

# SEÑALES EXTERNAS

GRAVEDAD

LUZ FOTOSINTESIS

LUZ FOTOMORFOGENESIS

TEMPERATURA

VIENTO

CO<sub>2</sub>

PATOGENOS

MICROORGANISMOS

TOXICIDAD MINERAL  
ALELOPATÍA

NUTRIENTES MINERALES

FOTOPERIOD

HUMEDAD

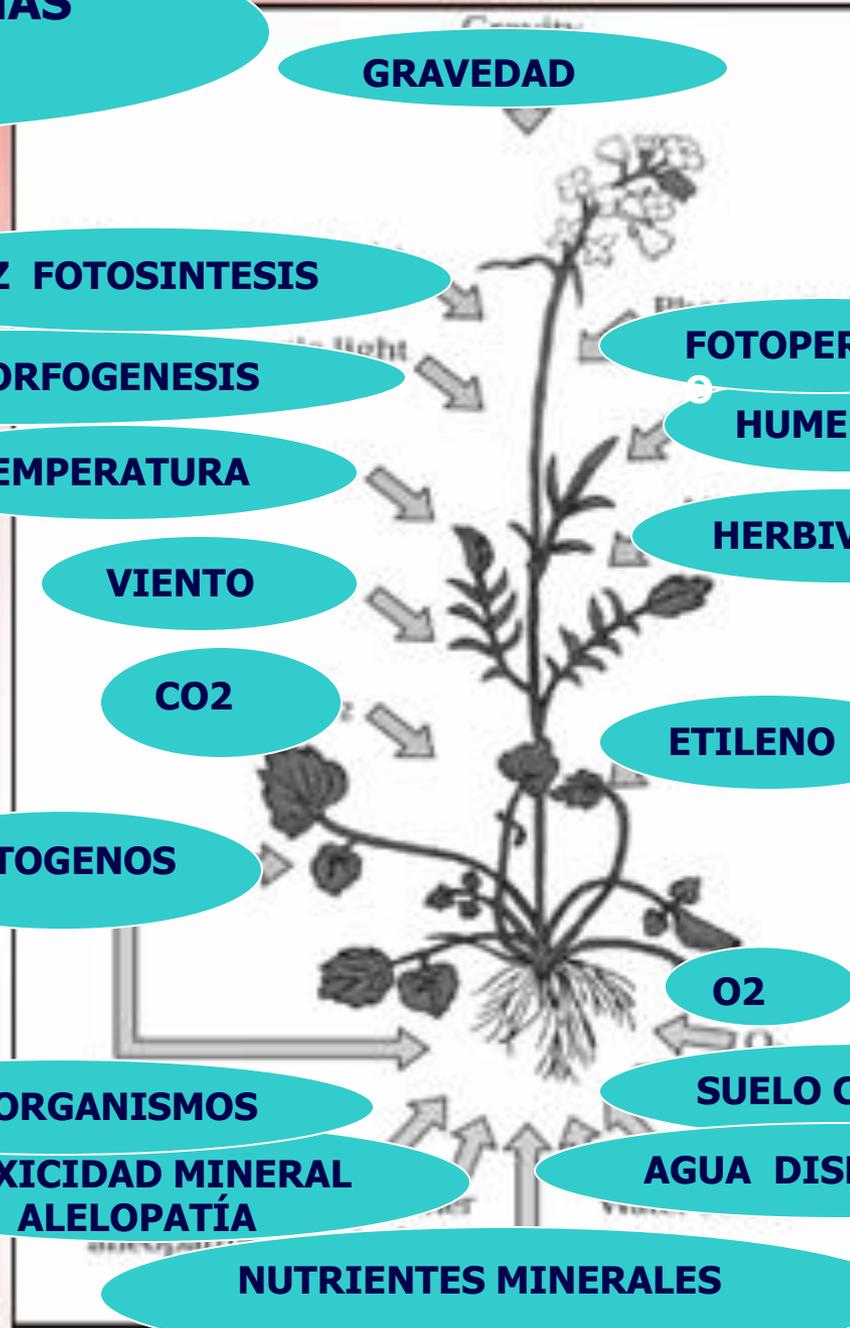
HERBIVOROS

ETILENO

O<sub>2</sub>

SUELO CALIDAD

AGUA DISPONIBLE



# FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS Y FORESTALES U.N.L.P.



DEPARTAMENTO DE CIENCIAS BIOLÓGICAS

CATEDRA DE FISIOLÓGIA VEGETAL

CURSO DE FISIOLÓGIA VEGETAL

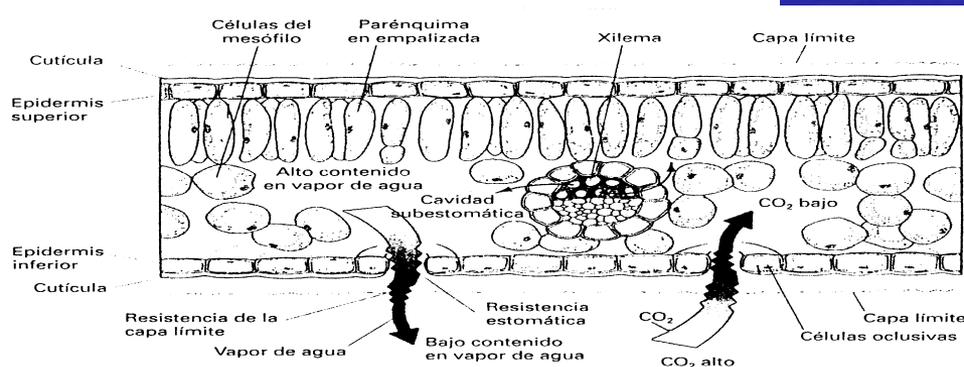
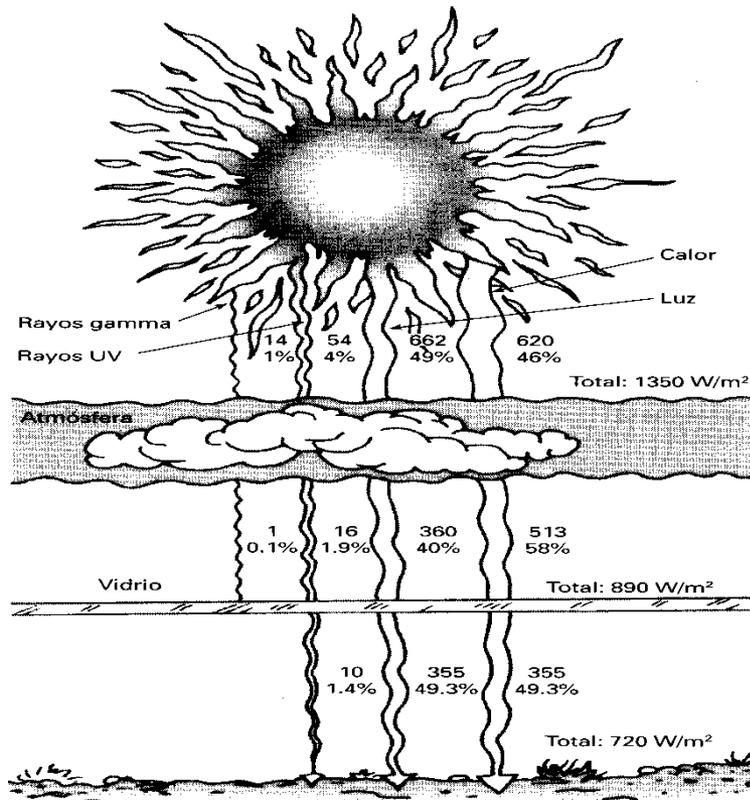
2022

PRERAS DE

INGENIERIA AGRONÓMICA E INGENIERIA FORESTAL

Profesorado en Biología F H. UNLP

Máster en Plantas Medicinales F C Exactas UNLP



| Ubicación geográfica | Superficie necesaria para alimentar una persona por año (m <sup>2</sup> ) |
|----------------------|---|
| 60° L N              | 469   |
| 40° L N              | 110   |
| 20° L N              | 81  |
| 0° Latitud           | 86  |

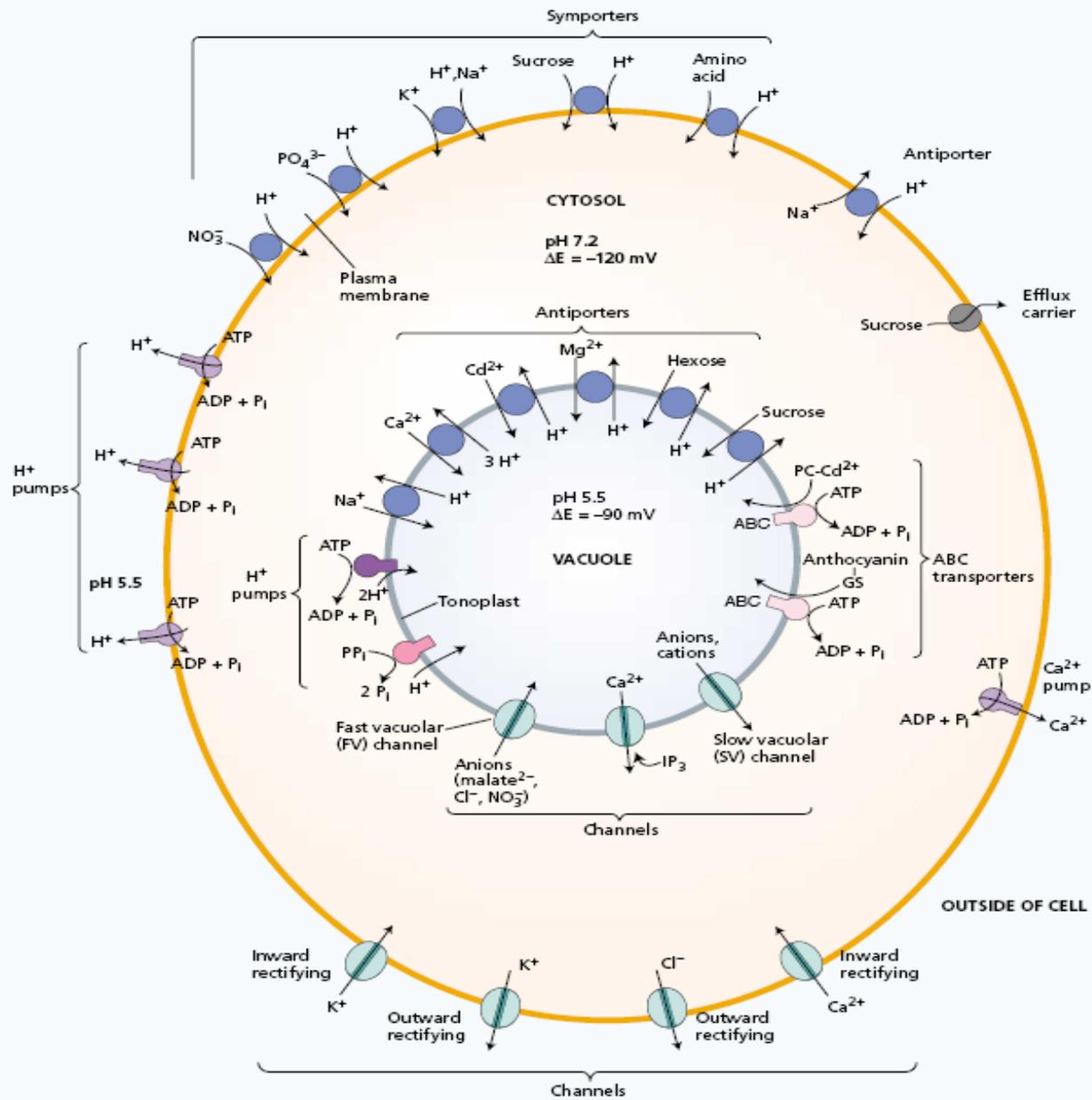
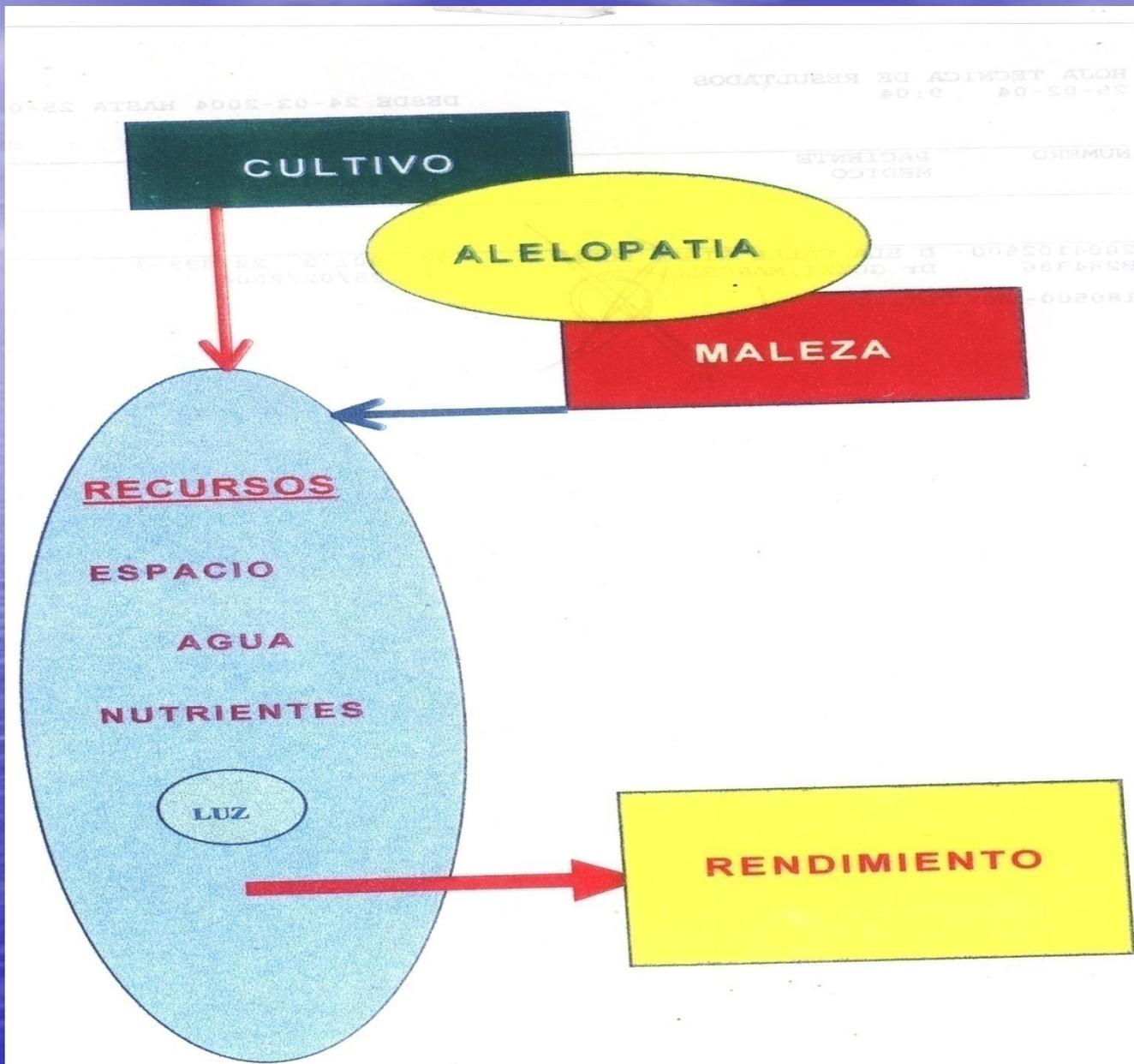
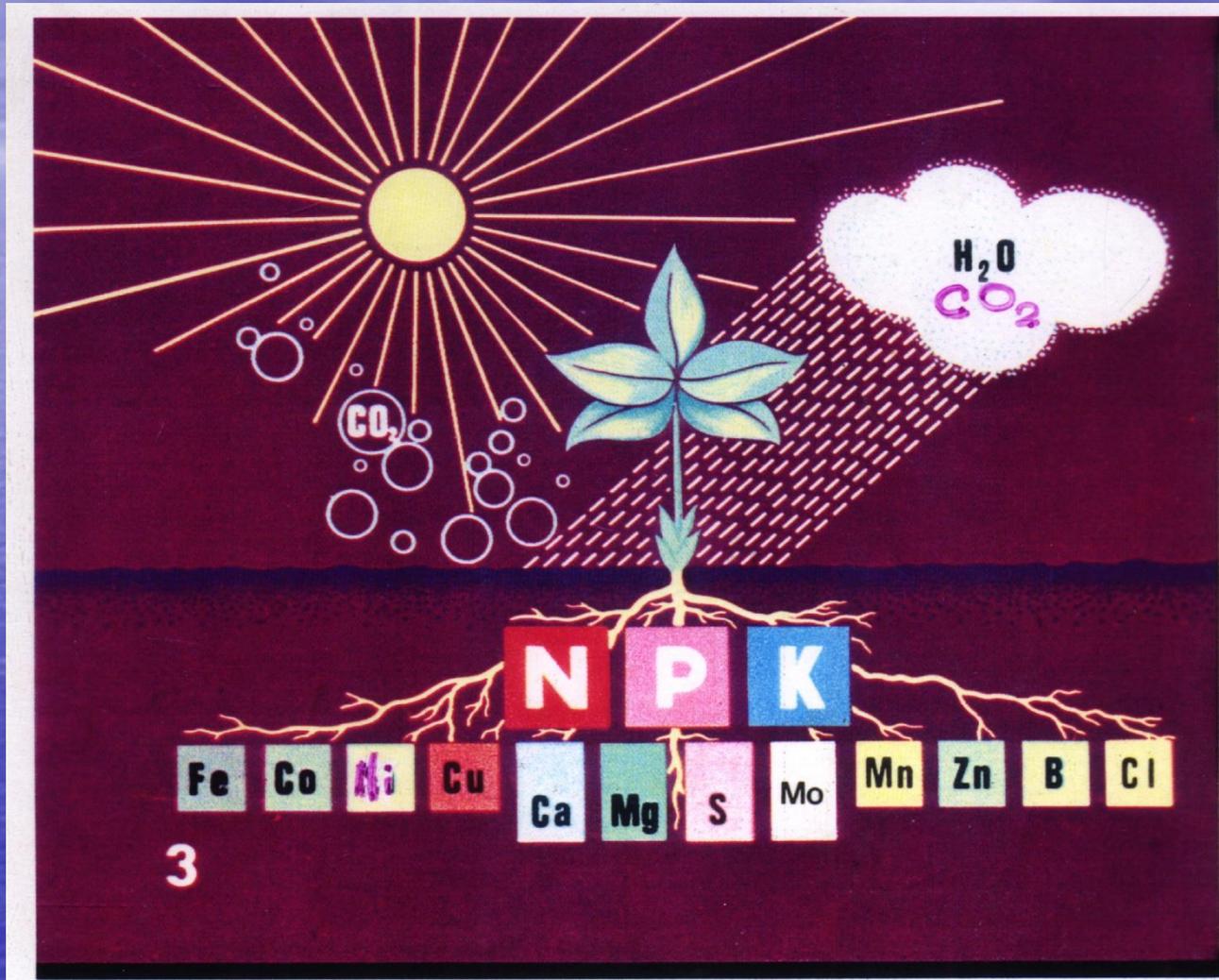


