



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE MÉXICO

Facultad de Ciencias Agrícolas

Nutrición Vegetal

Fisiología Vegetal
Ingeniero Agrónomo en Floricultura

2017

Elaboró: Dr. César Vences Contreras

- Objetivo
- Concepto
- Introducción
- Historia
- Elementos esenciales
- Macronutrientes
- Micronutrientes
- Referencias bibliográficas

Conocer de qué elementos minerales se alimentan las Plantas.

Es la parte de la Fisiología Vegetal que estudia los procesos relacionados con la adquisición de los elementos minerales y el papel que éstos representan en la vida de las plantas.

La condición nutrimental de los cultivos, debe ser óptima si se aspira a alcanzar rendimientos cercanos a los máximos posibles. Tal condición se logra mediante la formulación y aplicación de un plan nutrimental.

La formulación de dicho plan impone ciertas reglas. La primera, es dominar los conceptos teóricos de la nutrición y regulación del crecimiento de los cultivos y, la segunda, es conocer en profundidad los aspectos de producción relativos al sistema y, en particular, los referentes a la tecnología del uso de los fertilizantes, reguladores y el agua.

- ***Antes del XVII.*** Prevalece la idea aristotélica de que la materia estaría formada por tierra, aire, agua y fuego.
- ***Van Helmont (1577-1644).*** Realiza el primer experimento cuantitativo en nutrición mineral y resalta el papel del agua.
- ***John Woodward (1665-1728).*** Destaca la importancia de las sustancias minerales en el crecimiento vegetal.
- ***Von Liebig (1848).*** La nutrición mineral como disciplina científica.

Elementos Esenciales

ELEMENTOS ESENCIALES

Elementos esenciales usados en cantidades elevadas		Elementos esenciales usados en cantidades bajas	
Del aire y agua	De los sólidos del suelo	De los sólidos del suelo	
Carbono Hidrógeno Oxígeno	Nitrógeno Fósforo Potasio Calcio Magnesio Azufre	Fierro Manganeso Boro Molibdeno	Cobre Zinc Cloro Cobalto

Esencialidad:

Criterio directo. Un elemento es esencial cuando puede identificarse formando parte de alguna molécula vital para la fisiología y el metabolismo general de la planta.

p.ej.

Fe Forma parte de los citocromos.

Mg Constituye el núcleo activo de la molécula de clorofila.

Esencialidad:

Criterio indirecto. Un elemento es esencial cuando reúne las siguientes características:

- a) Su deficiencia limita el ciclo vital o provoca graves anomalías en su crecimiento y desarrollo.
- b) Esta deficiencia producida por un elemento específico puede ser corregida si es suministrado correctamente a la planta.
- c) Es un elemento directamente relacionado a la nutrición vegetal. No es un problema eventual y es imprescindible a la mayoría de las especies.

- Del 94 al 99.5% del tejido vegetal fresco está constituido de **C**, **H** y **O**.

La mayor parte del **C** y **O** lo obtienen las plantas directamente del aire mediante la fotosíntesis.

El **H** se deriva directamente o indirectamente del agua del suelo.

Todos los demás elementos esenciales se obtienen de los sólidos del suelo.

- Del 0.5 al 6% proviene de los nutrientes del suelo.

Son los nutrimentos obtenidos del suelo los que usualmente limitan el desarrollo del cultivo.

Macronutrientes

- Elementos obtenidos del suelo por las plantas y usados en cantidades relativamente altas (N, P, K, Ca, Mg, S).
- ***Elementos primarios.*** Se suplementan al suelo con estiércol y fertilizantes comerciales (N, P, K).
- ***Elementos secundarios.*** Son suplementados al suelo con fertilizantes especiales (Ca, Mg, S).
- Tienen un alto umbral de toxicidad, es decir, pueden absorberse en grandes cantidades sin efectos nocivos.

