

Un higrómetro que para calcular la humedad se vale de la diferencia de temperaturas entre un termómetro con el bulbo seco y otro con el bulbo húmedo, normalmente se denomina psicrómetro.

Unidad de medida

En física, y especialmente en meteorología, se establece que para una presión y temperatura dadas, el aire tiene una capacidad máxima de contener vapor de agua (humedad de saturación). La humedad relativa del aire se define como el cociente entre la humedad que contiene el aire y la humedad de saturación, expresado en tanto por ciento [%].

Varía entre el 0% (aire completamente seco) y el 100% (aire completamente saturado).¹

Evolución histórica

Higrómetro de Daniell

El desarrollo histórico de los higrómetros contempla una serie de hallazgos que permitieron determinar cada vez con mayor precisión el grado de humedad relativa del aire:²

(1480) Un primer higrómetro muy primitivo fue inventado por Leonardo da Vinci³

(1664) El médico italiano Franco Folli construye el primer higrómetro práctico.

(1687) El físico e inventor francés Guillaume Amontons desarrolló un tipo de higrómetro similar a un barómetro utilizando tres líquidos distintos.

(1755) El polímata alemán Johann Heinrich Lambert, trabajando en la mejora de este instrumento, acuña el término "higrómetro".

(1783) El naturalista suizo Horace-Bénédict de Saussure inventa el higrómetro de tensión de cabello.

(1790 c) El científico británico James Hutton idea el primer psicrómetro.

(1820) El químico y físico británico John Frederic Daniell diseña el primer higrómetro basado en la detección del punto de rocío.

(1890 c) El meteorólogo alemán Richard Assmann desarrolla el psicrómetro de corriente de aire forzada.

A partir de la segunda mitad del siglo XX, con el desarrollo de la electrónica transistorizada, se han diseñado nuevos tipos de higrómetros, en los que se han sustituido los termómetros convencionales por termómetros digitales, aunque para determinar la humedad relativa del aire se siguen utilizando los mismos principios físicos laboriosamente descubiertos a lo largo de más de 500 años de continuas investigaciones.

Higrómetros clásicos

Higrómetro de bobina de metal-papel

El higrómetro de bobina de metal-papel es muy útil para dar una indicación lineal de los cambios de humedad. Se utiliza frecuentemente en dispositivos muy baratos, y su precisión es limitada, con variaciones del 10% o más. En estos dispositivos, el vapor de agua es absorbido por una tira de papel impregnada de sal, unida a una bobina de metal, haciendo que la bobina metálica cambie de forma por la variación de la dureza del papel provocada por el cambio de humedad. Estos cambios (análogos a los de un termómetro bimetalico) proporcionan una indicación en un dial haciendo girar una aguja.

Higrómetros de tensión de cabello

Higrómetro de Sature de un texto de química de 1861

Estos dispositivos utilizan un cabello humano o animal sometido a tensión. El pelo es higroscópico (es decir, tiende a retener la humedad); su longitud cambia con la humedad, y mediante un sistema amplificador mecánico es posible leer estos cambios de longitud en un dial a escala. A finales de la década de 1700, estos dispositivos fueron llamados por algunos científicos higroscopios; esta palabra ya no está en uso actualmente, pero higroscópico e higroscopía, que se derivan de ella, todavía se usan. El dispositivo tradicional conocido como casita del tiempo (muy popular en Europa central) está basado en este principio.

En 1783, el físico y geólogo suizo Horace Bénédict de Saussure (1740-1799) construyó el primer higrómetro de tensión de cabello utilizando pelo humano.

Se compone de un cabello humano de ocho a diez pulgadas (entre 20 y 25 cm) de largo, b c, Fig. 37, fijado en un extremo a un tornillo, y en el otro, que pasa sobre una polea, c, es tensado por un hilo de seda del que pende el peso, d. La polea está conectada a un índice que se mueve sobre una escala graduada (e-e'). El instrumento se puede hacer más sensible mediante la eliminación de los aceites del cabello, sumergiéndolo previamente por ejemplo en éter etílico.⁴

John William Draper. Libro de texto de Química

Barbas de ballena u otros materiales pueden ser utilizados en lugar del cabello. En este sentido, el científico suizo radicado en Inglaterra Jean-André Deluc (1727–1817), publicó en las Transacciones Filosóficas el anuncio de un nuevo higrómetro parecido a un termómetro de mercurio, con un bulbo de marfil que al expandirse por la humedad provocaba el descenso del mercurio.⁵ Posteriormente ingenió un higrómetro basado en una barba de ballena, lo que provocó el estallido de una amarga controversia con de Saussure.⁶

Psicrómetros (termómetros de bulbos húmedo y seco)

Artículo principal: Psicrómetro

1861 diagrama de un psicrómetro con bulbo húmedo (a) y bulbo seco (b). El bulbo húmedo está conectado a un depósito de agua.

Interior de un abrigo meteorológico mostrando un psicrómetro motorizado

Un psicrómetro (o termómetro de bulbo seco y húmedo), consta de dos termómetros, uno que está seco y otro que se mantiene húmedo con agua destilada en una funda de tela o mecha. Los dos termómetros se denominan así de bulbo seco y de bulbo húmedo. A temperaturas por encima del punto de congelación del agua, la evaporación del agua de la mecha reduce la temperatura, por lo que el termómetro de bulbo húmedo por lo general muestra una temperatura más baja que la del termómetro de bulbo seco. Sin embargo, cuando la temperatura del aire está por debajo de la congelación, el bulbo húmedo se cubre con una fina capa de hielo y puede estar más caliente que el bulbo seco.

La humedad relativa se calcula a partir de la temperatura ambiente (marcada por el termómetro de bulbo seco) y de la diferencia de temperaturas (entre los termómetros de bulbo húmedo y de bulbo seco). La humedad relativa se puede determinar también mediante la localización de la intersección de las gráficas de las dos temperaturas en una carta psicrométrica. Cuando los dos termómetros coinciden, entonces el aire está completamente saturado; y cuanto mayor es la diferencia, más seco está el aire. Los psicrómetros se utilizan comúnmente en meteorología, y en la industria HVAC para determinar la carga refrigerante adecuada en los sistemas de aire acondicionado residenciales y comerciales.

También se utilizan versiones electrónicas digitales de este tipo de dispositivos, en las que la toma de las temperaturas seca y húmeda se realiza mediante termistores, realizándose de forma automatizada los cálculos necesarios para presentar el valor de la humedad en una pantalla numérica.