FIGURE 6.11 Overview of the various transport processes on the plasma membrane and tonoplast of plant cells.





## Extracción promedio de nutrientes por los cultivos por tonelada de grano producido

| Cultivo | N                  | P    | K     | Ca   | S    | B     |
|---------|--------------------|------|-------|------|------|-------|
|         | kg t <sup>-1</sup> |      |       |      |      |       |
| Soja    | 51.89              | 5.66 | 16.96 | 2.78 | 3.08 | 0.007 |
| Girasol | 22.67              | 4.71 | 6.27  | 1.09 | 1.62 | 0.022 |
| Maíz    | 14.29              | 2.88 | 3.75  | 0.20 | 1.40 | 0.005 |
| Trigo   | 19.06              | 3.74 | 3.87  | 0.39 | 1.50 | 0.007 |
| Arroz   | 14.41              | 2.91 | 2.74  | 0.13 | 0.70 | 0.008 |
| Sorgo   | 18.39              | 3.65 | 3.80  | 0.79 | 1.96 | 0.002 |

Fuentes consultadas: Cordone y Martínez, 2003; García, 2003; Gudeš et al., 2000; Ventimiglia et al., 1999; Inpofas, 1999; González y Gambaudo, 2003; IFA, 1992; Campitelli y García, 2007; Fontanetto y Keller, 2011; Ferraris, 2011.

## Extracción y balance de nutrientes en los suelos agrícolas de la Argentina

Ing. Agr. M.Sc. G. A. Cruzate e Ing. Agr. M.Sc. R. Casas

IAH 6 - Junio 2012

<http://www.desertificacion.gob.ar/wp-content/uploads/2013/02/Nutrientes.pdf>

## CRITERIOS DE ESENCIALIDAD

1. Un elemento es esencial si la planta no puede completar su ciclo vital en ausencia de ese elemento (IMPRESINDIBLE)
2. La función del elemento no puede ser reemplazada por ningún otro elemento (ESPECÍFICO)
3. El elemento debe estar involucrado en el metabolismo del vegetal (EFECTO DIRECTO)
  - Como constituyente de un metabolito esencial (enzima)
  - Requerido para un paso metabólico determinado, como puede ser la acción de un sistema enzimático

## CLASIFICACIÓN DE NUTRIENTES

1. Atendiendo a la concentración
  - a) Macros: C, H, O, N, P, S, K, Ca, Mg,
  - b) Micros (oligo): Fe, Mn, Cu, Zn, B, Cl, Mo, Ni
2. Atendiendo a la formación de iones
  - a) Metales: K, Ca, Mg, Fe, Mn, Cu, Zn, Mo, Ni
  - b) No metales: N, P, S, Cl, B
3. Atendiendo a su comportamiento bioquímico y función fisiológica

**TABLE 5.4**

**Mineral elements classified on the basis of their mobility within a plant and their tendency to retranslocate during deficiencies**

| Mobile     | Immobile |
|------------|----------|
| Nitrogen   | Calcium  |
| Potassium  | Sulfur   |
| Magnesium  | Iron     |
| Phosphorus | Boron    |
| Chlorine   | Copper   |
| Sodium     |          |
| Zinc       |          |
| Molybdenum |          |

*Note:* Elements are listed in the order of their abundance in the plant.

**TABLE 5.1**  
**Adequate tissue levels of elements that may be required by plants**

| Element                                      | Chemical symbol | Concentration in dry matter (% or ppm) <sup>a</sup> | Relative number of atoms with respect to molybdenum |
|--|-----------------|---|---|
| <b>Obtained from water or carbon dioxide</b> |                 |   |   |
| Hydrogen                                     | H               | 6   | 60,000,000  |
| Carbon                                       | C               | 45  | 40,000,000  |
| Oxygen                                       | O               | 45  | 30,000,000  |
| <b>Obtained from the soil</b>                |                 |   |   |
| <b>Macronutrients</b>                        |                 |   |   |
| Nitrogen                                     | N               | 1.5   | 1,000,000   |
| Potassium                                    | K               | 1.0   | 250,000   |
| Calcium                                      | Ca              | 0.5   | 125,000   |
| Magnesium                                    | Mg              | 0.2   | 80,000  |
| Phosphorus                                   | P               | 0.2   | 60,000  |
| Sulfur                                       | S               | 0.1   | 30,000  |
| Silicon                                      | Si              | 0.1   | 30,000  |
| <b>Micronutrients</b>                        |                 |   |   |
| Chlorine                                     | Cl              | 100   | 3,000   |
| Iron   | Fe              | 100   | 2,000   |
| Boron  | B               | 20  | 2,000   |
| Manganese                                    | Mn              | 50  | 1,000   |
| Sodium                                       | Na              | 10  | 400   |
| Zinc   | Zn              | 20  | 300   |
| Copper                                       | Cu              | 6   | 100   |
| Nickel                                       | Ni              | 0.1   | 2   |
| Molybdenum                                   | Mo              | 0.1   | 1   |

Source: Epstein 1972, 1999.

<sup>a</sup> The values for the nonmineral elements (H, C, O) and the macronutrients are percentages. The values for micronutrients are expressed in parts per million.

## ELEMENTOS ESENCIALES, BENEFICIOSOS Y TÓXICOS PARA LAS PLANTAS

| IA | IIA | IIIB | IVB | VB | VIB | VIB | VII |    |    |    |    | IB | IB | IIIA | IV A | VA | VI A | VIA | 0  |
|----|-----|------|-----|----|-----|-----|-----|----|----|----|----|----|----|------|------|----|------|-----|----|
| H  |     |      |     |    |     |     |     |    |    |    |    |    |    |      |      |    |      |     | He |
| Li | Be  |      |     |    |     |     |     |    |    |    |    |    |    | B    | C    | N  | O    | F   | Ne |
| Na | Mg  |      |     |    |     |     |     |    |    |    |    |    |    | Al   | Si   | P  | S    | Cl  | Ar |
| K  | Ca  | Sc   | Ti  | V  | Cr  | Mn  | Fe  | Co | Ni | Cu | Zn | Ga | Ge | As   | Se   | Br | Kr   |     |    |
| Rb | Sr  | Y    | Zr  | Nb | Mo  | Tc  | Ru  | Rh | Pd | Ag | Cd | In | Sn | Sb   | Te   | I  | Xe   |     |    |
| Cs | Ba  | La   | Hf  | Ta | W   | Re  | Os  | Ir | Pt | Au | Hg | Tl | Pb | Bi   | Po   | At | Rn   |     |    |
| Fr | Ra  | Ac   |     |    |     |     |     |    |    |    |    |    |    |      |      |    |      |     |    |

■ Esenciales

■ Beneficiosos

■ Tóxicos

TABLE 5.3

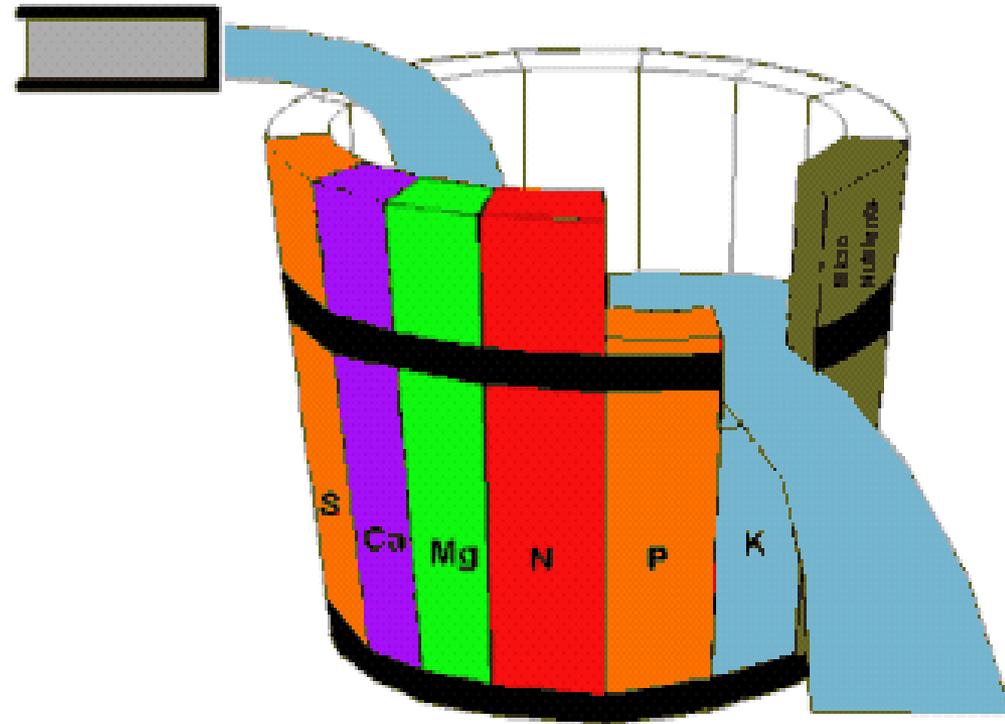
Composition of a modified Hoagland nutrient solution for growing plants

| Compound  | Molecular weight    | Concentration of stock solution | Concentration of stock solution | Volume of stock solution per liter of final solution | Element | Final concentration of element |           |
|---|---------------------|---------------------------------|---------------------------------|--|---------|--------------------------------|-----------|
|   | g mol <sup>-1</sup> | mM                              | g L <sup>-1</sup>               | mL   |         | μM                             | ppm       |
| <b>Macronutrients</b>                                   |                     |                                 |                                 |  |         |                                |           |
| KNO <sub>3</sub>  | 101.10              | 1,000                           | 101.10                          | 6.0  | N       | 16,000                         | 224       |
| Ca(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> ·4H <sub>2</sub> O    | 236.16              | 1,000                           | 236.16                          | 4.0  | K       | 6,000                          | 235       |
| NH <sub>4</sub> H <sub>2</sub> PO <sub>4</sub>          | 115.08              | 1,000                           | 115.08                          | 2.0  | Ca      | 4,000                          | 160       |
| MgSO <sub>4</sub> ·7H <sub>2</sub> O                    | 246.48              | 1,000                           | 246.49                          | 1.0  | P       | 2,000                          | 62        |
|   |                     |                                 |                                 |  | S       | 1,000                          | 32        |
|   |                     |                                 |                                 |  | Mg      | 1,000                          | 24        |
| <b>Micronutrients</b>                                   |                     |                                 |                                 |  |         |                                |           |
| KCl   | 74.55               | 25                              | 1.864                           | 2.0  | Cl      | 50                             | 1.77      |
| H <sub>3</sub> BO <sub>3</sub>                          | 61.83               | 12.5                            | 0.773                           |  | B       | 25                             | 0.27      |
| MnSO <sub>4</sub> ·H <sub>2</sub> O                     | 169.01              | 1.0                             | 0.169                           |  | Mn      | 2.0                            | 0.11      |
| ZnSO <sub>4</sub> ·7H <sub>2</sub> O                    | 287.54              | 1.0                             | 0.288                           |  | Zn      | 2.0                            | 0.13      |
| CuSO <sub>4</sub> ·5H <sub>2</sub> O                    | 249.68              | 0.25                            | 0.062                           |  | Cu      | 0.5                            | 0.03      |
| H <sub>2</sub> MoO <sub>4</sub> (85% MoO <sub>3</sub> ) | 161.97              | 0.25                            | 0.040                           |  | Mo      | 0.5                            | 0.05      |
| NaFeDTPA (10% Fe)                                       | 468.20              | 64                              | 30.0                            | 0.3–1.0  | Fe      | 16.1–53.7                      | 1.00–3.00 |
| <b>Optional<sup>a</sup></b>                             |                     |                                 |                                 |  |         |                                |           |
| NiSO <sub>4</sub> ·6H <sub>2</sub> O                    | 262.86              | 0.25                            | 0.066                           | 2.0  | Ni      | 0.5                            | 0.03      |
| Na <sub>2</sub> SiO <sub>3</sub> ·9H <sub>2</sub> O     | 284.20              | 1,000                           | 284.20                          | 1.0  | Si      | 1,000                          | 28        |

Source: After Epstein 1972.