FUNCIÓN EN EL VEGETAL

Elemento	Función
N	Forma parte de aminoácidos, amidas, proteínas, ácidos nucleicos, nucleótidos, coenzimas, hexosaminas etc.
P	Forma parte de los azúcares fosfato, ácidos nucleicos, nucleótidos, coenzimas, fosfolípidos, etc. Tiene una importante función que implican al ATP.
K	Requerido como cofactor por más de 40 enzimas. Es el principal catión implicado en mantener la turgencia celular y la neutralidad eléctrica.
Ca	Forma parte de la pared celular vegetal, es requerido como cofactor para algunas enzimas implicadas en la hidrólisis del ATP y de los fosfolípidos. Actúa como segundo mensajero en los procesos de regulación metabólica.
Mg	Requerido por muchas enzimas implicadas en la transferencia de grupos fosfato. Forma parte de la molécula de clorofila.
S	Forma parte de la cisteína, cistina, metionina, coenzima A, tiamina, glutatión, biotina, 5-adenosilsulfato, 3-fosfoadenosina, etc.

Condiciones generales que dan una idea aproximada del contenido de macronutrientes del suelo:

- La materia orgánica fuente importante de **N, P, S**.

Cuando el suelo es rico en materia orgánica, la disponibilidad de estos elementos es mayor. Algunas formas de materia orgánica no aportan nutriente alguno debido a su resistencia a la descomposición (*peat moss*).

- Los suelos minerales tienen cantidades bajas de **N** y **P**. Se presentan en su mayoría en combinaciones no disponibles para las plantas.
- El **K** normalmente se encuentra en cantidades suficientes en suelos minerales. Su principal problema es de disponibilidad.
- El **Ca** y el **Mg** presentan grandes variaciones. Presentes en cantidades inferiores al **K**.

PRESENCIA EN EL SUELO

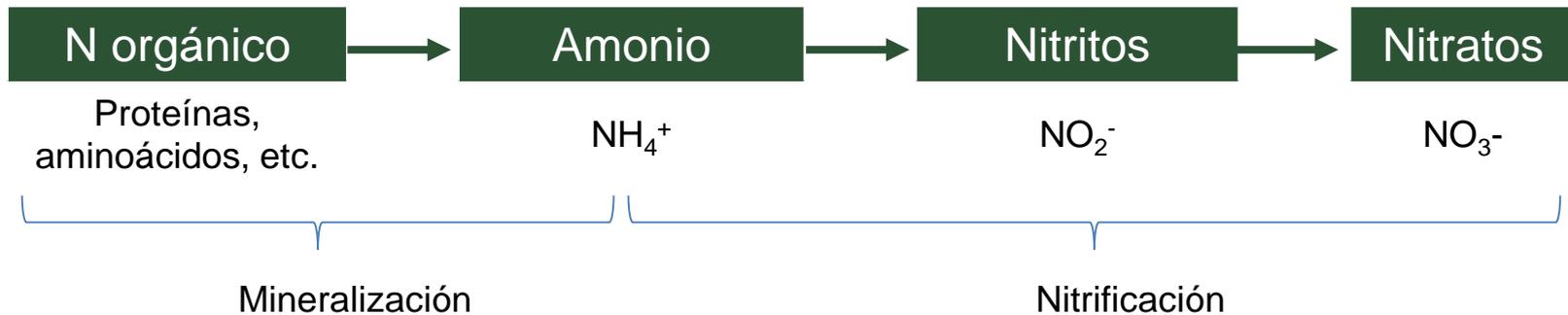
Formas Complejas	Formas Simples y Disponibles	
Combinaciones orgánicas: proteínas, aminoácidos y formas similares; coloidal y sujeto a descomposición.	N	Sales de amonio. Nitritos. Nitratos. NH_4^+ NO_2^- NO_3^-
Apatita, fuente original; fosfatos de Ca, Fe, Al. Orgánico: Pitina, ácido nucleico y otras combinaciones.	P	Fosfatos de Ca, K, Mg, etc. Formas orgánicas solubles. HPO_4^{--} H_2PO_4^-
Minerales originales como micas y feldespatos. Silicatos de aluminio como arcillas, especialmente illita.	K	Iones de potasio adsorbidos por el complejo coloidal. Sales potásicas como sulfatos, carbonatos, etc. K^+
Minerales tales como feldespatos, hornablenda, calcita y dolomita.	Ca	Iones de calcio adsorbidos por el complejo coloidal. Sales diversas de calcio. Ca^{++}
Minerales tales como mica, hornablenda, dolomita y serpentina. Silicatos de aluminio como arcillas, especialmente montmorillonita, clorita y vermiculita.	Mg	Iones de magnesio adsorbidos por el complejo coloidal. Sales diversas de magnesio. Mg^{++}
Combinaciones minerales tales como piritita y yeso. Formas orgánicas; coloidales y sujeto a descomposición.	S	Sulfitos. Sulfatos de Ca, K, Mg, etc. SO_3^{--} SO_4^{--}

Existen dos fuentes principales de nutrientes disponibles rápidamente en el suelo:

- a) Los nutrientes adsorbidos en los coloides.
- b) Las sales disueltas en la solución del suelo.