Psicrómetro giratorio

Psicrómetro giratorio para uso exterior

El psicrómetro giratorio, donde los termómetros están unidos a un mango o longitud de cuerda y se centrifugan en el aire durante unos pocos minutos, a veces se utiliza para mediciones de campo, pero está siendo sustituido por sensores electrónicos de uso más sencillo. Alternativamente, existen otros tipos de psicrómetro giratorio que utilizan el mismo principio, pero en los que los dos termómetros se montan en un dispositivo que se asemeja a una carraca, con un mango y una rótula.

Higrómetro electrónico

Higrómetro de punto de rocío

El punto de rocío es la temperatura a la que una muestra de aire húmedo (o cualquier otra de vapor de agua) a presión constante alcanza la saturación de vapor de agua. A esta temperatura de saturación, el enfriamiento adicional se traduce en la condensación del agua. Los higrómetros de punto de rocío de espejo enfriado son algunos de los instrumentos más precisos comúnmente disponibles. Utilizan un espejo enfriado y un mecanismo optoelectrónico para

detectar la condensación en la superficie del espejo. La temperatura del espejo es controlada por retroalimentación electrónica para mantener un equilibrio dinámico entre la evaporación y la condensación en el espejo, por lo tanto la medición se mantiene cerca de la temperatura del punto de rocío. Se puede obtener una precisión de 0,2 °C con estos dispositivos, que se correlaciona en los entornos típicos de oficina con una precisión de la humedad relativa de aproximadamente $\pm 1,2\%$. Estos dispositivos necesitan una limpieza frecuente, un operador experto y calibración periódica para alcanzar estos niveles de precisión. Aun así, son propensos a la acumulación de suciedad en entornos donde el humo o el aire impuro pueden estar presentes.

Higrómetros modernos

El uso de procesos de fabricación complementary metal-oxide-semiconductor (CMOS) industriales permite la integración del sensor y de la parte del proceso electrónico de la señal en un chip. También asegura una mayor fiabilidad, y una estabilidad excelente a largo plazo. Estos sensores permiten la toma de valores de temperatura y humedad del ambiente. Además, el protocolo de comunicación «serial sincrónico» los hace aptos para ser utilizados con todos los microcontroladores de Parallax y la mayoría de otras marcas. La principal ventaja de este tipo de sensores, en virtud de su sistema de comunicación digital, consiste en la facilidad de envío de datos a un computador para su posterior almacenamiento y análisis.

Capacitivos

Sensor electrónico de humedad capacitivo, con convertidor de analógico a digital integrado.

Para aplicaciones donde el costo, el espacio o la fragilidad son relevantes, se utilizan otros tipos de sensores electrónicos, a costa de una menor precisión. En los higrómetros capacitivos, se mide el efecto de la humedad en la constante dieléctrica de un material polimérico u óxido de un metal. Con una adecuada calibración, estos sensores tienen una precisión de $\pm 2\%$ en un rango comprendido entre el 5% y el 95% de humedad relativa. Sin calibración, la precisión es de 2 a 3 veces peor. Los sensores capacitivos son robustos frente a efectos tales como la condensación y las altas temperaturas temporales.⁷ Sin embargo, están sujetos a los efectos de la contaminación, el desajuste y los efectos del envejecimiento, pero son adecuados para muchas aplicaciones.

Resistivos

En los higrómetros resistivos se suele medir el cambio en la resistencia eléctrica de un material (habitualmente sales o polímeros conductores) debido a la humedad.⁷ Los sensores resistivos son menos sensibles que los sensores capacitivos, al ser el cambio en las propiedades del material menores, por lo que requieren circuitos más complejos. Las propiedades del material también tienden a depender tanto de la humedad como de la temperatura, lo que significa en la práctica que el sensor debe ser combinado con un segundo sensor de temperatura. La precisión y robustez contra la condensación varían dependiendo del material resistivo elegido. Existen sensores robustos, resistentes a la condensación con una precisión de hasta $\pm 3\%$ de la humedad relativa.

Térmicos

En los higrómetros térmicos, se mide el cambio en la conductividad térmica del aire debido a la humedad. Estos sensores miden la humedad absoluta en vez de la humedad relativa.⁷

Gravimétricos

Un higrómetro gravimétrico mide la masa de una muestra de aire en comparación con un volumen igual de aire seco. Es considerado como el principal método más exacto para determinar el contenido de la humedad en las normas nacionales de control del aire,⁸ siendo la base de los sistemas normativos desarrollados en los Estados Unidos, Reino Unido, Unión Europea y Japón. El inconveniente de utilizar este tipo de dispositivos es que por lo general sólo se utilizan como patrones de transferencia para calibrar instrumentos menos precisos.

Otros tipos

Entre otros tipos de estos dispositivos, existen los siguientes:

Higrómetros de absorción: Se utilizan sustancias químicas que, luego de absorber, exhalan la humedad, según las circunstancias.

Higrómetros eléctricos: Están constituidos por dos electrodos arrollados en espiral. Si a estos electrodos se les aplica una tensión alterna, el tejido se calienta, y una parte del contenido de agua se evapora.

A una temperatura definida se establece un equilibrio entre la evaporación, por calentamiento del tejido, y la absorción de agua de la humedad ambiente por acción de un compuesto químico muy higroscópico: el cloruro de litio: LiCl. A partir de estos datos se establece con precisión el grado de humedad.

Otras sustancias tienen la propiedad de cambiar de color por efecto de la humedad. Por ejemplo, el cloruro de cobalto (CoCl_2) se muestra azul en el sensor integrado de temperatura y humedad (Sensirion SHT11).

Aplicaciones

Además de en invernaderos y en espacios industriales, los higrómetros se utilizan en algunas incubadoras de huevos, saunas, humidores y museos. También se utilizan en el cuidado de los instrumentos musicales de madera tales como pianos, guitarras, violines y arpas, que pueden ser dañados por las condiciones de humedad inadecuadas. En entornos residenciales, los higrómetros se utilizan para ayudar en el control de la humedad (cuando es demasiado baja puede dañar la piel y el cuerpo humano, mientras que cuando es demasiado alta favorece el crecimiento de hongos y ácaros). En la industria de los recubrimientos tienen múltiples usos debido a que la aplicación de la pintura y otros recubrimientos puede ser muy sensible a la humedad y al punto de rocío. Con una necesidad cada vez mayor de mediciones, los psicrómetros se sustituyen actualmente por medidores de punto de rocío denominados dewcheck. Estos dispositivos hacen mediciones mucho más rápidamente, pero a menudo no están permitidos en entornos explosivos.

bibliografía

Barómetro

Psicrómetro

Termohigrógrafo

Enlaces externos[editar]

Wikimedia Commons alberga contenido multimedia sobre el Higrómetro.