## Ley del Mínimo

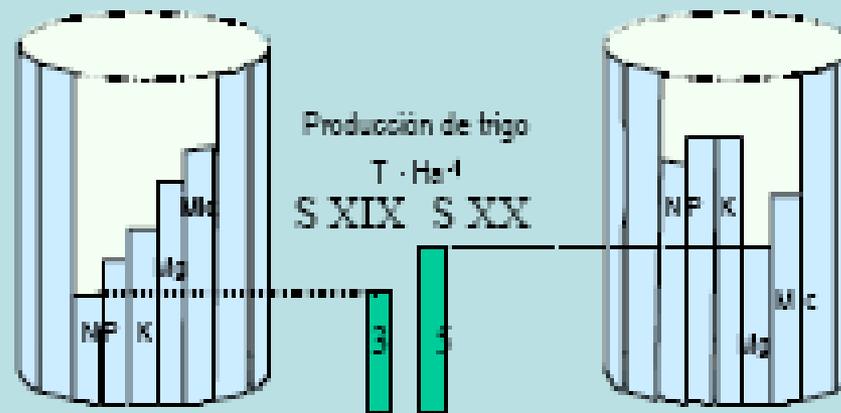
La ley del mínimo de Liebig dice que el nutriente que se encuentra menos disponible es el que limita la producción, aún cuando los demás estén en cantidades suficientes.



**El elemento menos disponible (en este caso potasio [K]), limita la producción**

- **Concepto de factor limitante**

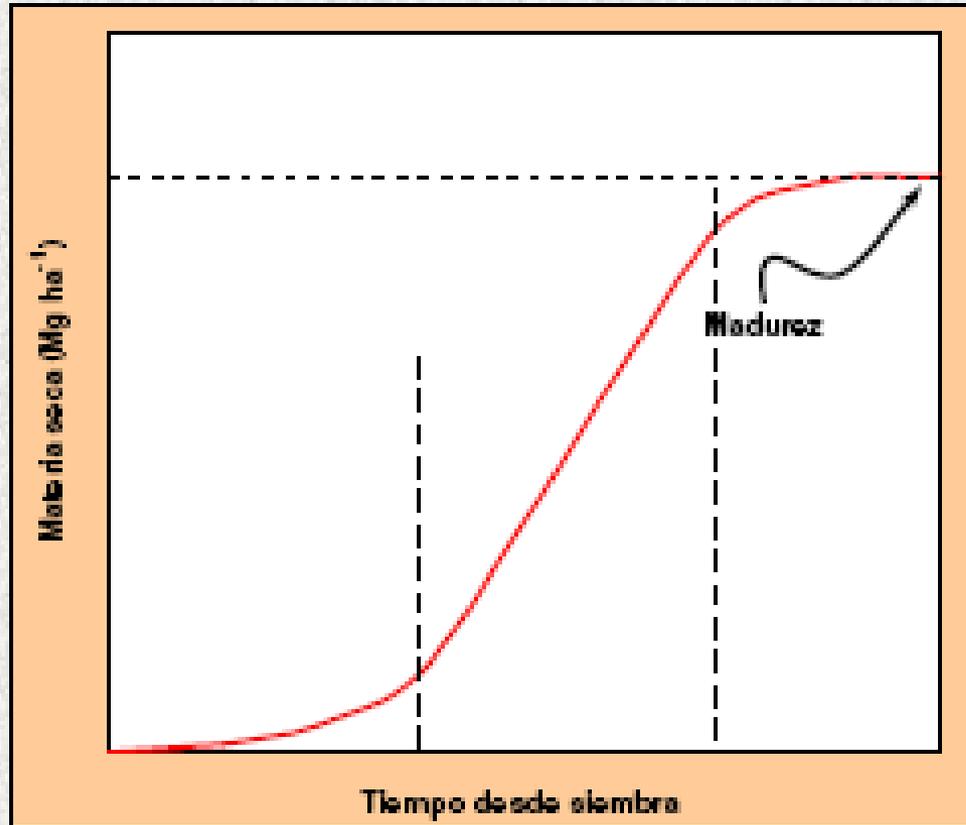
Cuando un fenómeno biológico depende de varios factores, si uno se manifiesta insuficiente, la mejora de los demás factores no implica un incremento en dicho fenómeno



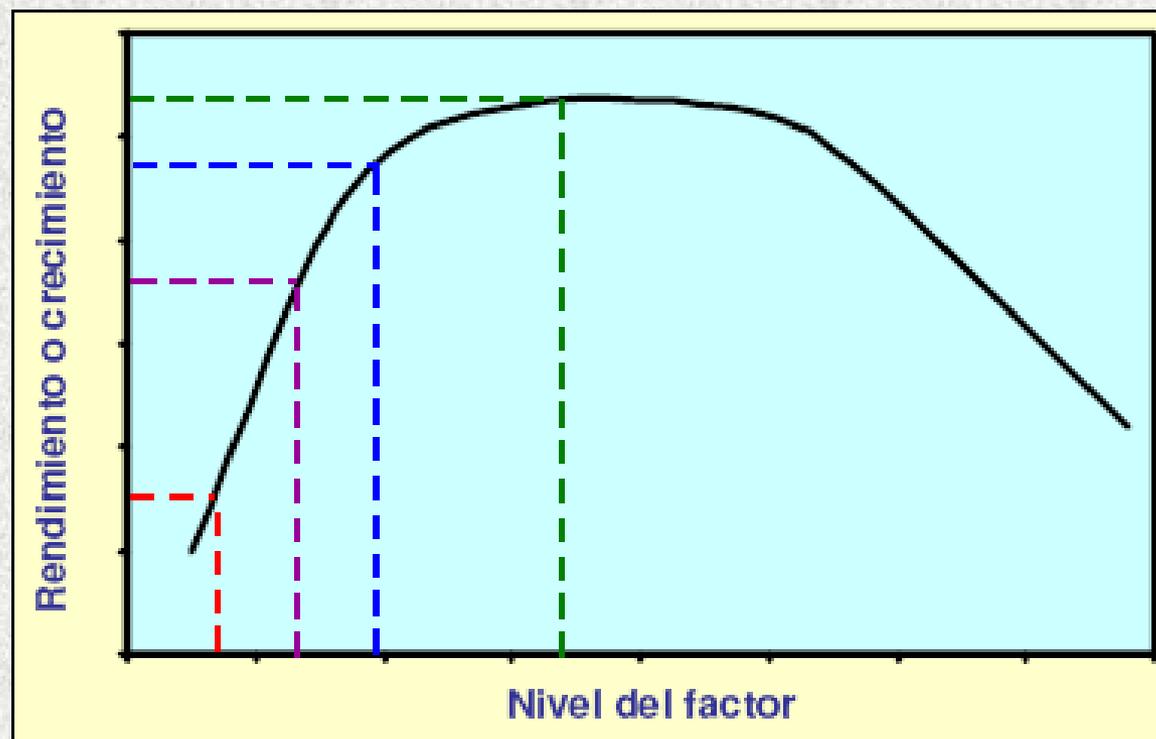
- **Relación nutrición-fisiología-síntomas**

Cualquier alteración nutritiva produce una sintomatología en el vegetal peculiar para cada elemento

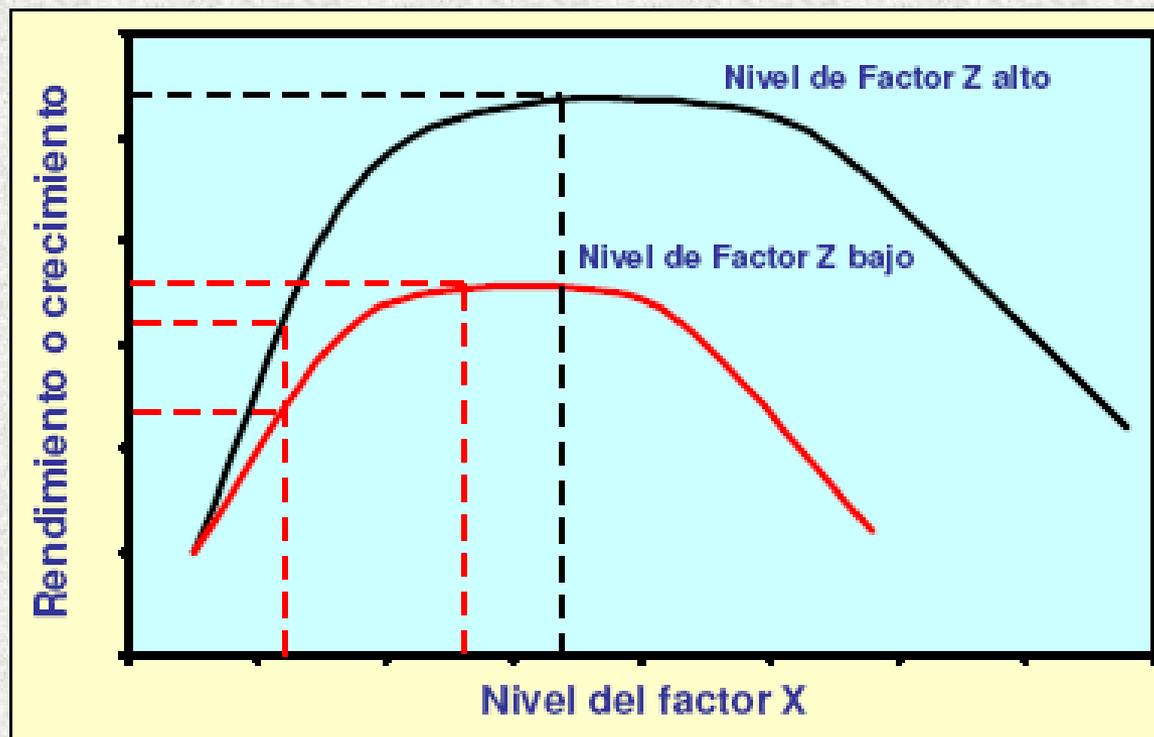
## Forma general de la acumulación de MS

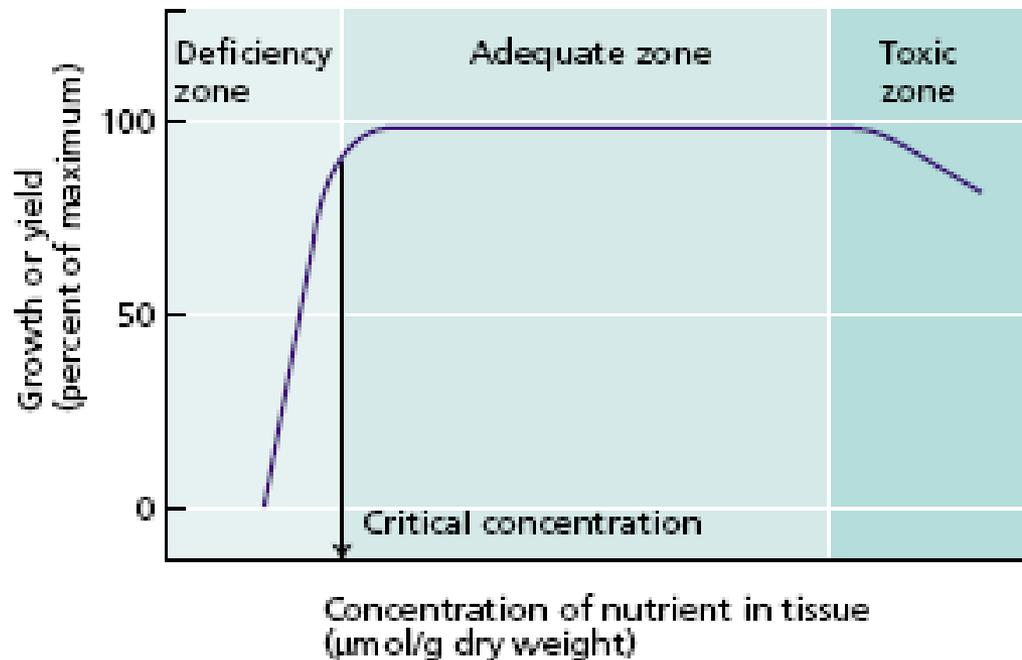


## *Relación entre crecimiento o rendimiento y el nivel de un factor de producción*

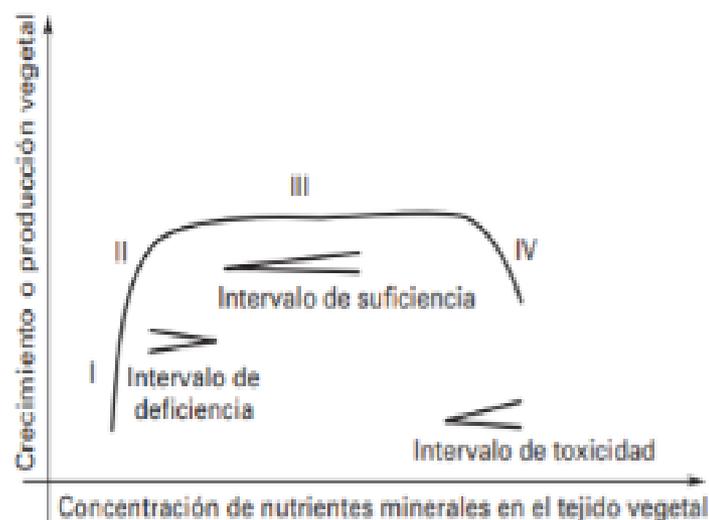


## Relación entre crecimiento o rendimiento y el nivel de dos factores de producción

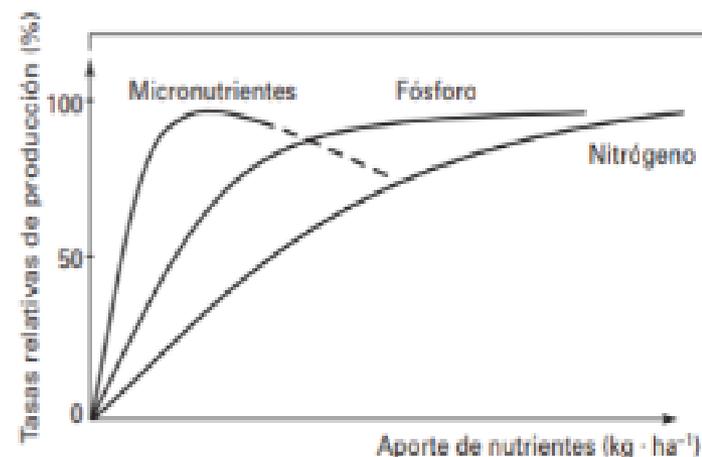




**FIGURE 5.3** Relationship between yield (or growth) and the nutrient content of the plant tissue. The yield parameter may be expressed in terms of shoot dry weight or height. Three zones—deficiency, adequate, and toxic—are indicated on the graph. To yield data of this type, plants are grown under conditions in which the concentration of one essential nutrient is varied while all others are in adequate supply. The effect of varying the concentration of this nutrient during plant growth is reflected in the growth or yield. The critical concentration for that nutrient is the concentration below which yield or growth is reduced.