En ambos casos, los elementos esenciales están presentes en forma de iones. Los iones cargados positivamente (cationes) están en su mayoría adsorbidos. En los coloides; los iones cargados negativamente (aniones) y una pequeña porción de los cationes se encuentran en la solución del suelo.

Nitrógeno



El **N** proveniente de la materia orgánica sufre un complejo proceso bioquímico de descomposición, llevado a cabo por los microorganismos del suelo. El resultado de esta descomposición es el nitrógeno en forma de amonio el cual, si las condiciones son favorables, es oxidado a la forma de nitrito y después a la de nitrato.

El proceso inicial es llamado mineralización y el proceso de oxidación se denomina nitrificación. Este último es llevado a cabo por dos grupos especiales de bacterias, llamadas *nitrosomas* y *nitrobacter*.

La mayor parte del **N** absorbido por las plantas es en las formas de **nitrate** (NO_3^-) principalmente, y de **ammonium** (NH_4^+) en menor cantidad, dependiendo de la condición del suelo, del cultivo y su estado de desarrollo. En términos generales, la presencia de ambos iones es favorable.

El ión **nitrite** (NO_2^-) normalmente está presente en cantidades muy pequeñas debido a que es oxidado rápidamente a la forma de nitrate. Esto es afortunado, ya que pequeñas concentraciones de ese ión son tóxicas para las plantas.

Fósforo



Fosfato insoluble



Fosfato soluble

Bicarbonato de
Ca soluble

Cuando el **P** presente en el suelo está en combinaciones orgánicas, la descomposición promueve su simplificación.

El **P** mineral es más difícil de volverse disponible para las plantas.

Los exudados de los pelos radiculares, auxiliados por el bióxido de carbono y el agua, transforman lentamente los compuestos insolubles.

Factores que afectan la disponibilidad del fósforo:

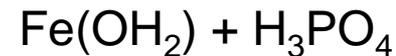
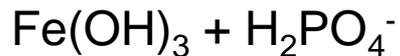
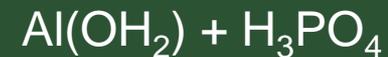
1. *pH de la solución del suelo.*

pH	Ión presente
Muy alcalino	PO_4^{3-}
Moderadamente alcalino	HPO_4^{2-}
Moderadamente ácido	HPO_4^{2-} H_2PO_4^-
Muy ácido	H_2PO_4^-

Factores que afectan la disponibilidad del fósforo:

2. Cantidad de Hierro y Aluminio disueltos.

Bajo condiciones muy ácidas, existen cantidades suficientes de Hierro y Aluminio para precipitar los fosfatos en las formas de fosfato de hierro y fosfato de aluminio, una forma de **P** que no es disponible para la planta.



Factores que afectan la disponibilidad del fósforo:

3. Calcio disponible.

El calcio puede reaccionar con las tres formas del ión fosfato para producir las sales de fosfato monocalcico ($\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$), fosfato dicálcico (Ca_2HPO_4) y fosfato tricálcico ($\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$).

$\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$. Soluble en agua, representa una forma del **P** disponible para la planta.

Ca_2HPO_4 . Ligeramente soluble en agua, libera **P** a las plantas.

$\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$. Formado bajo condiciones alcalinas, precipita el fosfato haciéndolo insoluble e indisponible para la planta.

Factores que afectan la disponibilidad del fósforo:

4. Intercambio aniónico.

Puede ocurrir un intercambio aniónico entre los elementos contenidos en los coloides minerales del suelo y el ión fosfato.



Factores que afectan la disponibilidad del fósforo:

5. Presencia de microorganismos.

En suelos con alto contenido de materia orgánica existe normalmente una alta población de microorganismos.

