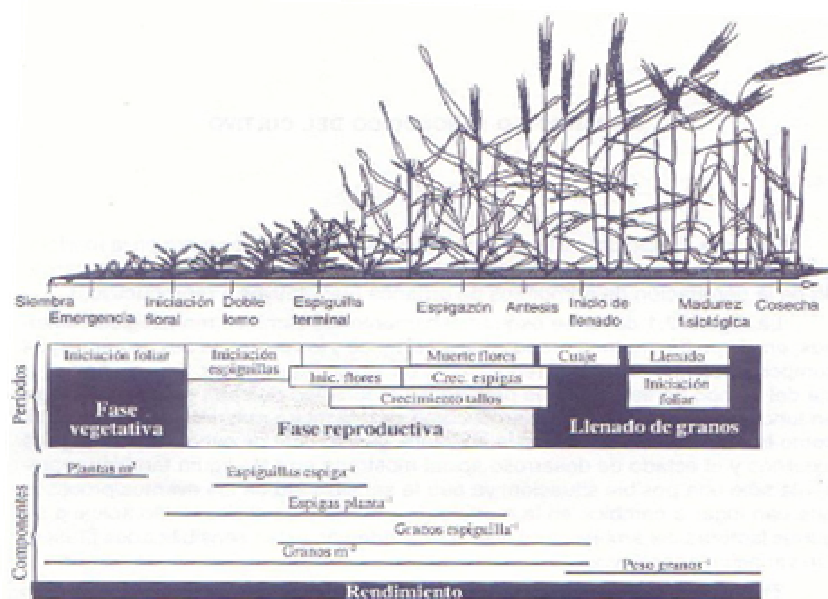


Figura 6: Diagrama del crecimiento y desarrollo de un cultivo de trigo. Se muestran los períodos de diferenciación o crecimiento. También se muestran las etapas que dan lugar al número final de componentes del rendimiento. Extraído de Producción de Granos (Satorre *et al.*).

(Nota: Ver en Material complementario [1. Trigo regado Fases.mht](#) y otros documentos de la FAO)

8.3.4 SOJA: Escala de Fehr *et al.*

A los fines prácticos se considera, en la descripción de esta escala, una soja de hábito de crecimiento indeterminado de grupo de madurez 3. Esta escala distingue 2 etapas principales, una **vegetativa (V)** y una

reproductiva (R). En este cultivo, a diferencia de los otros que se describen en esta guía, se produce una superposición de los estados vegetativos con los reproductivos.

Con respecto a esta característica cabe aclarar que la transición del estado vegetativo al reproductivo para trigo, maíz y girasol es marcado: la diferenciación de estructuras vegetativas cesa cuando el ápice de transforma en reproductivo. En cambio en la soja el cambio es más gradual y coexisten en el tiempo meristemas vegetativos y reproductivos. Esta característica hace que se denomine a la soja como determinada o indeterminada según la magnitud de la superposición de estados vegetativos y reproductivos.

Estados de desarrollo	
Vegetativos	
Ve	Emergencia
Vc	Cotiledones
V1	1º nudo
V2	2º nudo
V3	3º nudo
Vn	n-simo nudo
Reproductivos	
R1	Comienzo floración
R2	Floración en nudo n-1
R3	Vaina de 5 mm de longitud en nudo > n-4
R4	Vaina de 20 mm de long en nudo > n-4
R5	Comienzo de llenado de granos en nudo > n-4
R6	Semillas verdes de tamaño máximo en nudo > n-4
R7	Comienzo de madurez
R8	Madurez plena

- Estados vegetativos:

En la emergencia se observa el epicótilo y los cotiledones, ambos empujados por el hipocótilo curvado hacia abajo. Cuando los cotiledones emergen, el cultivo ha alcanzado el estado de Ve. Luego el hipocótilo se endereza y detiene su crecimiento, desplegándose los cotiledones. La emergencia y despliegue de una hoja unifoliada indica el estado Vc, quedando expuesto el meristemo apical.

Posteriormente se van desarrollando las hojas trifoliadas, sucediéndose los diferentes estados Vn (desde V1 hasta Vn, donde n indica el número máximo de hojas que desarrolla la planta). *Para identificar el estado vegetativo se considera la hoja que se encuentra totalmente desplegada.* Para que una hoja se pueda considerar como desplegada los bordes de las hojas no deben tocarse entre sí.