Wikisource en inglés contiene el artículo de la Encyclopædia Britannica de 1911 sobre Higrómetro.

(Hygrometer.net) Completa información general sobre los higrómetros (en inglés)

Sitio de entrenamiento de medición de la humedad IMA (en inglés)

USATODAY.com: ¿Cómo trabaja un Psicrómetro? (en inglés)

Página NIST sobre la calibración de humedad (en inglés)

Artículo sobre la dificultad de calibración de la humedad (en inglés)

Artículo sobre sensores de humedad relativa (en inglés)

NOAA Página de inicio de higrómetros de punto de rocío de espejo enfriado criogénicos (en inglés)

De Galiana, T. (1976). Pequeño Larousse de ciencias y técnicas. París: Larousse.

González, L. (2003). Instrumentación para las telecomunicaciones – Sensores de humedad capacitivos. Barcelona. Trillas

Leszczynski, M. (1979). La humedad, una gran amiga. Estados Unidos.

Referencias

Volver arriba ↑ «METEOBLUE». Consultado el 17 de mayo de 2016.

Volver arriba ↑ «Historical Development of Instruments that Measure Humidity» (en inglés). Consultado el 14 de junio de 2016.

Volver arriba ↑ HubPages (24 de enero de 2012). «Hygrometer: Leonardo da Vinci's Weather Predictions» (en inglés). Consultado el 17 de mayo de 2016.

Volver arriba ↑ Draper, John William (1861). A Textbook on Chemistry. p. 55.

Volver arriba ↑ "Account of a new hygrometer" (1773); "A second paper on hygrometry" (1791)

Volver arriba ↑ René Sigrist, «Scientific standards in the 1780s: A controversy over hygrometers», en John Heilbron & René Sigrist (eds), Jean-André Deluc.

↑ Saltar a: a b c D.K. Roveti. Choosing a Humidity Sensor: A Review of Three Technologies. Sensors Magazine (2001).

Volver arriba ↑ <https://archive.org/details/nbsstandardhygro73wexl>

Etapas de crecimiento del maíz

Para la normalización de las definiciones, los investigadores de maíz han elaborado una guía para identificar las diferentes etapas de crecimiento del maíz. No todas las plantas en el campo de llegan a una etapa en particular, al

mismo tiempo. Por lo tanto, los investigadores asumen que el cultivo alcanza una etapa específica cuando al menos el 50% de las plantas presentan las características correspondientes.

La normalización de las definiciones permite que los investigadores se refieran a los problemas de las etapas de crecimiento específicas. Los investigadores también pueden comparar la fenología de maíz bajo diferentes condiciones ambientales y de tratamientos experimentales.

Los investigadores dividen las etapas de crecimiento en dos grandes categorías:

- Vegetativa (V)
- Reproductiva (R)

Además, las etapas de crecimiento se pueden agrupar en cuatro grandes períodos (ver Tabla 2 para más detalles):

- Crecimiento de las plántulas (etapas VE y V1)
- Crecimiento vegetativo (etapas V2, V3... Vn)
- Floración y la fecundación (etapas VT, R0, y R1)
- Llenado de grano y la madurez (etapas R2 a R6)

Tabla 2. Etapas de crecimiento

Etapa	DAS*	Características
VE	5	El coleoptilo emerge de la superficie del suelo
V1	9	Es visible el cuello de la primera hoja.
V2	12	Es visible el cuello de la segunda hoja.
Vn		Es visible el cuello de la hoja número "n". ("n" es igual al número definitivo de hojas que tiene la planta; "n" generalmente fluctúa entre 16 y 22, pero para la floración se habrán perdido las 4 a 5 hojas de más abajo.)
VT	55	Es completamente visible la última rama de la panícula.
R0	57	Antesis o floración masculina. El polen se comienza a arrojar.
R1	59	Son visibles los estigmas.
R2	71	Etapa de ampolla. Los granos se llenan con un líquido claro y se puede ver el embrión.
R3	80	Etapa lechosa. Los granos se llenan con un líquido lechoso blanco.

R4	90	Etapa masosa. Los granos se llenan con una pasta blanca. El embrión tiene aproximadamente la mitad del ancho del grano.
R5	102	Etapa dentada. La parte superior de los granos se llena con almidón sólido y, cuando el genotipo es dentado, los granos adquieren la forma dentada. En los tipos tanto cristalinos como dentados es visible una “línea de leche” cuando se observa el grano desde el costado.
R6	112	Madurez fisiológica. Una capa negra es visible en la base del grano. La humedad del grano es generalmente de alrededor del 35%.

* DAS: número aproximado de días después de la siembra en tierras bajas tropicales, donde las temperaturas máxima y mínima pueden ser de 33°C y 22°C, respectivamente. En los ambientes más frío, se amplían estos tiempos.

Enlace Recomendado:

Hernández Gil, Rubén, 2001. ENZIMAS:
<http://www.arrakis.es/~lluengo/biologia.html>;
<http://WWW.foret.ula.ve/~rubenhg> Libro botánica On Line.
 Universidad de Los Andes - Mérida – Venezuela. Unidad de Desarrollo Virtual. **Versión 2.**

INTRODUCCIÓN A LA ECOFISIOLOGÍA VEGETAL

CONTENIDOS

/ [BASES CONCEPTUALES DE LA ECOFISIOLOGÍA VEGETAL](#) / [RESPUESTAS DE LAS PLANTAS A LOS FACTORES AMBIENTALES](#) / [ATMÓSFERA](#) / [HIDRÓSFERA](#) / [RADIACIÓN Y CLIMA](#) / [LA LITOSFERA Y EL SUELO](#) /

BASES CONCEPTUALES DE LA ECOFISIOLOGÍA VEGETAL

El famoso naturalista Inglés Charles Darwin propuso la teoría de la evolución (1858), que tiene dos componentes principales :1. Las especies no son inmutables , sino que cambian o se adaptan a lo largo del tiempo. 2. El agente que produce los cambios es la selección natural. Los individuos están comprometidos en una lucha permanente por la existencia, en la que los más aptos sobreviven. Esa lucha puede ser de dos tipos. 1. La obtención de los recursos necesarios para establecerse y crecer en un medio ambiente algunas veces pobre y hostil. 2. La lucha con competidores vecinos de la misma o de especies diferentes. La ecología o la sociología vegetal tratan de las relaciones o interacciones de las especies dentro de las comunidades, o la forma en que poblaciones de una especie se adaptan a diferentes medios ambientes. Mientras que la fisiología vegetal se relaciona con el estudio de las funciones de los individuos, en diferentes niveles de organización y su lucha con el medio ambiente, auxiliándose de varias disciplinas como la bioquímica, biofísica y la biología molecular. **La fisiología vegetal es una disciplina que se refugia en el laboratorio para su estudio, manipula las condiciones de crecimiento del individuo y mide la respuesta de un determinado proceso.**