Una gran proporción de fosfato inorgánico puede estar “biológicamente amarrado” en estas circunstancias.

Después de la mineralización, ese fósforo puede ser utilizado por las plantas.

Potasio



Feldespatos

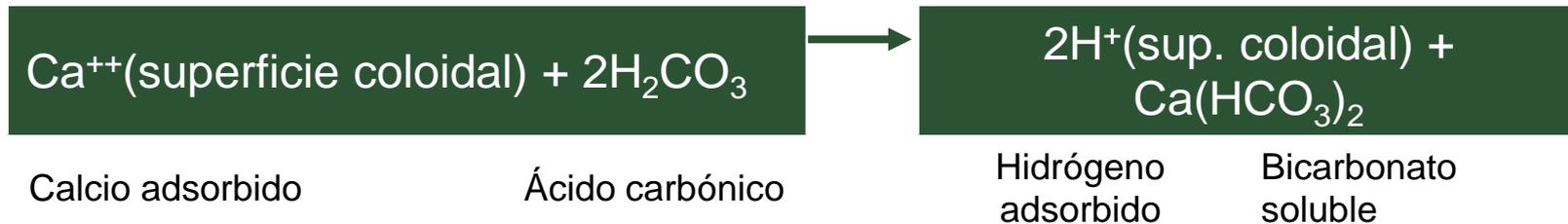


Silicato hidratado Carbonato soluble

El **K** está presente en los suelos minerales, como elemento no disponible, formando parte de diversos minerales. Sus compuestos sucumben lentamente a la acción solvente del agua cargada con ácido carbónico y otros ácidos. La facilidad con la que este elemento se convierte en soluble depende de la complejidad de sus compuestos y del grado de intemperización.

El **K** liberado mediante la reacción anterior puede ser tomado por la planta, perdido por lixiviación o atrapado por los coloides del suelo. Una pequeña porción de **K** está atrapado en la superficie de los coloides como cationes adsorbidos. Estos cationes son fácilmente liberados a la solución del suelo intercambiándose con otros iones cargados positivamente.

Calcio



El **Ca** es un ión presente en mayor cantidad en la forma intercambiable. Mediante la intemperización, el calcio no disponible, presente en minerales, es convertido en calcio disponible.

Una gran parte del **Ca** se comporta como la reacción anterior. El reemplazo llamado intercambio catiónico, se lleva a cabo con gran facilidad y rapidez y es uno de los tipos de reacciones más importantes que ocurren en los suelos.

Una práctica común es la adición de cal a los suelos ácidos.

- La cal hidratada ($\text{Ca}(\text{OH})_2$) es una fuente de calcio disponible de manera inmediata, pero su uso es poco recomendable debido a su corrosividad.
- La cal agrícola o carbonato de calcio (CaCO_3) es una buena opción para elevar el pH del suelo y como fuente de calcio.
- La arcilla dolomita o carbonato de calcio y magnesio ($\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$) además de lo anterior, es buena fuente de magnesio.

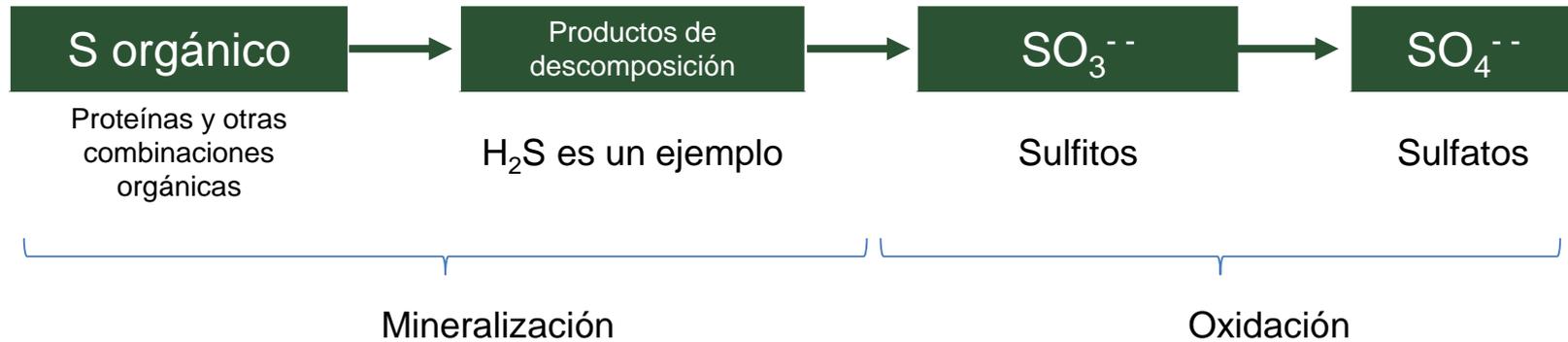
Una aplicación excesiva de cualquiera de estos productos puede acarrear problemas con la disminución en la disponibilidad de varios microelementos.