**Figura 8-1.** Relación entre el crecimiento vegetal y el contenido de nutrientes minerales en la planta. **I**, Parte ascendente de la curva, en la que existe un crecimiento acusado frente a pequeñas aportaciones del nutriente. **II**, Los incrementos en el crecimiento y en el contenido del nutriente están estrechamente relacionados. El intervalo I-II es el de la deficiencia. **III**, Zona en la que el crecimiento no está limitado por el nutriente y en la cual el contenido de éste se incrementa notablemente. Es la zona de suficiencia del nutriente. **IV**, Parte final, en la que el excesivo contenido del nutriente produce toxicidad y reducción del crecimiento. (Adaptado de Marschner, 1995.)



**Figura 8-2.** Curvas de producción vegetal en función de la concentración de distintos tipos de nutrientes en la planta. (Adaptado de Marschner, 1995.)

**Disponibilidad de nutrientes en el suelo.** El suelo es el soporte natural de las plantas, y de él toman las raíces agua y los nutrientes minerales. El desarrollo óptimo de un cultivo viene genéticamente determinado, al igual que la capacidad para captar nutrientes del medio externo. Pero este potencial de desarrollo está limitado, fundamentalmente, por la disponibilidad de nutrientes del medio y, también, por otros factores de estrés que se tratarán más adelante.

**CUADRO 8-2. Intervalos de suficiencia de la concentración de nutrientes en tejidos vegetales de distintos tipos de planta.**

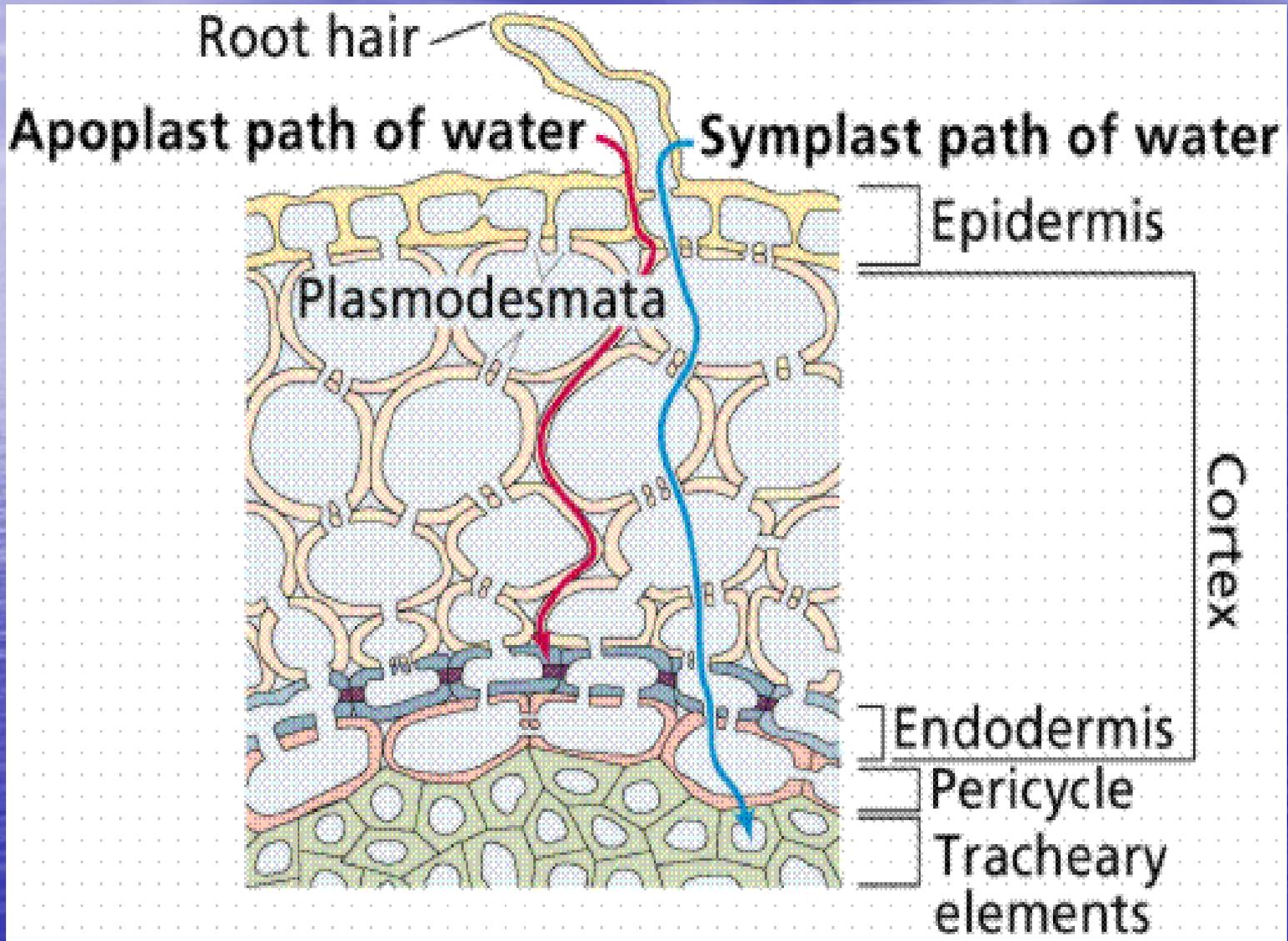
| Especie (órgano)                | Contenidos (% en peso seco) |           |                      |          |           | Contenidos (mg · kg <sup>-1</sup> peso seco) |        |      |        |          |
|---------------------------------|-----------------------------|-----------|----------------------|----------|-----------|--|--------|------|--------|----------|
|                                 | N                           | P         | K                    | Ca       | Mg        | Mn   | Zn     | Cu   | B      | Mo       |
| Trigo (toda la parte aérea)     | 3.0-4.5                     | 0.3-0.5   | 2.9-3.8              | 0.4-1.0  | 0.15-0.3  | 30-100                                       | 20-70  | 5-10 | 5-10   | 0.1-0.3  |
| Maíz (hoja madura) <sup>a</sup> | 2.7-3.5                     | 0.4-0.7   | 2.5-3.5              | 0.7-1.0  | 0.20-0.5  | 30-300                                       | 20-150 | 5-25 | 8-25   | 0.5-1.0  |
| Remolacha (hoja madura)         | 4.0-6.0                     | 0.35-0.6  | 3.5-6.0 <sup>b</sup> | 0.7-2.0  | 0.30-0.70 | 40-100                                       | 20-80  | 7-15 | 40-100 | 0.25-1.0 |
| Algodón (hoja madura)           | 3.6-4.7                     | 0.3-0.5   | 1.7-3.5              | 0.6-1.5  | 0.35-0.8  | 35-100                                       | 25-80  | 8-20 | 20-80  | 0.6-2.0  |
| Tomate (hoja madura)            | 4.0-5.5                     | 0.4-0.65  | 3.0-6.0              | 3.0-4.0  | 0.3-0.8   | 40-100                                       | 30-80  | 6-12 | 40-80  | 0.3-1.0  |
| Alfalfa (parte aérea)           | 3.5-5.0                     | 0.3-0.6   | 2.5-3.8              | 1.0-2.5  | 0.3-0.8   | 30-100                                       | 25-70  | 6-15 | 35-80  | 0.5-2.0  |
| Manzano (hoja madura)           | 2.2-2.8                     | 0.18-0.30 | 1.1-1.5              | 1.3-2.2  | 0.20-0.35 | 35-100                                       | 20-50  | 5-12 | 30-50  | 0.1-0.3  |
| Naranja (hoja madura)           | 2.4-3.5                     | 0.15-0.3  | 1.2-2.0              | 3.0-7.0  | 0.25-0.7  | 25-125                                       | 25-60  | 6-15 | 30-70  | 0.2-0.5  |
| Abeto (acículas de 1-2 años)    | 1.35-1.7                    | 0.13-0.25 | 0.5-1.2              | 0.35-0.8 | 0.1-0.25  | 50-500                                       | 15-60  | 4-10 | 15-50  | 0.04-0.2 |

<sup>a</sup> De Jones *et al.* 1991.

<sup>b</sup> Contenido de Na por debajo del 1.5%

(Adaptado de Marschner, H., 1995.)

- Apoplasto. Simplasto.



Espacio Libre Aparente: los iones y moléculas se mueven libremente por simple difusión, se los saca por lavado. Se experimento con  $^{40}\text{K}$

Espacio Libre Donnan: los iones quedan retenidos en las cargas de los constituyentes del apoplasto, se los extrae por intercambio cationico con  $\text{H}^+$  y luego lavado. Se experimento con  $^{40}\text{K}$

Ambos ocupan el 15% del espacio de la Raíz

\_Las moléculas y iones que atraviesan la membrana ya no se la puede extraer por lavado ni por intercambio cationico, ya le pertenece a la planta.

# Sistemas Coloidales

- **Soluciones** moléculas disueltas en un líquido
- **Sist. Coloidales** partículas dispersas en un medio

Así tenemos que el humo es un sólido disperso en un gas

La niebla es un líquido disperso en un gas.

Sistema Coloidal Hidrofílico; partículas dispersas con afinidad en el agua.

A nivel celular tenemos, proteínas, sustancias pépticas (laminilla media), celulosa y hemicelulosa (pared celular), etc.

Todas son MICELAS cargadas donde se adhiere el agua por puente de H.

Sistema coloidal en estado de Sol (se desplaza en un plano inclinado).

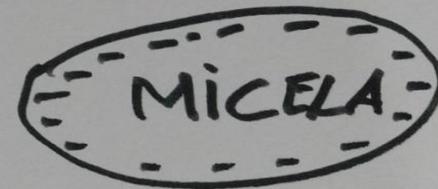
Sistema coloidal en estado de Gel (no se desplaza en un plano inclinado)

Citoplasma: Sistema coloidal Hidrofílico en estado de Sol, Gel y Soluciones.

Pared Celular y Laminilla media: Sistema coloidal Hidrofílico en estado Gel y

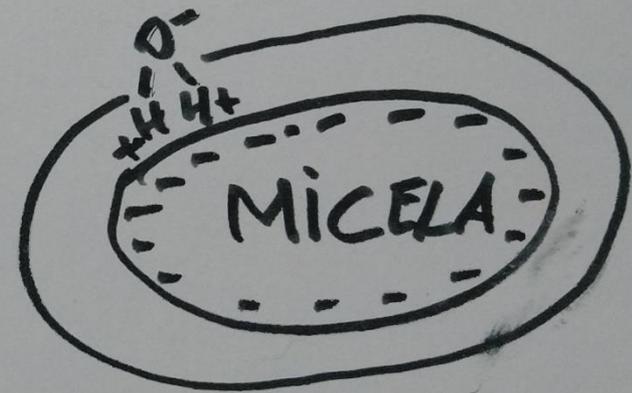
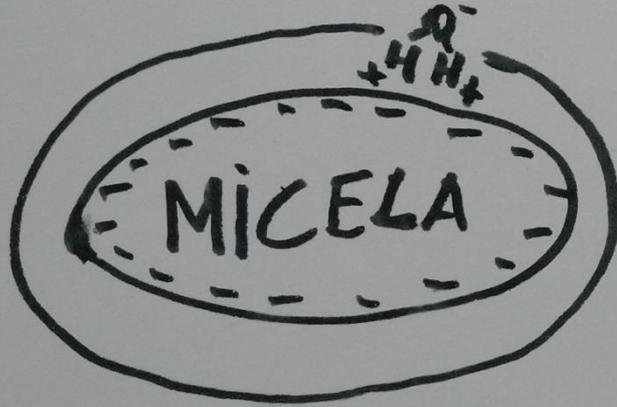
Solución. Constituyendo el  $\psi m$