- Estado reproductivos:

La entrada a la fase reproductiva se caracteriza por el cambio de estado de un meristema axilar, progresando hacia los restantes meristemas y deteniendo la diferenciación de estructuras vegetativas recién cuando alcanza el meristema apical. Es importante relacionar el desarrollo de estructuras vegetativas (hojas) con el rendimiento del cultivo, puesto que cada nudo es un sitio de potencial desarrollo de vainas. También hay que considerar que la inducción floral en la soja se acelera con días de bajo fotoperíodo, condición que limitaría el desarrollo de las estructuras vegetativas por un rápido cambio del meristema a un estado reproductivo.

Es importante mencionar que la soja posee una variada respuesta al fotoperíodo. Esto ha llevado clasificar las variedades en grupos de madurez que van desde el grupo “00” hasta el “X”, pasando por los valores intermedios del 1 hasta el 10. A mayor número, mayor es la sensibilidad al fotoperíodo (e.i. florecen aun con días cortos).

Cuando el frente de **floración alcanza el nudo n-1** se define el estado fenológico **R2**. En cuanto al estado **R3**, este se logra cuando alguno de los 4 nudos superiores con una hoja totalmente expandida presenta una **vaina de 5mm** de longitud. Es en este período donde factores estresantes para el cultivo puede reducir el número de vainas, pero la pérdida puede ser compensada con la formación de nuevas flores y frutos.

Para alcanzar el estado **R4** la planta debe desarrollar una **vaina de 20mm** en cualquiera de los 4 nudos superiores del tallo principal con una hoja completamente desarrollada. Cuando comienza el período efectivo del llenado de los granos, las vainas ya han alcanzado su máximo tamaño.

El estado **R5** se alcanza cuando una vaina situada en algunos de los 4 nudos superiores del tallo principal posee **semillas de 3mm** de longitud. Aproximadamente en el estadio 5,5 (intermedio entre estadio 5 y 6) la planta alcanza la mayor altura, área foliar y número de nudos.

En **R6** las vainas superiores del tallo principal tienen **semillas que ocupan completamente la cavidad de la vaina**. El estado **R7** corresponde a la **madurez fisiológica** de las primeras vainas, mientras que **R8** corresponde a la **madurez de cosecha**

El período más crítico para la determinación del rendimiento comienza en R3-R4 y se extiende hasta R6. El período R4,5 a R5,5 es especialmente crítico pues la floración se completa y las vainas y semillas pequeñas pueden abortar bajo condiciones ambientales no adecuadas.

La figura 7 muestra el crecimiento y los componentes del rendimiento que se determinan en cada estado, junto a los factores climáticos que ejercen mayor influencia.

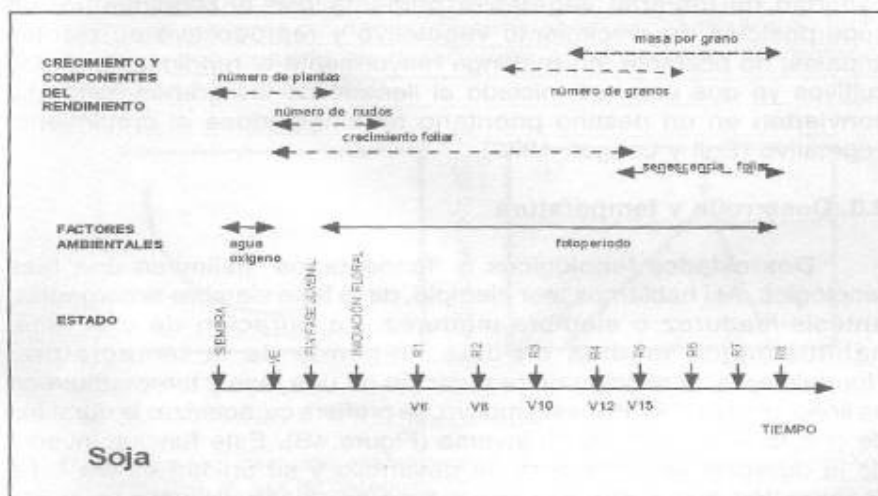


Figura 7: Componentes del rendimiento determinados en cada estado fenológico de la soja junto a los factores climáticos de mayor influencia. (Bases para el manejo del maíz, el girasol y la soja. Andrade y Sadras, 2000)

(Nota: Ver en Material complementario [1. Ecofisiología Soja 1.htm](#) , [Fenología de soja](#) y otros documentos.

8.3.5 MAIZ: Escala de Ritchie y Hanway

Es una de las escalas más utilizadas para describir el desarrollo del cultivo de maíz. Al igual que la escala de Fehr *et al.*, esta divide las etapas en **vegetativas (V)** y **reproductivas (R)**. Como la mayoría de las escalas agronómicas no distingue los estadios reproductivos previos al panojamiento, aunque describe con detalle los estados de crecimiento del grano.