La ecofisiología, estudia los fenómenos fisiológicos fuera del laboratorio, en su medio ambiente natural, el cual está sujeto a cambios y alteraciones, como resultado de fenómenos naturales o producto de la actividad humana. En este sentido, podemos mencionar por ejemplo el aumento significativo de la concentración atmosférica de CO₂ por efecto de la actividad industrial, la quema de combustibles fósiles y el calentamiento global de la atmósfera. Este factor es difícilmente controlable, como se podría hacer al estudiar las variaciones en la concentración de CO₂ sobre la fotosíntesis, lo cual es estudiado por la fisiología vegetal, bajo condiciones de laboratorio. Las plantas en su medio ambiente natural responden a las variaciones de temperatura, intensidad de luz, humedad, concentraciones de CO₂ , lo cual depende de sus adaptaciones fisiológicas.

Los ecofisiólogos en un principio estudiaron las respuestas fisiológicas de las plantas en un medio ambiente abiótico, como por ejemplo suelos calcáreos y ácidos o en suelos secos y anegados, interacciones fisiológicas con otras plantas, animales y el beneficio de microorganismos. **Mientras que, un ecofisiólogo moderno, requiere una buena comprensión tanto de los procesos moleculares que ocurren a nivel celular, como del funcionamiento de la planta intacta en un contexto ambiental.**

Un aspecto relevante en el desarrollo de la ecofisiología se obtuvo de la importancia de la fisiología para la agricultura. Incluso hoy en día, la productividad agrícola en países industrializados está limitada al 25% de su potencial, por condiciones de sequía, suelos infértiles y otros factores ambientales indeseables. Uno de los objetivos principales de las investigaciones agrícolas, ha sido el desarrollar cultivos tolerantes a estados ambientales estresantes, de tal manera que soporten condiciones climáticas adversas o que se puedan cultivar en hábitat desfavorables. Así se han desarrollado variedades de plantas tolerantes a la salinidad o que soporten el estrés hídrico.

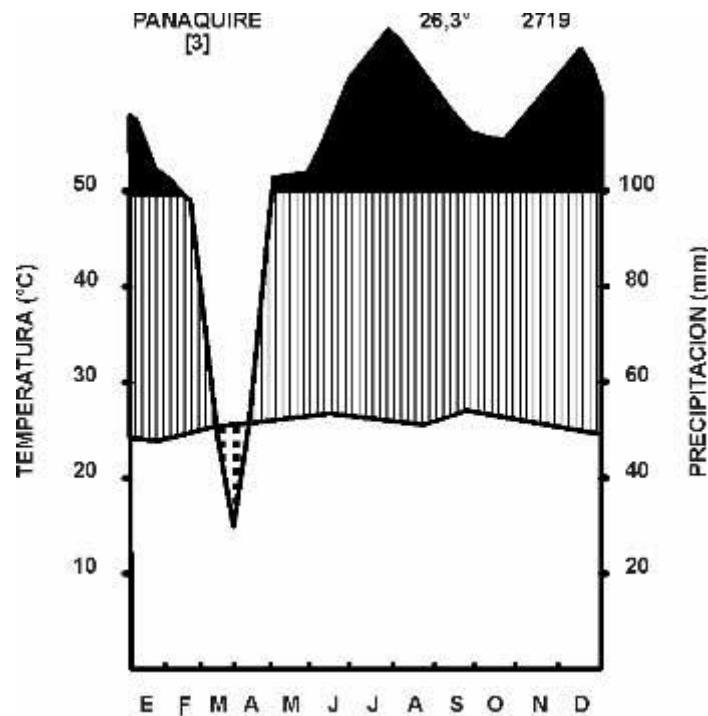
La ecofisiología vegetal estudia las respuestas fisiológicas frente a diferentes condiciones ambientales, desarrollando técnicas que permiten medir el micro medio ambiente de las plantas, las relaciones hídricas y los patrones de intercambio gaseoso. En sus inicios, se estudió el crecimiento de las plantas determinando las variaciones en biomasa, sin embargo la invención de equipos

portátiles ha posibilitado medir los intercambios de CO₂ en una hoja y la conductividad estomática como un índice de la apertura y cierre de los estomas. Mediante los análisis de crecimiento, se ha podido determinar la cantidad de carbono que se deposita en raíces y hojas, así como la tasa de producción y muerte de ciertos tejidos; lo que permite una mejor comprensión de las diferencias en el crecimiento vegetal, en distintas condiciones ambientales. Finalmente, concluimos que la ecofisiología es un componente importante del entrenamiento de un ecólogo vegetal.

RESPUESTAS DE LAS PLANTAS A LOS FACTORES AMBIENTALES

El ambiente de una planta está formado por la hidrosfera, la atmósfera y la pedósfera, pero además lo integran factores físicos y químicos en su hábitat, y la influencia ejercida por otros organismos. **Resumiendo, el ambiente de cada planta es la totalidad de las condiciones externas que actúan sobre un individuo o comunidad de organismos (biocenosis) en un territorio definido (biotopo).**

Se entiende por clima el conjunto de los fenómenos meteorológicos que caracterizan el estado medio de la atmósfera y las variaciones regulares de los estados del tiempo. Los distintos climas del mundo vienen dados por las temperaturas y precipitaciones. Las diferencias climáticas se expresan en forma de diagramas climáticos o climadiagramas. En estos diagramas se grafican las variaciones de temperatura en grados centígrados y las precipitaciones en milímetros a lo largo del año (1 mm de precipitación equivale a un litro por m²).En el eje de las ordenadas se representa la precipitación y la temperatura, la escala de precipitación es el doble de la escala de temperatura (una división equivale a 100° C o 20 mm de lluvia. Panaquire [3], significa que los datos son el promedio de 3 años de mediciones, tanto de precipitaciones como de temperaturas. El valor 26,3° es el promedio de temperatura anual en grados centígrados y 2719 el promedio de precipitación anual en milímetros. En el eje de las abcisas se representan los meses del año.