# Suelo como Sistema Coloidal



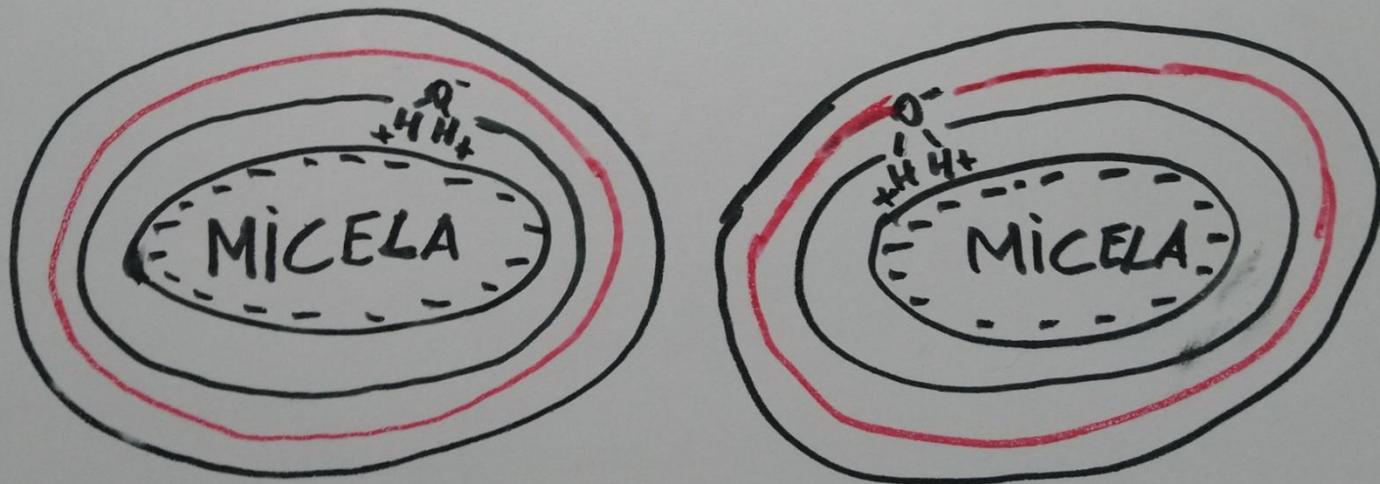
CENIZA VOLCÁNICA  
MICELA CARGADA ---

# Agua retenida sin Energía Libre, hieloide



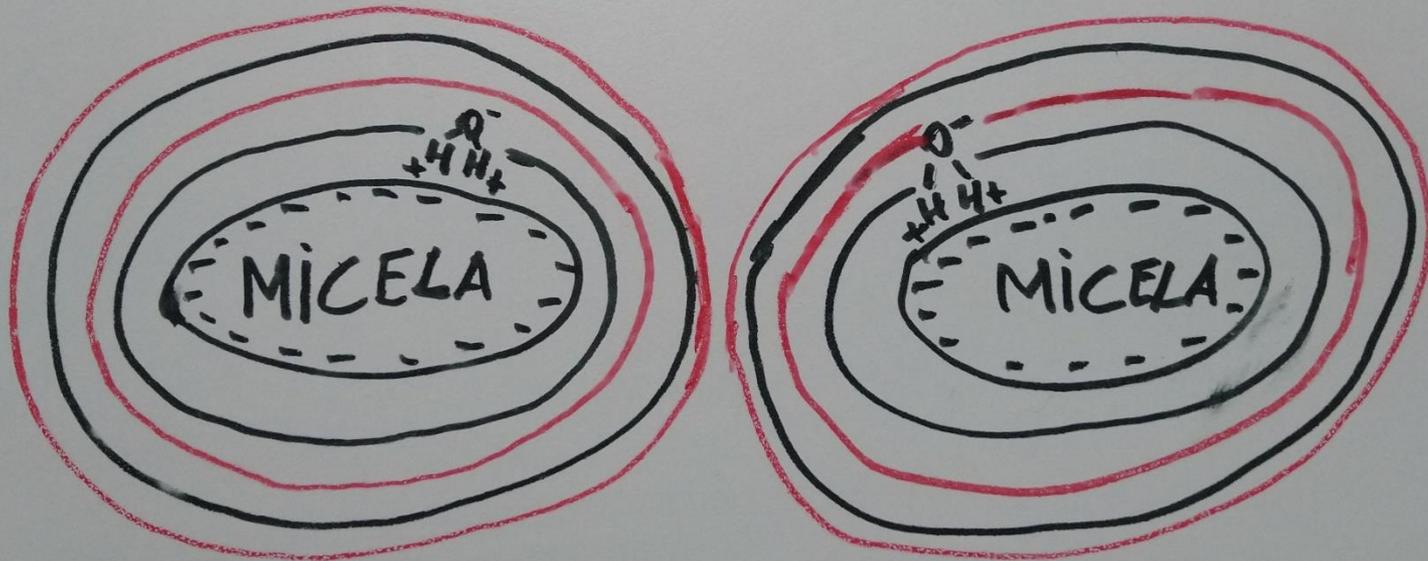
Las primeras capas de  $H_2O$  quedan retenidas con mucha fuerza

# Agua retenida pero con Energía Libre



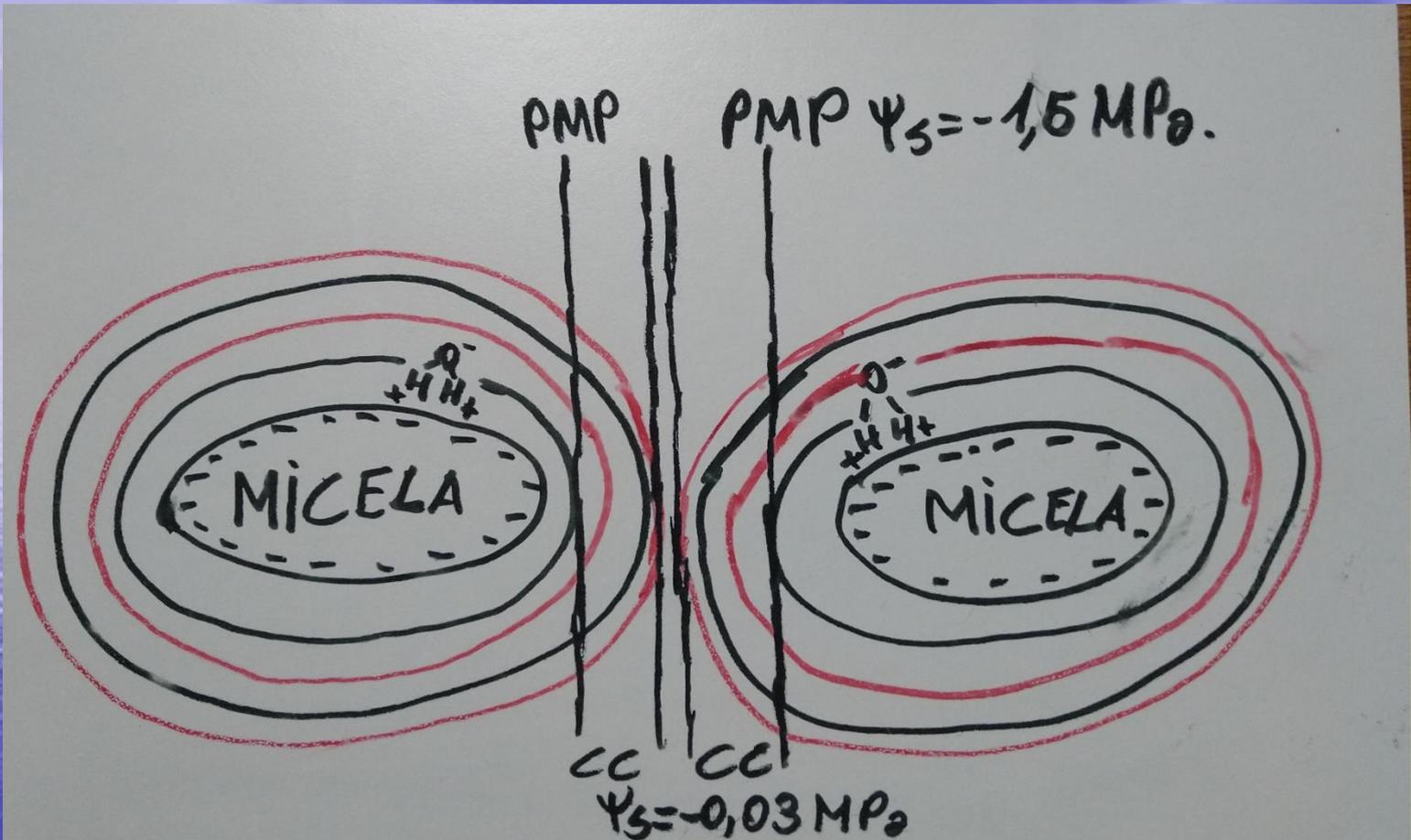
Las otras capas quedan retenidas con menor fuerza.

# Se lixivia el agua gravitacional



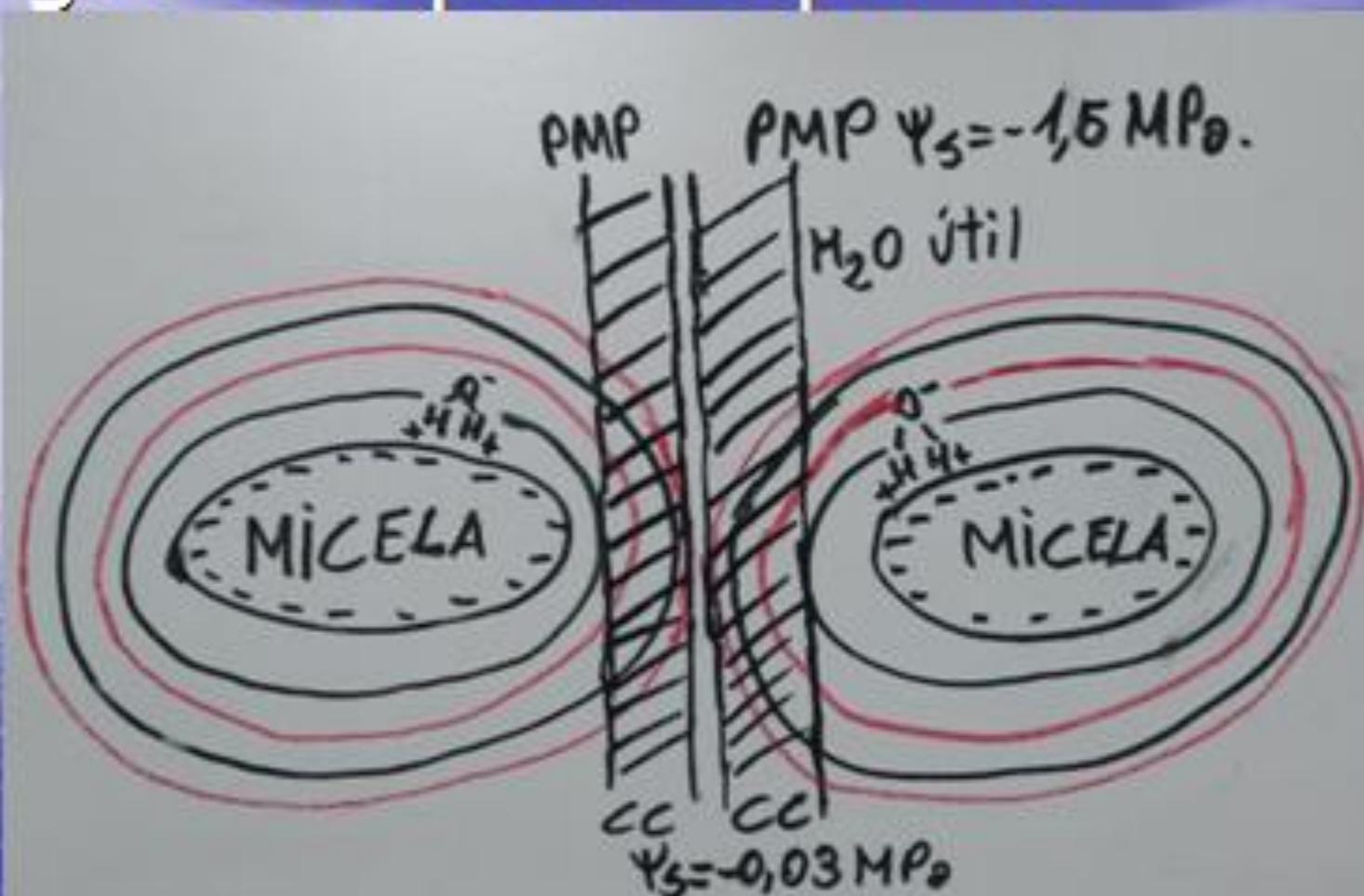
Las micelas retienen hasta que la fuerza de la gravedad se lleve el  $H_2O$  gravitacional.

# Punto de Marchitez Permanente PMP



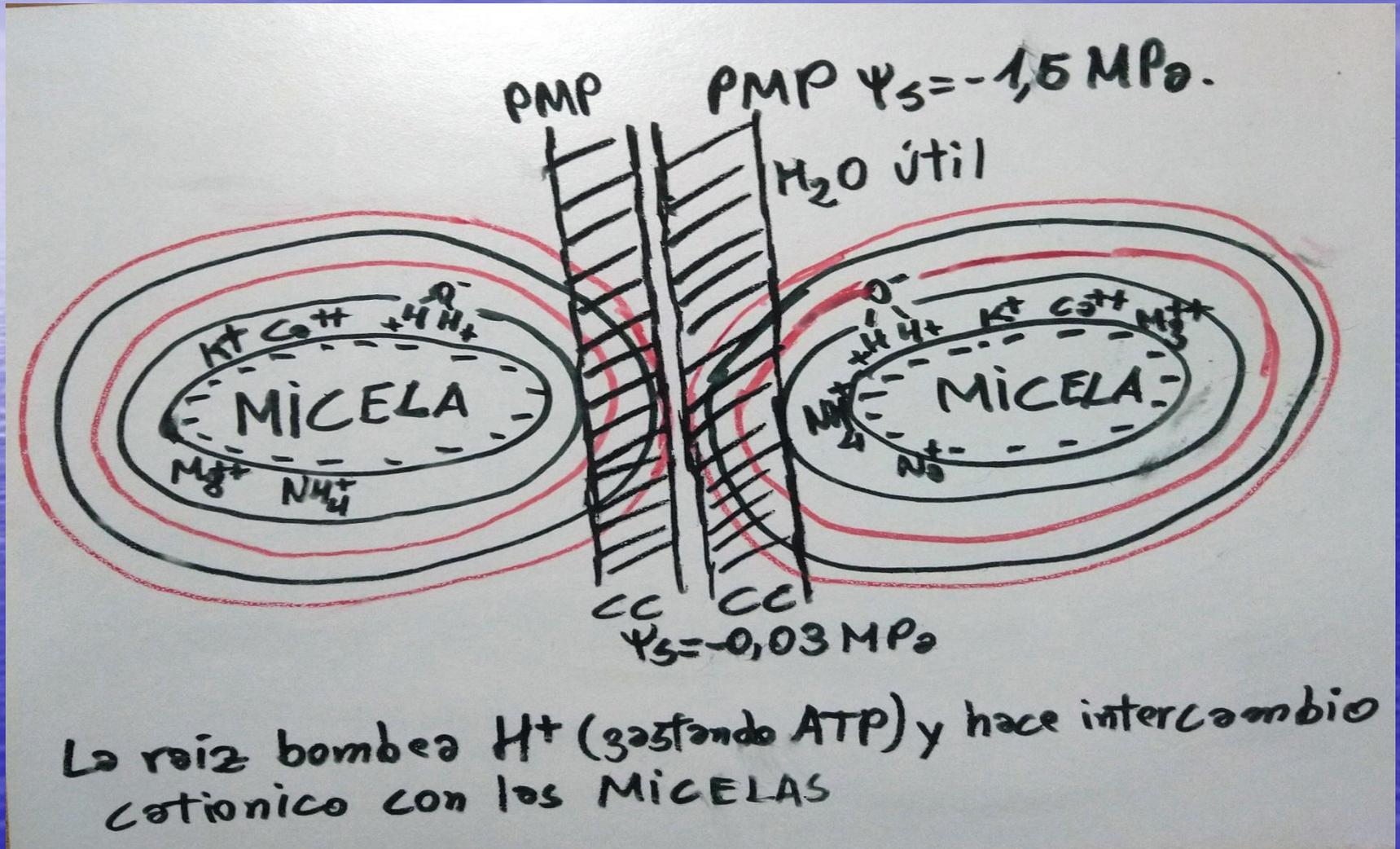
La raíz puede absorber  $\text{H}_2\text{O}$  hasta que las micelas retienen el  $\text{H}_2\text{O}$  con un  $\Psi_s = -1,5 \text{ MPa}$ ; Punto de Marchitez Permanente PMP.