Magnesio

El **Mg** está presente en el suelo de manera intercambiable, y liberado mediante la reacción de intercambio catiónico. También puede provenir de la intemperización de algunos minerales del suelo.

La liberación del **Mg** a la solución del suelo puede ser reversible fácilmente. Así, cuando se agregan al suelo compuestos solubles de estos elementos, los coloides adsorben grandes cantidades de estos iones metálicos.

Azúfre



La oxidación del **S**, como la nitrificación, es llevada a cabo por grupos específicos de bacterias. Los sulfatos resultantes son la forma en que las plantas toman el **S**.

Los microorganismos del suelo, específicamente bacterias y hongos, usan el **S**. Aunque estas acciones compiten temporalmente con las plantas, tienden a conservar los nutrientes evitando su pérdida por lixiviación.

SÍNTOMAS DE DEFICIENCIA

Elemento	Planta en General	Hojas	Tallos	Flor y Fruto
N	Desmedrada y clorótica. Regiones afectadas y amarillas.	Pequeñas, envejecidas, amarillas y secas.	Delgados y leñosos.	Cloróticos: semillas ligeras y pequeñas.
P	Crecimiento lento; a veces enana.	A veces verde muy oscuro y con áreas rojizas.	Delgados rojizos en el ápice.	No fructifica o da frutos pequeños.
K	No muy desmedrada, con áreas necróticas.	Verde apagado. Necróticas, retorcidas o desgarradas.	Delgados; a veces con áreas necróticas.	No llega a madurez.
Ca	Leñosa. Desmedrada.	Duras. A menudo con bordes desgarrados. A veces de color café-rojizo.	Nudosos y muy ramificados; ápice muerto.	No fructifica.
Mg	Clorosis mayor en partes viejas.	Jóvenes moteadas. Viejas: clorosis uniforme.	Desmedrados.	
S	No muy desmedrada.	Verde pálido toda la hoja.	Delgados.	

Las condiciones que determinan la descomposición o mineralización de la materia orgánica son las siguientes:

1. **Temperatura.** Al aumentar la temperatura aumenta la actividad de descomposición microbiana. Las temperatura bajas lo detienen.
2. **Aireación del suelo.** Los microorganismos encargados de la descomposición o mineralización son aeróbicos. Cuando se requiere promover la descomposición de un material antes de ser incorporado a la mezcla, se recomienda voltearlo (airearlo) constantemente.
3. **Humedad del suelo.** Se requiere humedad para una buena mineralización. Un exceso de humedad impide el desarrollo de los microorganismos aeróbicos.
4. **Tipos de residuos.** Los microorganismos extraen de la materia orgánica en descomposición sustancia vitales para ellos, tales como el nitrógeno. Los restos orgánicos que serán más fácilmente atacados son los que contienen apreciables cantidades de nitrógeno.

- La solución del suelo es el agua del suelo en la cual están disueltas las formas iónicas de los nutrientes. Debido a su segregación en los grandes y pequeños poros del suelo, no es continua ni se mueve libremente.
- Conforme el contenido de humedad del suelo se reduce por evapo-transpiración, la concentración de las sales solubles en la solución del suelo se incrementa. Esto es de gran importancia para el establecimiento de los programas de riego y fertilización.

El pH del suelo puede influenciar la absorción de nutrientes y el desarrollo de las plantas de dos formas:

- Por el efecto directo del ión H^+ .
- Indirectamente, mediante su influencia en la disponibilidad (solubilidad) de los nutrientes y en la presencia de iones tóxicos.