CLIMADIAGRAMA

ATMÓSFERA

La atmósfera es una capa de aire delgada que rodea la tierra. Alrededor de 80% de la capa inferior está en la **tropósfera**, que se extiende desde la superficie de la tierra hacia arriba unos 17 Km, en los trópicos y subtrópicos, pero solo 10 Km en latitudes más altas. La mayor parte de la circulación global ocurre en la tropósfera, y allí se localiza casi todo el vapor de agua de la atmósfera. En esa capa, la presión atmosférica disminuye hacia arriba, así como la temperatura, que alcanza un mínimo en la **tropopausa**. La **estratósfera**, que se extiende hacia arriba desde el límite de la tropósfera hasta unos 50 Km por encima de la superficie terrestre, contiene cerca del 99% de la masa remanente de la atmósfera, pero es extremadamente seca. **El ozono (O₃) de la estratosfera absorbe la mayor parte de la radiación ultravioleta de onda corta que proviene del sol, generando un escudo protector que permite la vida en la tierra.**

Actualmente, la atmósfera está compuesta por 78 % de nitrógeno (N₂), 21% de oxígeno, 0,95% de gases raros y 0,035% de dióxido de carbono. También contiene trazas de hidrógeno, vapor de agua, metano, dióxido de azufre, haluros, compuestos nitrogenados volátiles, aerosoles, ozono, metano polvo y ceniza. La atmósfera alberga el mayor reservorio de nitrógeno de la Tierra y grandes cantidades de oxígeno. El dióxido de carbono es la fuente principal de carbono utilizada por los organismos autótrofos mediante la fotosíntesis, que produce azúcares a partir de CO₂, agua y energía solar; así mismo se libera oxígeno a la atmósfera. La respiración de los organismos terrestres y la combustión consume oxígeno, que es reemplazado por la actividad del fitoplancton y de otros organismos fotosintéticos.

HIDRÓSFERA El agua es un componente esencial de la biosfera y es la base de todos los procesos vitales. La economía hídrica del planeta se alimenta principalmente del mar constituyendo más del 97%, un 2% se encuentra en forma de hielo y nieve, 0,61% se encuentra en las aguas continentales, como agua freática, pero sólo 1 % está disponible para las raíces de las plantas. En la atmósfera se halla el 0,001 %, en forma de nubes, niebla y vapor. La cobertura vegetal de la tierra firme está formada por plantas superiores que absorben la precipitación que se fija al suelo por las raíces y la retorna a la atmósfera por la transpiración de las hojas.

ECONOMÍA HÍDRICA DEL PLANETA	
AGUA TOTAL EN LA BIOSFERA (%)	
Lagos de agua dulce	0,009
Lagos salados y mares continentales	0,008
Ríos	0,0001
Humedad del suelo y escorrentía	0,005
Humedad subterránea hasta 4000 m	0,61
Casquetes polares y glaciares	2,41
Atmósfera	0,001
Océanos	97,2279

En la figura que se observa a continuación se muestra un ejemplo del ciclo del agua. El ciclo hidrológico está determinado principalmente por la evaporación del agua desde la superficie de los océanos. Parte del agua regresa a los océanos en forma de precipitaciones, pero esta cantidad es menor que la que se escapa de estos por evaporación. El resto del agua es arrastrada por los vientos hacia la tierra donde se condensa, formando las nubes y luego cae en forma de lluvia o nieve. El agua se evapora también de los suelos, lagos, ríos y desde la superficie de las hojas, pero la cantidad que se evapora es menor que la que se precipita sobre la tierra. El agua que cae en exceso regresa de nuevo a los océanos por los ríos, la percolación y las corrientes subterráneas.

En muchas regiones pobres en precipitaciones, pero con niebla abundante ocurre el fenómeno de intercepción horizontal, que se caracteriza por la condensación de gotas de agua sobre las plantas, que pueden caer al suelo.

CICLO HIDROLÓGICO

RADIACIÓN Y CLIMA

La causa principal del clima es la energía radiante del sol recibida por la tierra. La radiación está compuesta de ondas electromagnéticas que viajan a la velocidad de la luz (300.000 Km/seg).

La radiación solar es producida en el centro del sol mediante fusión nuclear, en la que se producen elementos pesados a partir de elementos livianos, liberándose energía según la ecuación de Einstein $E=mc^2$, donde m es la masa y C es la velocidad de la luz . La radiación solar es usada en fenómenos biológicos. **En el límite externo de la atmósfera la energía del sol llega a una tasa constante de 1,39 KW/m² o 2,0 cal x cm⁻² x min⁻¹, cuando el sol se encuentra en el cenit, este valor se denomina constante solar.** Esta constante es la cantidad de energía radiante de todas las longitudes de onda que atraviesa una unidad de superficie por unidad de tiempo. La radiación tiene propiedades de onda y de partículas, se compone de una serie continua de longitudes ondas que van de $< 10^{-14}$ m (rayos cósmicos) hasta las ondas largas de radio $> 10^6$ m. Este rango de longitudes de ondas se denomina **espectro electromagnético**.

ESPECTRO ELECTROMAGNÉTICO

El espectro electromagnético. Imagen tomada de Purves et al. Life: The Science of Biology, 4th Edition, by Sinauer Associates (<http://www.sinauer.com> ad WH Freeman <http://www.whfreeman.com>).

El espectro visible es muy estrecho ocupa de 3,9 x 10⁻⁷ m a 7,7 x 10⁻⁷ m o 390 nm a 770 nm (3900 a 7700 Å). Ni la luz ultravioleta(UV) de onda corta, ni la infrarroja de onda larga son visibles; sin embargo algunas personas a las que se les ha removido el lente(cristalino) de los ojos, debido a cataratas pueden ver la luz UV por debajo de 390 nm. **Las regiones de longitud de onda de mayor interés en biología son: la ultravioleta, la visible y la infrarroja.**

Las longitudes de onda por debajo de 400 nm se conocen como ultravioleta. El rango de longitudes de onda de 320 a 390 nm, se llama UV-A, el rango de 280 a 320 nm como UV-B y el de 200 a 280 nm es la UV-C. La radiación que llega a la tierra contiene cerca de 7 % de UV (< 400 nm) en relación a su energía. La capa de ozono absorbe intensamente la radiación de longitud de onda entre 200 y 330 nm. La zona infrarroja (IR) tiene longitudes de onda mayores que la roja y se extiende aproximadamente hasta 100µm.