# Agua Útil para la planta



La diferencia entre CC y PMP es el H<sub>2</sub>O útil para la planta.

# Absorción de agua y nutrientes minerales



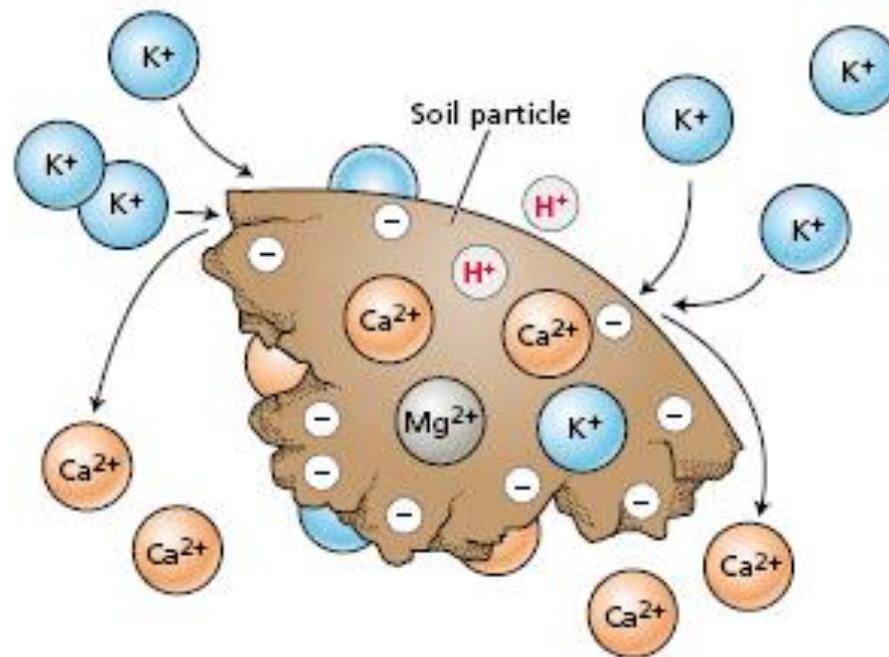
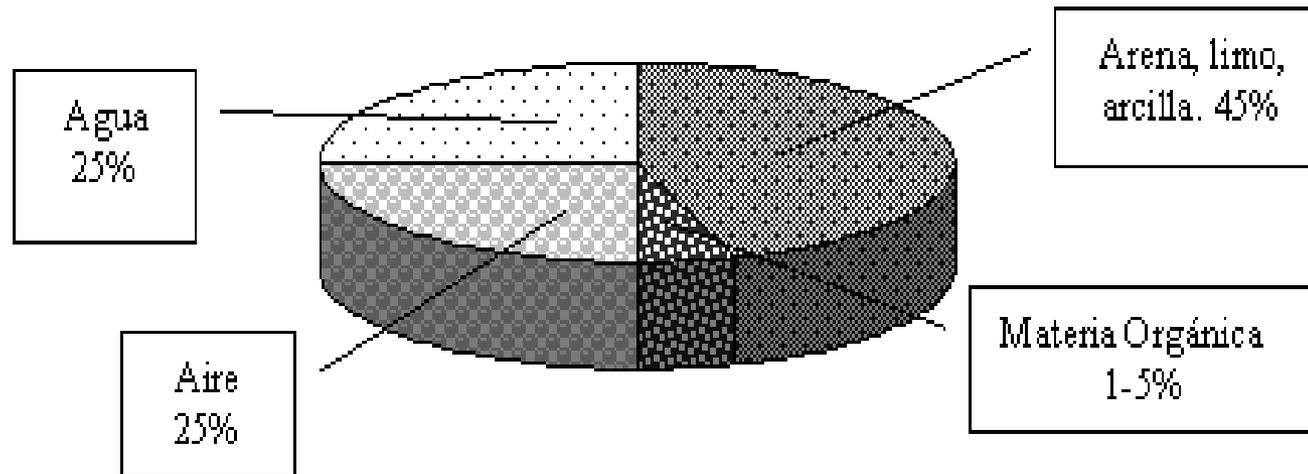


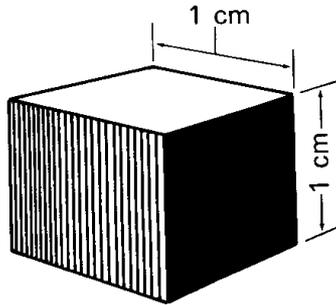
FIGURE 5.5 The principle of cation exchange on the surface of a soil particle. Cations are bound to the surface of soil particles because the surface is negatively charged. Addition of a cation such as potassium ( $K^+$ ) can displace another cation such as calcium ( $Ca^{2+}$ ) from its binding on the surface of the soil particle and make it available for uptake by the root.

Para comprender la complejidad del funcionamiento de las plantas es necesario centrar la atención en el sistema poroso de sustento, donde se cumplen procesos físicos, químicos y biológicos .

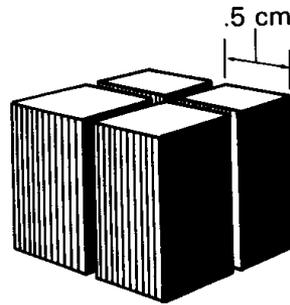
Figura 2: El espacio poroso que presentan los suelos está en parte ocupado por agua con sustancias disueltas (sales y gases) y en parte por una mezcla de diversos gases (incluido el vapor de agua) que se conoce como aire del suelo. Un ejemplo (50% espacio aéreo).



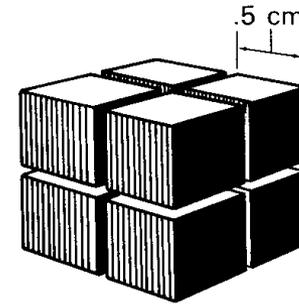
Volume =  $1 \text{ cm}^3$   
 Area =  $6 \text{ cm}^2$



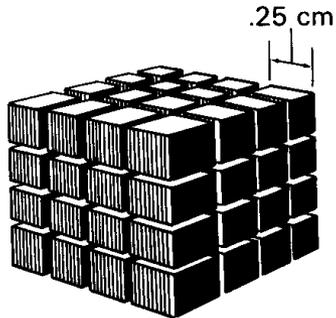
$V = 1 \text{ cm}^3$   
 $A = 10 \text{ cm}^2$



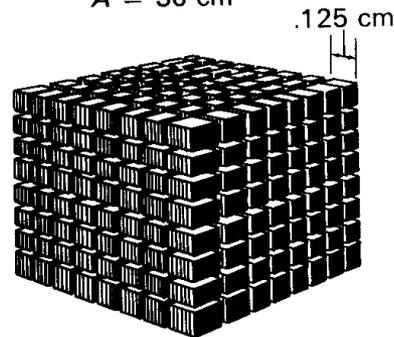
$V = 1 \text{ cm}^3$   
 $A = 12 \text{ cm}^2$



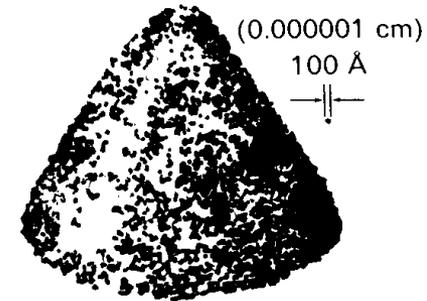
$V = 1 \text{ cm}^3$   
 $A = 20 \text{ cm}^2$



$V = 1 \text{ cm}^3$   
 $A = 36 \text{ cm}^2$



$V = 1 \text{ cm}^3$   
 $A = 600 \text{ m}^2 (6,000,000 \text{ cm}^2)$



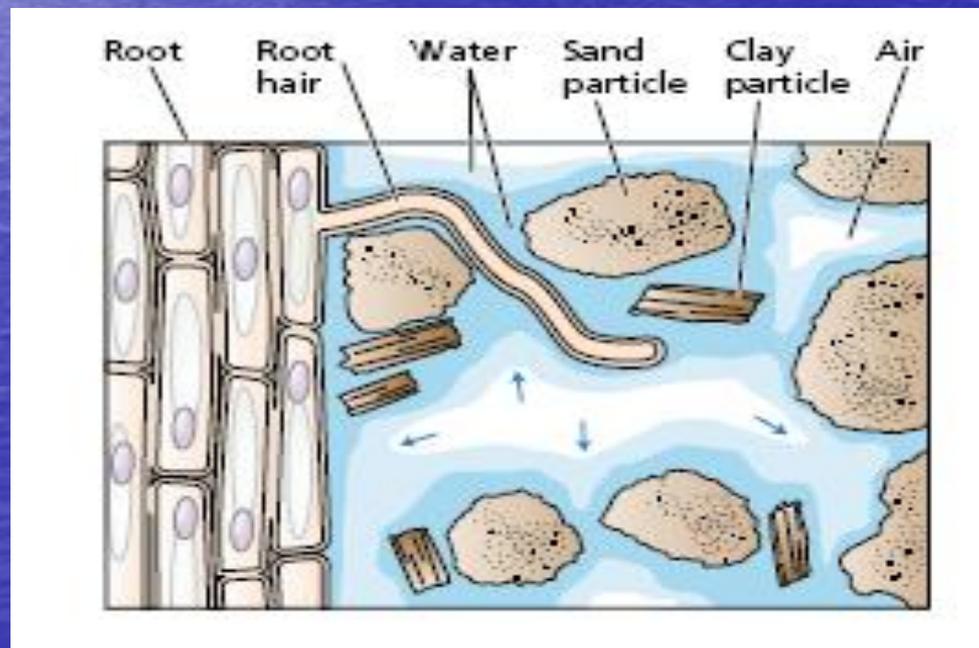
**Figure 4-1**

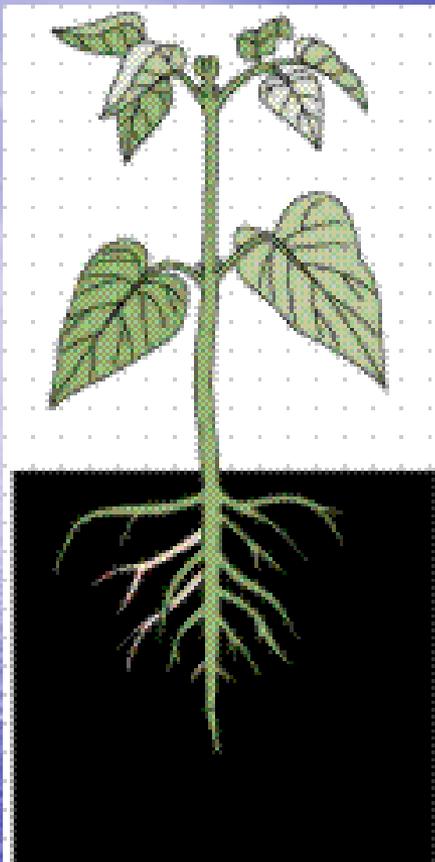
An illustration of the relationship between surface area and volume as particle size decreases.

**TABLE 4.1**

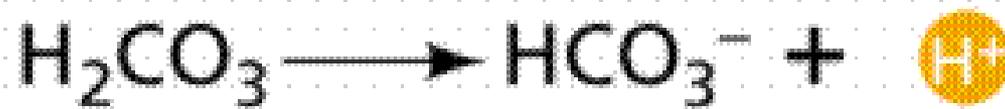
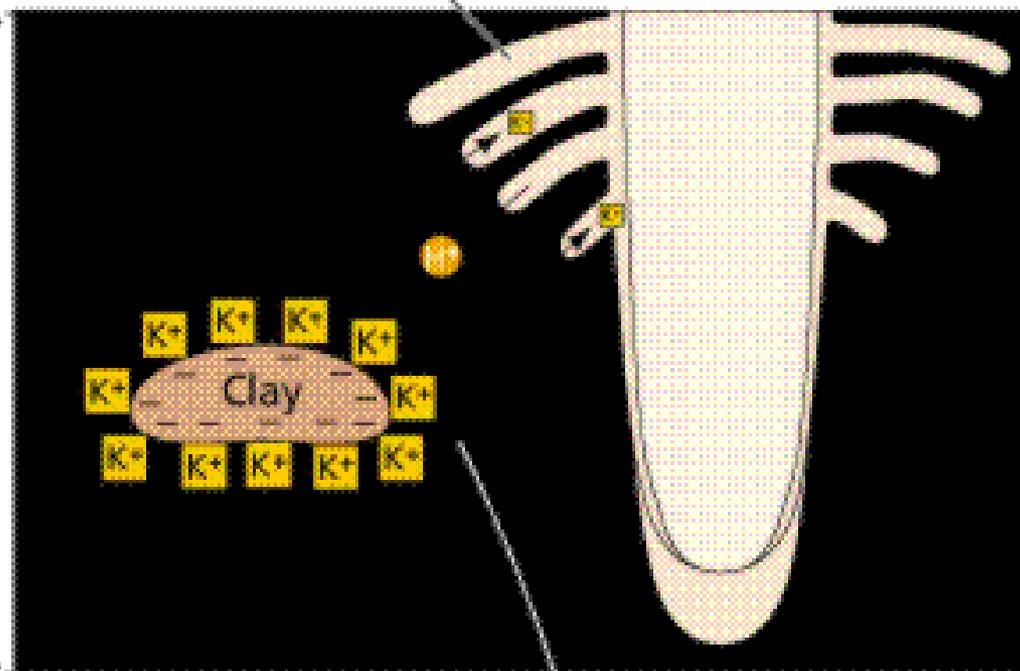
**Physical characteristics of different soils**