Micronutrientes

- Elementos usados por las plantas en cantidades muy pequeñas (Fe, Mn, Cu, Zn, Bo, Mo, Cl, Co).
- También llamada *elementos traza*.
- Su denominación no significa que son menos esenciales que los macronutrientes, sino que son necesarios en pequeñas cantidades.
- Tienen un bajo umbral de toxicidad, lo que significa que el límite entre la carencia y la toxicidad es muy cercano.

FUNCIÓN EN EL VEGETAL

Elemento	Función
Fe	Forma parte de los citocromos, y de proteínas no hémicas implicadas en fotosíntesis, fijación de N y respiración.
Mn	Requerido para la actividad de algunas deshidrogenasas, descarboxilasas, kinasas, oxidasas (como la Mn-SOD), peroxidasas. También está involucrada en la evolución fotosintética del O ₂ .
Bo	Forma complejos con el manitol, mananos y ácido poligalacturónico y con otros componentes de la pared celular. Está implicado en la elongación celular y en el metabolismo de los ácidos nucleicos.
Mo	Forma parte de las enzimas nitrogenada, nitrato reductasa y xantina deshidrogenasa.
Cu	Forma parte de las enzimas ascorbato oxidasa, tirosinasa, monoamino oxidasa, uricasa, citocromo oxidasa, fenolasa, lacasa y de la plastocianina.
Zn	Forma parte de las enzimas alcohol deshidrogenasa, glutámico deshidrogenasa, anhidrasa carbónica.
Cl	Requerido en las reacciones fotosintéticas implicadas en la evolución del oxígeno molecular (O ₂).

SÍNTOMAS DE DEFICIENCIA

Elemento	Planta en General	Hojas	Tallos	Flor y Fruto
Fe	Clorosis general intensa.	Las jóvenes, blancas con nervadura verde.		
Mn	Clorosis mayor en ápice.	Jóvenes moteada. Viejas normales.	Ápice necrosado.	
Bo	Crecimiento en roseta.	Hojas nuevas engrosadas.	Muerte de yemas terminales. Acortamiento de entrenudos.	Se reduce floración y fructificación. Desarrollo deforme.
Mo	Crecimiento reducido.	Bordes cloróticos y delgados, y luego necróticos.		Floración reducida.
Cu	Apariencia compacta.	Clorosis y enrollamiento.	Muerte del meristemo apical. Entrenudos cortos.	Flores más claras de lo normal.
Zn	Apariencia arosetada.	Clorosis intervenal en hojas nuevas y necrosis en bordes o puntas.	Entrenudos cortos.	Se reduce la floración.
Cl	Clorosis y necrosis generalizada.	Pequeñas con manchas cloróticas y necróticas.		

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AZCON-BIETO J. y TALON M. (eds.) (2013). *Fundamentos de Fisiología Vegetal*. Interamericana, McGraw-Hill.
- BARCELO J., NICOLÁS G., SABATER B. y SÁNCHEZ-TAMÉS R. (2001). *Fisiología Vegetal*. Editorial Pirámide. Madrid.
- BARKER A.V. and D.J. Pilbeam. 2015. *Handbook of Plant Nutrition*. CRC Ed.
- BENTON J. 2012. *Plant Nutrition and Soil Fertility Manual*. CRC Press Ed.
- DIAZ DE LA GUARDIA, M. (2004). *Fisiología de las Plantas*. Serv. Publ. Universidad de Córdoba.
- FERNÁNDEZ V., T. SOTIROPOULOS and P. BROWN. 2013. *Foliar Fertilization*. IFA Ed.
- GARCIA F.J., ROSELLO J. y SANTA-MARIA M.P. (2001) *Iniciación a la Fisiología de las Plantas*. Editorial Foro Europa.
- REIGOSA, M.J., PEDROL N. y SANCHEZ, A. (2004). *La ecofisiología vegetal*. Thomson Editores Spain Paraninfo, S.A., Madrid.
- SALISBURY F.B. y ROSS C.W. (2000). *Fisiología de las Plantas*. International Thomson Editores Spain- Paraninfo, S.A. Madrid.
- TAIZ L. y ZEIGER E. (2002). *Plant Physiology*. (3ª ed.) Sinauer ASS. Inc. Pub.