Estados fenológicos	
Estados Vegetativos (V)	
Ve	Emergencia
V1	1ª hoja con lígula visible
V2	2ª hoja con lígula visible
Vn	Enésima hoja
Vt	Panojamiento
Estados reproductivos (R)	
R1	Emergencia de estigmas
R2	Cuaje
R3	Grano lechoso
R4	Grano pastoso
R5	Grano dentado
R6	Madurez fisiológica

- Estados vegetativos:

La emergencia de la radícula es seguida por el crecimiento del coleóptilo seguido por la plúmula. El mesocótilo se extiende acercando el coleóptilo a la superficie, hasta que la planta emerge alcanzando el estado V_e .

Los estados posteriores se determinan contando la cantidad de hojas completamente desplegadas. Se considera que se alcanzó esta condición cuando se puede observar la lígula.

El estado V_t se alcanza cuando la última ramificación de la panoja es visible y se inicia la liberación de polen. En este estado las plantas alcanzan la máxima altura y área foliar.

- Estados reproductivos:

El estado R_1 consiste en la emergencia de los estigmas a través de las vainas que cubren la espiga. La antesis determina el total de óvulos fertilizados, pero no es suficiente para la fijación de los granos, proceso que abarca unos 20 días centrados en la floración. Este es el momento más crítico para la determinación del rendimiento.

En R_2 se produce el cuaje de los granos, que se presentan con un aspecto semejante a una ampolla blanca. Por otro lado los estigmas alcanzan un color oscuro y comienzan a secarse. En el estado R_3 los granos alcanzan un aspecto lechoso, son amarillentos por fuera y su líquido interno es blanquecino. Un estrés en este estado afectará principalmente el peso de los granos.

Debido a la intensa acumulación de almidón, los granos toman un aspecto pastoso alcanzando así el estado R_4 . En esta etapa comienza a secarse la parte superior del grano provocando la dentición. En el estado R_5 se completa la dentición del grano. El marlo adquiere color rojo oscuro y los granos comienzan a perder humedad desde la parte superior. Aparece una línea blanca del lado opuesto del embrión que avanza hacia la base del grano a medida que este madura.

La madurez fisiológica corresponde al máximo peso seco de los granos. Las hojas y vainas han senescido, aunque el tallo puede permanecer verde. La capa de almidón avanzó completamente a la base del grano y se forma una capa de abscisión marrón o negra, por el necrosamiento de los haces vasculares que alimentan al grano. Este proceso ocurre desde los granos superiores de la espiga hacia los inferiores.

La figura 8 muestra el crecimiento y los componentes del rendimiento que se determinan en cada estado del cultivo maíz, junto a los factores climáticos que ejercen mayor influencia.

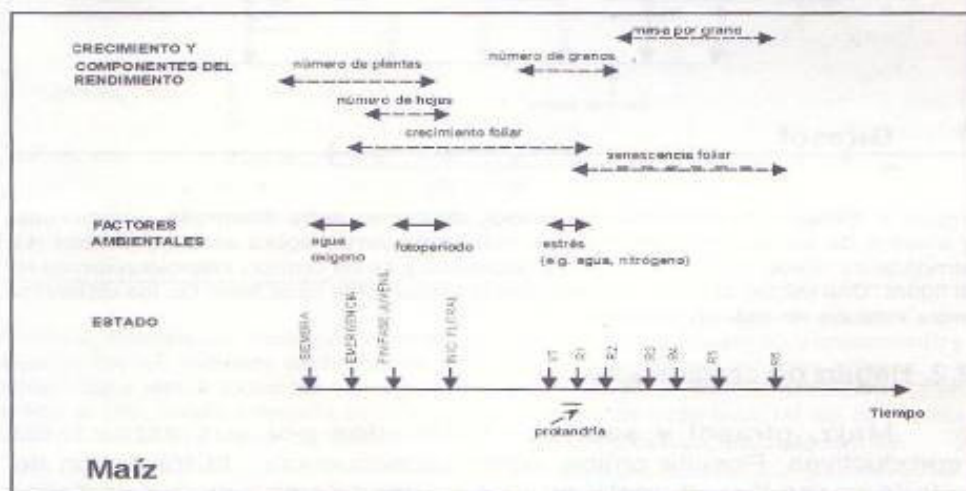


Figura 8: Componentes del rendimiento determinados en cada estado fenológico del maíz junto a los factores climáticos de mayor influencia. (Bases para el manejo del maíz, el girasol y la soja. Andrade y Sadras, 2000)

(Nota: Ver en Material complementario/textos pdf [1. Maíz Fisiología Fenología.pdf](#) y otros documentos.)