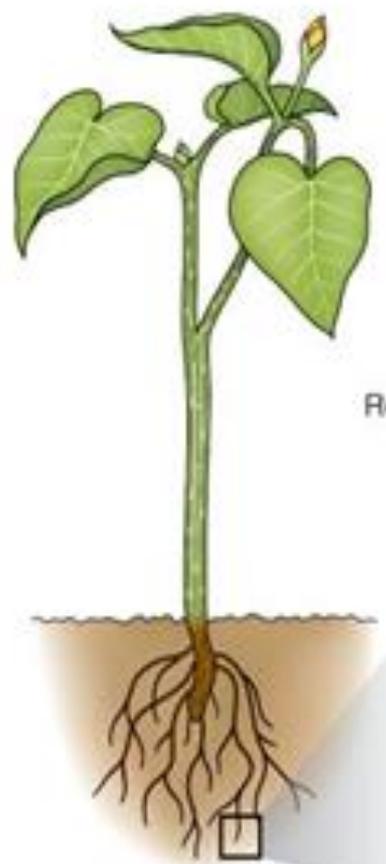
| Soil        | Particle diameter ( $\mu\text{m}$ ) | Surface area per gram ( $\text{m}^2$ ) |
|-------------|-------------------------------------|--|
| Coarse sand | 2000–200                            | <1–10                                  |
| Fine sand   | 200–20                              |  |
| Silt        | 20–2                                | 10–100                                 |
| Clay        | <2                                  | 100–1000                               |





Root hair



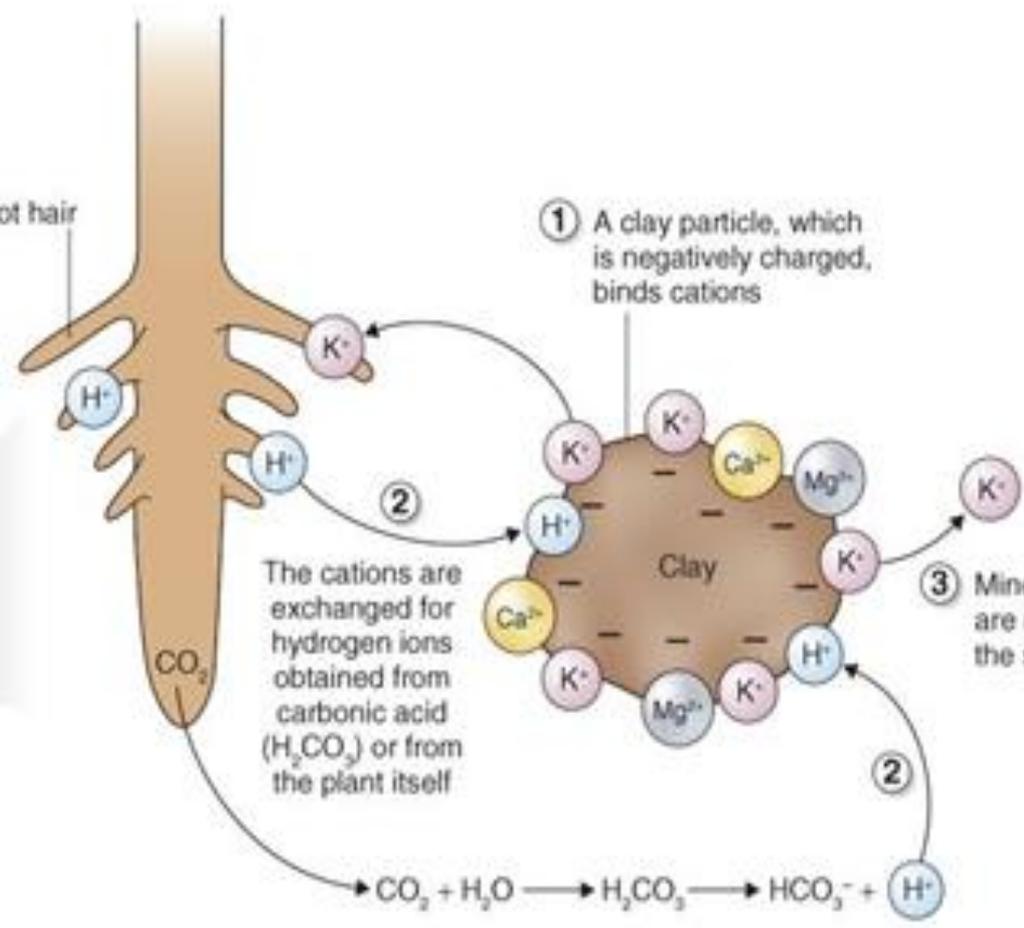
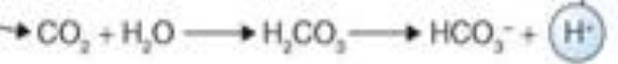


Root hair

① A clay particle, which is negatively charged, binds cations

The cations are exchanged for hydrogen ions obtained from carbonic acid ( $H_2CO_3$ ) or from the plant itself

③ Mineral cations are released into the soil solution



# PRESIÓN RADICAL. GUTACIÓN



# GUTACIÓN

Se puede definir como:

“Perdida de H<sub>2</sub>O en forma líquida por las plantas, haciéndolo a través de los hidatodos”

Motivada por la **Presión Radical** al absorber en forma activa (**consumiendo ATP**) elementos esenciales

| SUELO                           | PELO RADICAL               | CORTEZA                     | XILEMA                     |
|---------------------------------|----------------------------|-----------------------------|----------------------------|
| $\psi = \psi_s + \psi_m$        | $\psi = \psi_s + \psi_p$   | $\psi = \psi_s + \psi_p$    | $\psi = \psi_s + \psi_p$   |
| $\psi = - 0,02 - 0,03$          | $\psi = -1,1 + 1,0$        | $\psi = - 1,15 + 1,0$       | $\psi = - 0,2$             |
| $\psi = - 0,05 \text{ MPa}$     | $\psi = - 0,1 \text{ MPa}$ | $\psi = - 0,15 \text{ MPa}$ | $\psi = - 0,2 \text{ MPa}$ |
| =====Movimiento del agua =====> |                            |                             |                            |



## **ABSORCIÓN DE IONES.**

- A. POTENCIAL QUÍMICO.**
- B. POTENCIAL ELÉCTRICO.**

### **ABSORCIÓN PASIVA**

- C. POTENCIAL ELECTROQUÍMICO.**
- D. ECUACIÓN DE NERNST.**

### **ABSORCIÓN ACTIVA**

## **LAS RAICES COMO SUP. DE ABSORCIÓN**

**20 - 50 % DEL PESO SECO ES RAÍZ.**

**En condiciones de estrés hídrico el 90 % puede ser raíz.**

**En cultivos en hidroponia el 3-5 % es raíz.**

**La forma o arquitectura de la raíz es controlada genéticamente, modificadas por ambiente.**

**Las raíces colonizan superficies mayores a las que cubren las ramas.**

## 1. MOVIMIENTO DE IONES EN EL MEDIO:

**DIFUSIÓN** : Gradiente de concentración.

**J** FLUJO DIFUSIVO (FLUJO) DE PARTÍCULAS (**j**): Es la cantidad de partículas que atraviesa un área en la unidad de tiempo:

**LEY DE FICK:**

$$J_j = - D ( C_1 - C_2 ) / X$$

**J<sub>j</sub>** : Es la cantidad de iones (**j**) que atraviesa un área en la unidad de tiempo. ( $\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ )

- **D** : Coeficiente de difusión. ( $\text{m}^2 \text{s}^{-1}$ )

$(C_1 - C_2) = \Delta C_j =$  Diferencia de concentración entre  $C_1$  y  $C_2$  ( $\text{mol m}^{-3}$ ) separados por una distancia  $x$  (m).

$\Delta C_j =$  Fuerza que guía la difusión.

$J_j = \Delta C_j / r$  analogía con la ley de Ohms.  
"el flujo de una corriente eléctrica es proporcional a la diferencia de potencial (fuerza que la guía) e inversamente proporcional a la resistencia"

**r** : Resistencia. ( $\text{s m}^{-1}$ )

**PERMEABILIDAD (P<sub>j</sub>) de la membrana a la difusión de sustancias.**

**(P<sub>j</sub>): es la inversa de la resistencia.**

$$P_j = 1/r \text{ (m s}^{-1}\text{)} ; \quad J_j = P_j \cdot \Delta C_j$$

**El flujo de difusión es directamente proporcional a  $\Delta C_j$  e inversamente a la resistencia r.**

**ABSORCIÓN PASIVA POR DIFUSIÓN**

**GASES : Q<sub>10</sub>= 1.03**

**SOLUTOS EN AGUA : Q<sub>10</sub>= 1.2 - 1.4**

**CAUSAS: El aumento de la temperatura:**

- Rompe puentes H en el agua.
- Baja la viscosidad del agua.
- Los solutos difunden mas rapidamente.
- La permeabilidad del agua respecto de los solutos aumenta.
- Las partículas mas pequeñas difunden mas rápido que las mas grandes.

## 1. Transporte pasivo

### a. Canales iónicos. Inmersos en la membrana.

- i. Específicos
- ii. Alta velocidad de paso =  $10^8$  iones  $s^{-1}$
- iii. Apertura controlada por el ambiente
  - Regulada por el gradiente a través de la membrana.
  - Regulada por estímulos tales como luz o relaciones hormonales.

### b. Uniporte o difusión facilitada

- i. Involucra transportadores proteicos específicos.
- ii. Acelera la velocidad de absorción.
- iii. No consume energía si el gradiente electroquímico permite la absorción pasiva.

## 2. Transporte activo. Transportadores o carriers.

- i. Si el gradiente electroquímico no favorece la absorción de aniones o en el caso de moléculas neutras como azúcares, la incorporación al citosol se realiza con gasto de energía por **cotransporte o simporte**. Los cationes pueden ingresar pasivamente.
- ii. Si se combina el movimiento hacia adentro de un ion y de un protón hacia fuera, siendo este un ejemplo de **contratransporte o antiporte**.

## ECUACIÓN DE NERNST.

$$\Delta\mu = \Delta(R T \ln C) + \Delta (z F \Psi) \quad (1)$$

$$\text{Log } C_i/C_e = - z F \Delta\Psi / 2.3 R T \quad (2)$$

**Log  $C_i/C_e$  :** Relación en la concentración de iones  $i$  interior,  $e$  exterior de la membrana en el equilibrio,  $\Delta\mu$  vale cero.

**SI  $\Delta\mu$  VALE CERO O MENOR EL GRADIENTE DE ENERGÍA LIBRE (Gradiente de Potencial Electroquímico) PERMITE LA ABSORCIÓN PASIVA DE IONES. Absorción a favor de gradiente electroquímico.**

**ABSORCIÓN PASIVA POR DIFUSIÓN**

**GASES :  $Q_{10}= 1.03$       SOLUTOS EN AGUA :  $Q_{10}= 1.2 - 1.4$**

**SI  $\Delta\mu$  TIENE VALORES POSITIVOS LA CÉLULA DEBE UTILIZAR ENERGÍA PARA ABSORBER LOS IONES, ABSORCIÓN ACTIVA. Absorción en contra de gradiente electroquímico.**