La longitud de onda, la velocidad de la luz y la frecuencia, se hallan relacionadas por la siguiente ecuación: $\lambda \cdot V = C$; de donde λ es la longitud de onda; V es la frecuencia y C es la velocidad de la luz (300.000 Km x S⁻¹). La longitud de onda se puede expresar en número de ondas (V), que es el recíproco de la longitud de onda en m⁻¹. El número de ondas se utiliza para los cálculos, ya que es directamente proporcional a la energía de la onda. A medida que aumenta el número de onda la energía asociada con la onda también aumenta. **La energía de un fotón es el producto de la frecuencia (V) por la constante de Planck (h)que tiene un valor de 6,6262x10⁻³⁴ JxS.** $E_{(fotón)} = h \cdot V$ y donde $V = C/\lambda$. La velocidad de la luz $C = 3,0 \times 10^8$ m . S⁻¹ ; λ = longitud de onda en metros (m); V= frecuencia en segundos(S⁻¹). $E_{(fotón)} = h \cdot C / \lambda$. Calculemos el número de onda (V) de la radiación con longitud de onda de 700 nm, 7×10^{-5} cm o 7×10^{-7} m. $V = 1/\lambda = 1/7 \times 10^{-5}$ cm o sea 14286 cm⁻¹ o 1.428.600 m⁻¹ .

Definición y características de varias regiones de longitud de onda

de la luz				
Color	Rango de longitud onda(nm)	de de Longitud de onda representativa	Frecuencia (ciclos/S) o hertzios	Energía (KJ/mol)
Ultravioleta	< 400	254	11.8×10^{14}	471
Violeta	400-425	410	7.31×10^{14}	292
Azul	425-490	460	6.52×10^{14}	260
Verde	490-560	520	5.77×10^{14}	230
Amarillo	560-585	570	5.26×10^{14}	210
Anaranjado	585-640	620	4.84×10^{14}	193
Rojo	640-740	680	4.41×10^{14}	176
Infrarrojo	>740	1400	2.14×10^{14}	85

Seleccionemos una longitud de onda en la zona azul del espectro con $\lambda = 460$ nm.

$V = C / \lambda$ entonces tenemos $V = 3.0 \times 10^8 \text{ m} \cdot \text{S}^{-1} / 460 \times 10^{-9} \text{ m} \times \text{ciclo}^{-1}$, que es igual a $6.52 \times 10^{14} \text{ ciclos} \times \text{S}^{-1}$.

La energía de un fotón se calcula mediante la ecuación siguiente: $E_{(\text{fotón})} = h \cdot C / \lambda$.

$E_{(\text{fotón})} = 1.9865 \times 10^{-16} / \lambda$ (en nm) el resultado en Jul o Julios. La energía del fotón se puede expresar también en electrón voltio (eV). Sabiendo que 1 eV tiene una energía de $1.6022 \times 10^{-19} \text{ J}$, la energía del fotón expresada en eV, está dada por la ecuación: $E_{(\text{fotón})} = 1,2399 \times 10^3 / \lambda$ (en nm) el resultado en eV.

De acuerdo a la ley de Einstein, de la equivalencia fotoquímica, una molécula puede reaccionar en una reacción fotoquímica, solamente después de haber absorbido un fotón. De tal forma que, un mol puede reaccionar solamente después de absorber $6,0222 \times 10^{23}$ fotones (**6,0222 x 10²³ es el número de Avogadro, N, que es el número de moléculas en un mol de cualquier sustancia**). Ahora bien, la energía de $6,0222 \times 10^{23}$ fotones es igual a $6,0222 \times 10^{23} \times h \cdot V$.

$E = N \times h \times V$, de donde $E = N \times h \times C / \lambda$, $E = 6,0222 \times 10^{23} \times h \times C / \lambda$, esta cantidad de energía se denomina un **Einstein**.

Un Einstein, se puede definir como la cantidad de energía radiante de longitud de onda apropiada, que debe ser absorbida por un mol de una sustancia antes que pueda reaccionar en una reacción fotoquímica. La energía de un Einstein se calcula de la siguiente manera:

$E_{(\text{Einstein})} = 1,1963 \times 10^8 / \lambda$ (en nm).

La energía de un fotón varía directamente con la frecuencia(ν) e inversamente con la longitud de onda (λ). Así tenemos que, a mayor frecuencia y menor longitud de onda mayor será la energía.

La función de los sistemas de pigmentos que se encuentran en los cloroplastos es la de absorber energía luminosa.

¿Calcular para una longitud de onda de 650 nm, el número de onda (ν) en cm^{-1} , la frecuencia (ν) en Tera Hertzios (THz), energía del fotón en attoJul (aJ), eV, y la energía de un Einstein en KJ?

$$\lambda = 650 \text{ nm}; \lambda = 6,5 \times 10^{-7} \text{ m}.$$

$$\text{a) } \nu = 1 / \lambda = 1 / 6,5 \times 10^{-7} \text{ m} = 15385 \times 10^2 \text{ m}^{-1} \text{ o } 15385 \text{ cm}^{-1}.$$

$$\text{b) } \nu = c / \lambda = 3,0 \times 10^8 \text{ m} \times \text{S}^{-1} / 6,5 \times 10^{-7} \text{ m} \text{ o sea } 461,2 \times 10^{12} \text{ S}^{-1}.$$

Un Tera Hertzio es equivalente a 10^{12} Hz o 10^{12} ciclos/segundo, de donde $\nu = 461,2$ THz.

c) La energía del fotón en atto Jul (a J). Un atto Jul es 10^{-18} J.

$$E_{(\text{fotón})} = 1,9865 \times 10^{-16} / 650, \text{ es igual a } 0,3056 \times 10^{-18} \text{ J}$$

$$E_{(\text{fotón})} = 0,3056 \text{ aJ (atto Joule)}.$$

$$\text{d) } E_{(\text{fotón})} = 1,2399 \times 10^3 / \lambda \text{ (en nm) resultado en eV} = 1,2399 \times 10^3 / 650$$

$$E_{(\text{fotón})} = 1,9075 \text{ eV}.$$

Un electrón voltio tiene una energía de $1,6022 \times 10^{-19}$ J.

$$\text{e) } E_{(\text{Einstein})} = 1,1963 \times 10^8 / \lambda \text{ (en nm)J} = 1,1963 \times 10^8 / 650, \text{ esto es igual a } 184,046 \text{ J}.$$

$$E_{(\text{Einstein})} = 184,0 \text{ KJ}.$$

Si sabemos que una caloría es equivalente a 4,184 Jul, entonces tenemos que $184,046 \times 10^3 / 4,184 = 43,98 \times 10^3$ calorías o $43,98 \text{ Kcal} \times \text{mol}^{-1}$.