8.3.6 GIRASOL: Escala de Schneiter y Miller:

Esta escala igual que la de maíz y soja hace diferencia en los estados vegetativos y reproductivos, indicando con la letra **V** los primeros y con la **R** los segundos. En coincidencia con las otras dos escalas mencionadas, esta también considera aspectos macroscópicos del desarrollo para identificar los diferentes estados.

- Estados Vegetativos:

Luego de la siembra, bajo condiciones ambientales favorables, la radícula atraviesa las cubiertas seminales y el hipocótilo se alarga hasta llegar a la superficie del suelo y los cotiledones emergen. Pero la implantación se considera completa cuando aparece la primera hoja verdadera.

Luego de la emergencia se suceden los estados V1, V2, V3, Vn, siendo n el número final de hojas verdaderas mayores de 4 cm de longitud.

- Estados reproductivos:

El proceso de diferenciación del ápice vegetativo a reproductivo es gradual, comenzando en la periferia del primordio del capítulo y terminando con los círculos florales centrales. Este momento de diferenciación depende de la temperatura y el fotoperíodo.

R1 es alcanzado cuando la inflorescencia, rodeada por brácteas inmaduras, se hace visible con apariencia de estrella. El estado R2 queda determinado cuando el tallo que sostiene la inflorescencia alcanza 0,5 a 2 cm. Durante R3 el entrenudo continúa alargándose, ubicando el receptáculo a más de 2 cm por encima de las hojas circundantes. Cuando la inflorescencia comienza a abrirse y se pueden observar las flores liguladas, se alcanza el estado R4. El estado R5 corresponde a la antesis, la que avanza en sentido centrípeta en el capítulo, pudiendo dividirse en subestadios según el porcentaje del área que se encuentra en antesis. El final de la floración determina el periodo R6.

Finalizada la floración comienza el llenado de granos, que abarca desde R7 a R9. En R7 la parte posterior de la inflorescencia comienza a amarillarse. Cuando ésta se encuentra totalmente amarilla, pero las brácteas continúan verdes se inicia el estadio R8. Cuando las brácteas se vuelven amarillas y la parte posterior del capítulo toma color marrón, se alcanza el estadio R9. Este es el momento considerado como madurez fisiológica.

Bibliografía

- CONRAD, V. e I. POLLAK, 1950. "Methods in Climatology". Harvard University Press Cambridge, U.S.A..
- GARABATOS, M, 1990. "Temas de Agrometeorología. Orientación. Gráfica." Editora. Tomo 1 y Tomo 2. Bs. As.
- LOMAS, J y R. W. Gloyne, 1988. "Compendio de apuntes para la formación de personal agrometeorológico de las clases y III". Nota Técnica N° 551, OMM, Ginebra, Suiza.
- LONGLEY, R., 1973. "Tratado ilustrado de Meteorología". Ed. Bell, Bs. As.
- PETTERSEN, S. 1974 "Introducción a la meteorología". Espasa Calpe. Arg. S.A. Buenos Aires.
- DE FINA Armando L. y A. C. RAVELO. "Climatología y Fenología Agrícolas", EUDEBA, 1973.
- GLOYNE R. W. y J. LOMAS. "Compendio de apuntes para la formación del personal agrometeorológico de las Clases II y III" OMM N° 551, Ginebra, Suiza, 1988.
- PLANCHUELO-RAVELO Ana, A. C. RAVELO y A. J. PASCALE. "Seminario en Fenología Agrícola", Apuntes, Quito, Ecuador, 1987.
- RUGGIERO, R. A. "Fenología Vegetal y Animal". Instituto de suelos y agrotecnia, Tirada Interna N°4, INTA, 1967.
- TODOROV, A. V. "Compendio de apuntes de meteorología agrícola para la formación del personal meteorológico de la Clase IV" OMM N° 593, Ginebra, Suiza, 1985.
- Sadras, V. O. y F. J. Villalobos. 1994. Physiological characteristics related to yield improvement in sunflower (*Helianthus annuus* L.) pp. 287-320. En: G. A. Slafer (Ed.) Genetic Improvement of Field Crops. Marcel Dekker, New York.
- Roberts, E., R. Summerfield, R. Ellis y A. Qi. 1993. Adaptation of flowering in crops to climate. Outlook in Agriculture 22:105-110.
- Revista Brasileira de Meteorologia, v.22, n.1, 75-82, 2007, [en](http://www.scielo.br/pdf/rbmet/v22n1/a08v22n1.pdf)