Toda la vida sobre la tierra es mantenida por el flujo de energía radiante proveniente del sol, que penetra la biosfera. Mediante la fotosíntesis esta energía se fija en forma de energía química latente, que se moviliza hacia todos los componentes de una cadena alimenticia. **Para las plantas la radiación no es solamente una fuente de energía (efecto foto energético), es también un estímulo que dirige el desarrollo (efecto foto cibernético), y ocasionalmente puede actuar como un factor estresante(efecto foto destructivo).** Cada uno de estos procesos es activado por la absorción de cuantos de luz, cuya respuesta es mediada por foto receptores, con un espectro de absorción que corresponde a un efecto foto biológico. En este tipo de respuesta son importantes el tiempo de duración del estímulo, la dirección de la radiación incidente, y la composición espectral de la radiación absorbida.

La energía radiante que alcanza diferentes sitios de la superficie terrestre, depende de su orientación con respecto al sol como resultado de los movimientos de rotación y traslación del globo terráqueo. La cantidad de radiación que entra a la tierra fluctúa periódicamente, lo que impone una ritmicidad climática sobre todos los fenómenos terrestres. La alternancia periódica de las noches y los días, es estímulo o disparador responsable que regula los ritmos diurnos (circadianos) y estacionales. Así mismo, la radiación solar al actuar como una señal, controla muchos procesos de desarrollo y diferenciación, tales como la germinación, fototropismo, fototaxis (ciclosis de los cloroplastos), fotomorfogénesis, síntesis de antocianinas, visión, fotosíntesis y movimientos de orientación de los cloroplastos.

LA LITOSFERA Y EL SUELO

La litosfera es la capa externa de la Tierra y está formada por materiales sólidos, engloba la corteza continental, tiene aproximadamente 80 Km. de espesor, y la corteza oceánica o parte superficial del manto consolidado, de unos 10 Km. de espesor. Se presenta dividida en placas tectónicas que se desplazan lentamente sobre la astenosfera, capa de material fluido sobre la cual se encuentra la litosfera. Las tierras emergidas son las que se hallan situadas sobre el nivel del mar y ocupan el 29% de la superficie del planeta. Su distribución es muy irregular, concentrándose principalmente en el Hemisferio Norte o continental, dominando los océanos en el Hemisferio Sur o marítimo. La atmósfera tiene unos 273 Km. de espesor, mientras que el suelo forma una capa fina entre atmósfera y litosfera. Los suelos son muy importantes para el crecimiento de las plantas y muestran interacciones complejas. Las plantas obtienen el agua y los nutrientes minerales de la solución del suelo o del agua en la que crecen, al igual que el oxígeno para la respiración de las raíces. La aireación varía de acuerdo a las condiciones del suelo, por ejemplo un suelo encharcado o saturado de agua tiene poca aireación. El suelo proporciona sostén mecánico para las plantas terrestres y alberga microorganismos del ciclo del nitrógeno o que realizan la descomposición de la materia orgánica, liberando los elementos químicos que requiere la planta para crecer. Así mismo, en el suelo se encuentran hongos que forman asociaciones con las raíces, micorrizas y organismos patógenos que le causan daños a las plantas.

Resumiendo podemos decir que el suelo le proporciona a la planta: sostén o anclaje, agua, nutrientes y oxígeno para las raíces.

El suelo es un sistema de tres fases: sólido, líquido y gaseoso, y cuatro componentes mineral, orgánico, agua y aire. Un buen suelo para el crecimiento de un cultivo, tendrá 45 % en volumen de materia mineral, 5 % de materia orgánica y 50% de espacio poroso dividido aproximadamente en 25 % de agua y 25% de aire.

COMPONENTES INORGÁNICOS Y ORGÁNICOS DEL SUELO

Purves, et al. Life. The Science of Biology. 7th e

La proporción real de aire y agua varía según las condiciones. Cuando llueve los poros se llenan de agua, que se vacían de nuevo cuando el suelo se seca. En los países tropicales con temperaturas altas, los porcentajes de materia orgánica tienden a ser menores (de 2,5 a 3 %) debido a su rápida descomposición.

Cuando los edafólogos realizan un estudio de suelo, generalmente cavan un pozo en la tierra (calicata), y luego observan sus paredes. Las paredes del pozo revelan un patrón estratificado, formado por capas, cada una de las cuales se denomina **horizonte**, y al conjunto de capas presentes en las paredes del pozo, **perfil del suelo**. A pesar de que los suelos difieren mucho, casi todos consisten de dos o más capas horizontales, ubicadas una sobre otras. En el perfil de un suelo típico se reconocen tres horizontes principales: A, B y C. El horizonte superior o horizonte A, posee un mayor contenido de materia orgánica y tiene un color más oscuro que las capas inferiores. En este horizonte se desarrollan las raíces de las plantas y en él se encuentran presentes lombrices, insectos, nematodos y microorganismos. Por debajo del horizonte A, se encuentra el B o subsuelo, que es la zona de infiltración y acumulación de los minerales lixiviados desde arriba, su color es más claro que

el horizonte A y contiene más arcilla. Más abajo está el horizonte C que es la roca madre original de la cual se deriva el suelo.

PERFIL DE UN SUELO TÍPICO MOSTRANDO LOS HORIZONTES A, B Y C.

Purves, et al. Life. The Science of Biology. 7th e

Los componentes inorgánicos de los suelos comprenden pequeños fragmentos de roca y de minerales de varias clases. El tamaño de las partículas varía en tamaño desde grandes cantos rodados hasta partículas pequeñas de arcilla que tienen menos de $2\mu\text{m}$ de diámetro. Las cuatro clases de partículas inorgánicas son: arena gruesa, arena fina, limo y arcilla.

CLASIFICACIÓN DE LAS PARTÍCULAS DEL SUELO (ISSS)			
Tipo de suelo	Dimensión	Visible usando	Tamaño de la partícula (mm)
Arena gruesa	Muy gruesas	A simple vista	0,2 - 2,0
Arena fina	Gruesas	A simple vista	0,02- 0,2
Limo	Finas	Al microscopio	0,002 - 0,02
Arcilla	Muy finas	Al microscopio electrónico	< 0,002

Los suelos se forman por desintegración de la roca madre, en parte por la erosión mecánica, que es provocada por cambios de temperatura, la lluvia, el hielo, el viento, el crecimiento de plantas como musgos líquenes y las raíces de las plantas. Sin embargo, los procesos químicos descomponen la roca madre por hidrólisis, hidratación, carbonatación y otros procesos acidificantes. El proceso clave es la formación de arcilla, como resultado de la erosión química.

Los suelos constituyen la fente de nutrición de las plantas terrestres, la cual depende de la presencia de partículas de arcilla. Los cationes potasio (K^+), magnesio (Mg^{2+}) y calcio (Ca^{2+}) están cargados positivamente y son atraídos por las cargas negativas de las partículas de arcilla. Para que los cationes puedan ser absorbidos por las raíces de las plantas, debe ocurrir un intercambio catiónico, lo que se logra con protones (H^+) presentes en la solución del suelo producto de la ionización del ácido carbónico y del bombeado por las raíces. Los protones se unen entonces a las partículas de arcilla y se liberan los cationes (K^+), (Mg^{2+}) y (Ca^{2+}) a la solución del suelo quedando disponibles para la absorción por las raíces. Vamos a mostrar un ejemplo de lo que ocurre con el catión potasio (K^+) y los protones (H^+), que provienen de las raíces o del ácido carbónico (H_2CO_3).

DIAGRAMA QUE MUESTRA EL INTERCAMBIO IÓNICO

Purves, et al. Life. The Science of Biology. 7th e.

La fertilidad de un suelo está determinada por su capacidad para aportar nutrientes por intercambio iónico. Las partículas de arcilla intercambian con eficacia los iones cargados positivamente que son retenidos en el horizonte A, mientras que los aniones como el nitrato (NO_3^-) y el sulfato (SO_4^{2-}) cargados negativamente se lavan

rápidamente del suelo por efecto del agua . La reserva de azufre, fósforo y esencialmente la única fuente de nitrógeno del suelo es la materia orgánica. **La materia orgánica del suelo representa una acumulación de plantas parcialmente destruidas y de residuos de animales, que se descompone y mineraliza por acción de los animales y de los microorganismos del suelo.** En los buenos suelos forestales, la masa de lombrices es de 20 a 80 g/m² y la masa de bacterias alcanza 0,3 % del peso del suelo. La actividad de los organismos del suelo depende de las condiciones ambientales. En los climas tropicales, cálido-húmedos, la materia orgánica se descompone rápidamente y se mineraliza por completo. Si las temperaturas son bajas y el suelo se encharca, la descomposición es lenta y se forma humus bruto o turba, y la respiración edáfica disminuye, la cual es un indicador de la actividad de los organismos del suelo.

El agua con las sales nutritivas disueltas forma la solución del suelo, mucha de las cuales son esenciales para el crecimiento de las plantas. En regiones áridas y semiáridas, la solución del suelo es más concentrada que en aquellas donde la lluvia es más abundante. Bajo condiciones de poca lluvia y mal drenaje, las concentraciones salinas son altas, pudiendo interferir de forma peligrosa con el crecimiento de las plantas.

La acidez del suelo puede influir en la absorción nutritiva y crecimiento de las plantas, ya sea directamente a través de las concentraciones de protones (H⁺), o indirectamente, por su acción sobre la absorción de nutrientes y la presencia de iones tóxicos. Cuando los valores de pH están por debajo de 5 a 5,5, el aluminio, hierro y manganeso son solubles en cantidades suficientes como para ser tóxicos para algunas plantas. El ion fosfato es muy sensible a los cambios de pH, a pH 6,5 es fácilmente asimilable por las plantas, pero a pH 8, es insoluble y se fija como fosfato cálcico. En suelos con pH menores a 5, el ion fosfato se fija en forma insoluble con aluminio, hierro y manganeso, y no es aprovechable por las plantas. Estos ejemplos ilustran en parte el efecto de la acidez sobre la disponibilidad de algunos nutrientes del suelo.

Este es un Material didáctico **Enlace Recomendado:**

Hernández Gil, Rubén, 2001. ENZIMAS:
<http://www.arrakis.es/~lluengo/biologia.html>;
<http://WWW.foret.ula.ve/~rubenhg> **Libro botánica On Line.**
 Universidad de Los Andes - Mérida – Venezuela. Unidad de Desarrollo Virtual. **Versión 2.**

BIBLIOGRAFÍA DE TEORÍA DE FISIOLÓGÍA VEGETAL

- BARCELÓ COLL, J.; NICOLÁS RODRIGO, G.; SABATER GARCÍA, B. y SÁNCHEZ TAMÉS, R. (2001): Fisiología Vegetal. Ed. Pirámide, Madrid.
- SALISBURY, F.B. y ROSS, C.W. (1994): Fisiología Vegetal. Ed. Iberoamericana, México.
- AZCÓN-BIETO, J. y TALÓN, M. (ed.) (1996): Fisiología y Bioquímica Vegetal. Interamericana-McGraw-Hill, Madrid.
- AZCÓN-BIETO, J. y TALÓN, M. (ed.) (2000): Fundamentos de Fisiología Vegetal. Interamericana-McGraw-Hill, Madrid.

- GIL MARTÍNEZ, F. (1995): Elementos de Fisiología Vegetal. Ed. Mundi - Prensa, Madrid.
- TAIZ, L. y ZEIGER, E. (2006): Plant Physiology. Benjamin/Cummings Pub., Redwood City, California.
- BUCHANAN, B. B., GRUISSSEN, W. Y JONES, R.L. Biochemistry and Molecular Biology of plants. Am. Soc. of Plant Physiologists. Rockville, Maryland
- BIBLIOGRAFÍA BÁSICA PRÁCTICA:**
- ARDITI, J. y DUNN, A. (1969): Experimental Plant Physiology. Holt, Rinehart and Winstom, New York.
- CUMMINGS,; GRIES, G.A.; POSTLETHWAIT, S.N. y STEARNS, F.W. (1956): Workbook in Fundamentals of Plant Science. Burgess, Minnesota.
- GARCIA DEL MORAL, L.F.; LIGERO LIGERO, F.; ROMERO MONREAL, L. y SANCHEZ CALLE, I. (1979): Prácticas de Fisiología Vegetal. Ediciones Universidad de Granada.
- MOORE, R.H. (1960): Laboratory Guide for Elemental Plant Physiology. Burgess, Minnesota.
- ROBERTS, J. y WHITEHOUSE, D.G. (1976): Practical Plant Physiology. Longman, London.
- ROVALO MERINO, M.J. y ROJAS GARCIDUEÑAS, M. (1982): Fisiología Vegetal. Prácticas de Laboratorio. Limusa, México.
- SANCHEZ DIAZ, M.; APARICIO TEJO, P. y PEÑA CALVO, J.I. (1980): Prácticas de Fisiología Vegetal. Ediciones Universidad de Navarra, Pamplona