**ABSORCIÓN ACTIVA POR TRANSPORTADORES**

**SOLUTOS EN AGUA :  $Q_{10}= 2 - 4$**

- MEMBRANA TRANSPORTE



OUTSIDE OF CELL

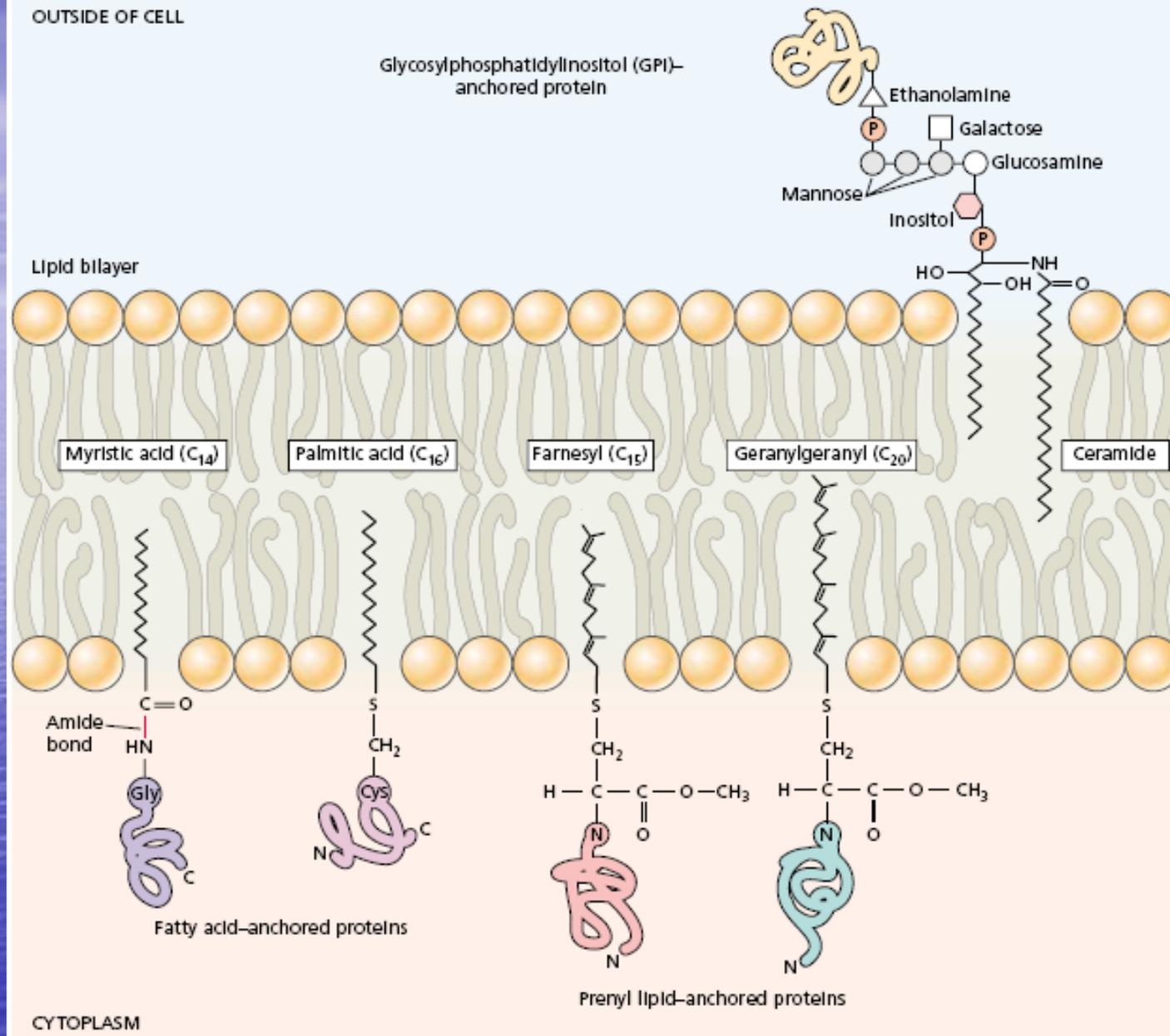
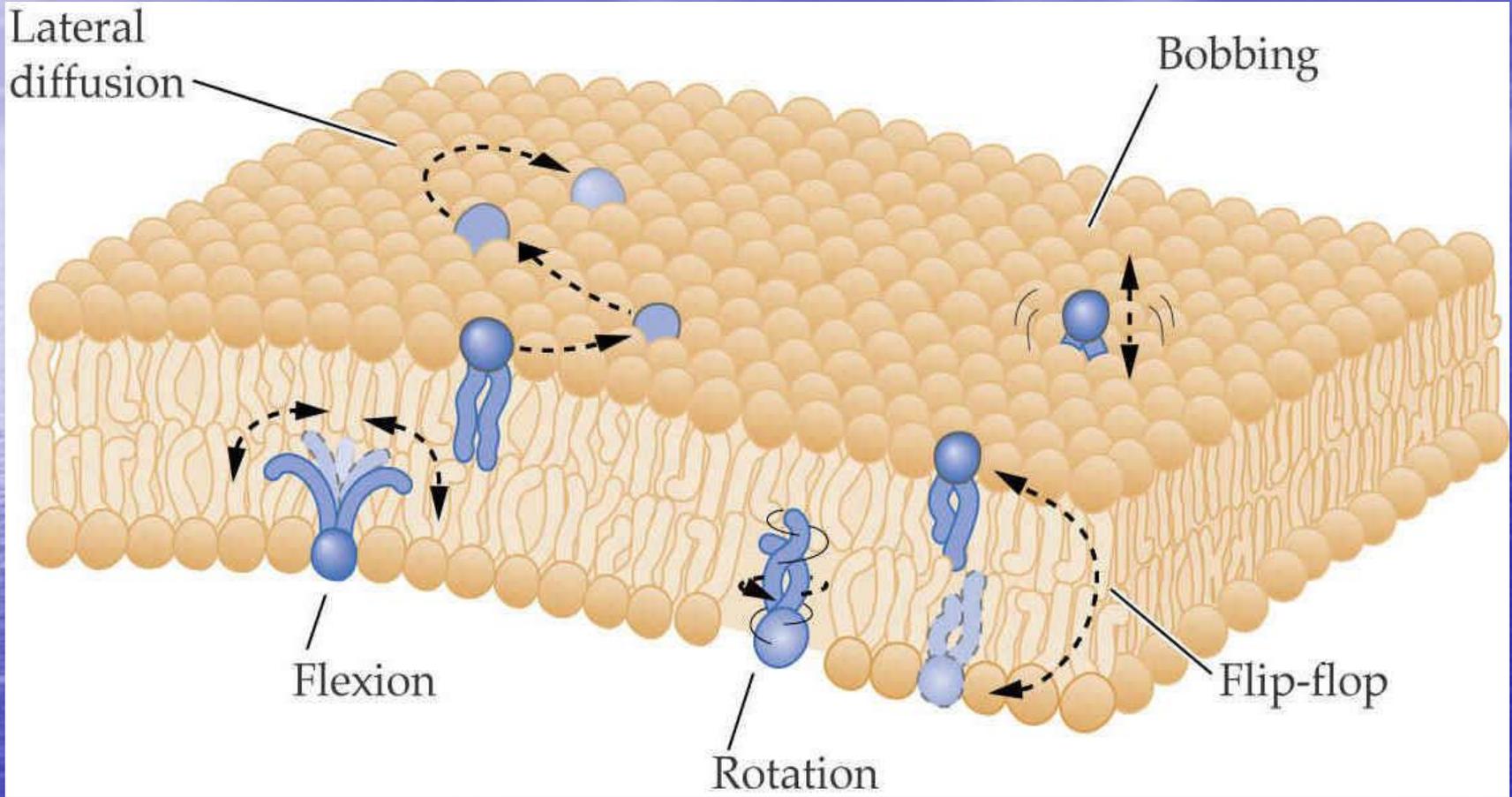
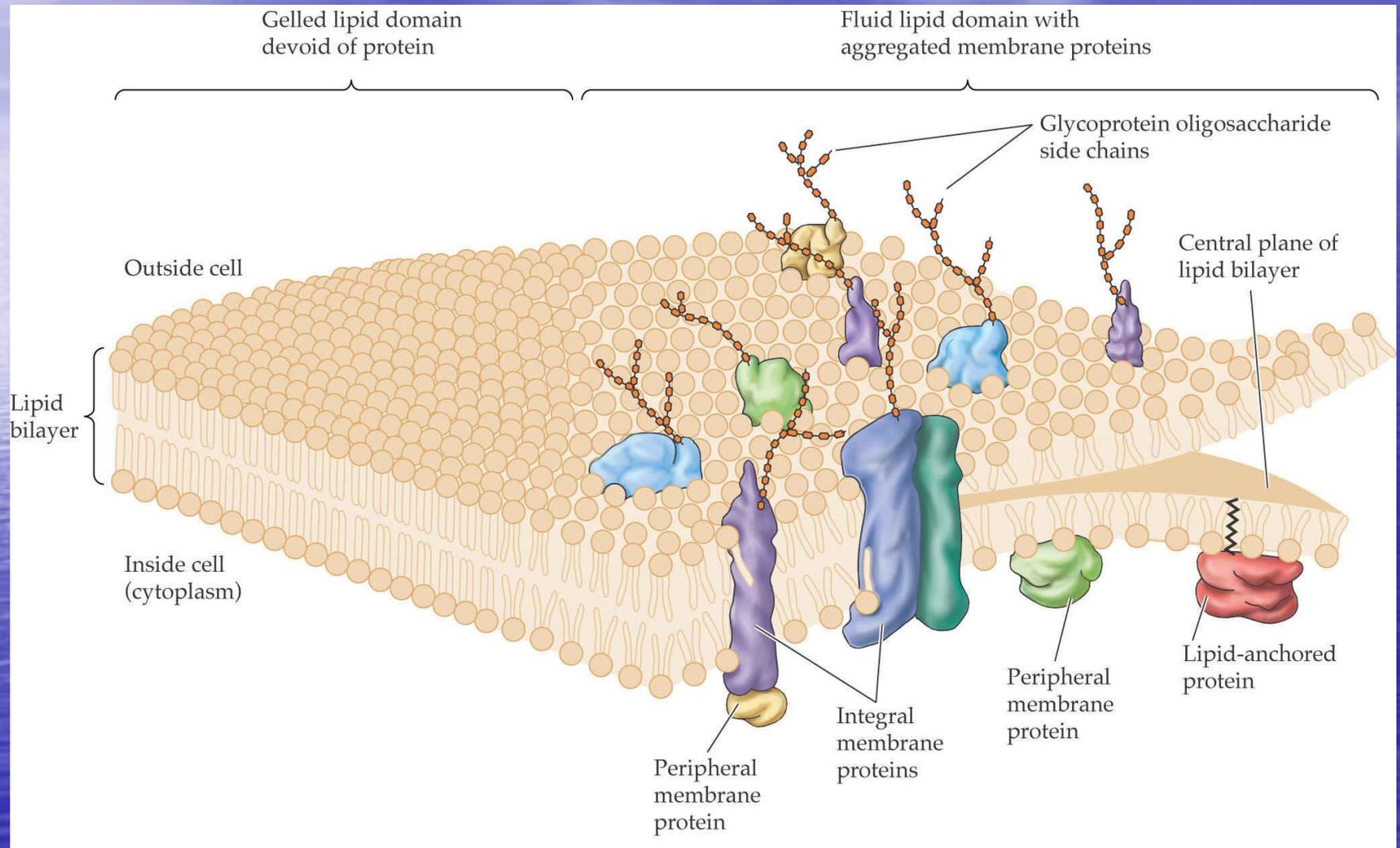


FIGURE 1.6 Different types of anchored membrane proteins that are attached to the membrane via fatty acids, prenyl groups, or phosphatidylinositol. (From Buchanan et al. 2000.)

# Fosfolípidos en membrana: movilidad



# Membrana modelo mosaico fluido



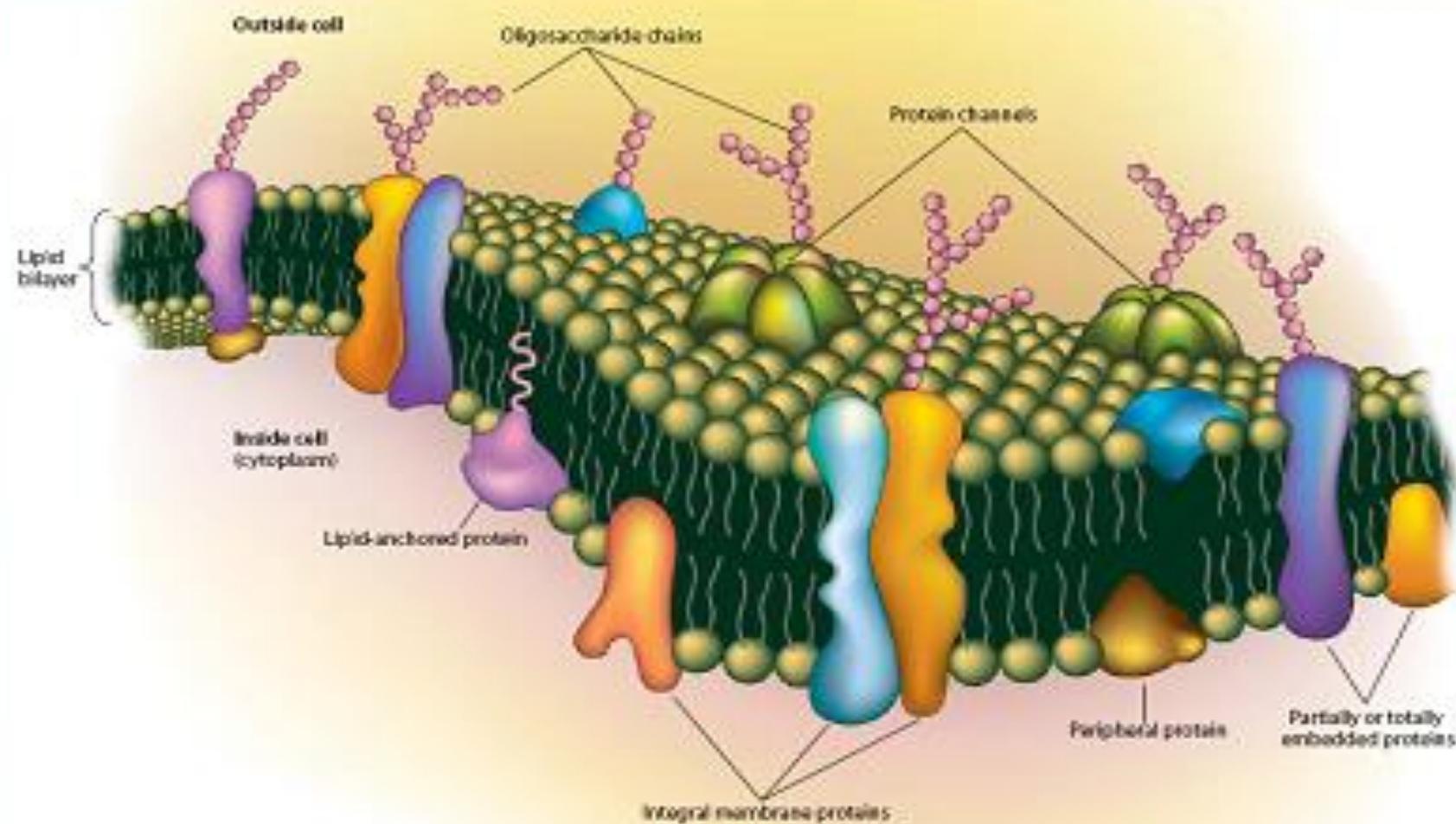
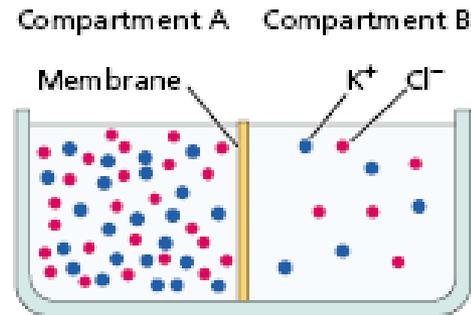


FIGURE 5-2 Schematic representation of a portion of a cell membrane and of the arrangement of protein molecules in relation to the membrane.

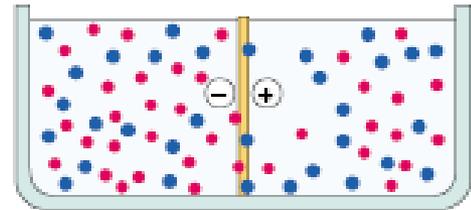
**Cuadro 7-1.** Clasificación energética y funcional de los sistemas de transporte en plantas

| Tipo  | Características                                    | Cinética   | Energía que se usa  | Ejemplos  |
|---|--|--|---|---|
| Canales   | Pasivo (difusivo)<br>Secundario<br>Electroforético | Lineal<br>(Saturable sólo a altas concentraciones) | Física<br>Fuerza ion motriz<br>$\Delta \tilde{\mu}_j/F$   | Canales de $K^+$ , $Cl^-$ y $Ca^{2+}$ en plasmalema y endomembranas   |
| Transportadores ( <i>carriers</i> )<br>• Cotransporte (simporte)<br>• Antiporte | Activo<br>Secundario<br>Electroforético            | Saturable<br>Michaelis-Menten                      | Indirectamente energía metabólica<br>Fuerza $H^+$ o $Na^+$ motriz<br>$\Delta \tilde{\mu}_{H^+}/F$ o $\Delta \tilde{\mu}_{Na^+}/F$ | Sistemas de incorporación de $NO_3^-$ , $NH_4^+$ , $H_2PO_4^-$ , $SO_4^{2-}$ , $HCO_3^-$ , $Cl^-$ , $K^+$ , aminoácidos, glucosa y acetato. Sistemas de exclusión de $Na^+$                 |
| Bombas iónicas  | Activo<br>Primario<br>Electrogénico                | Saturable<br>Michaelis-Menten                      | Energía metabólica<br>ATP o NAD(P)H en bombas redox   | $H^+$ -ATPasa de plasmalema y tonoplasto<br>$Ca^{2+}$ -ATPasa<br>$Na^+$ - $H^+$ -ATPasa de hongos<br>$H^+$ -PPi asa del tonoplasto<br>$Cl^-$ -ATPasa de <i>Acetabularia</i><br>Bombas redox |

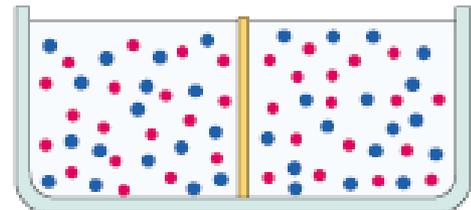
Initial conditions:  
 $[KCl]_A > [KCl]_B$



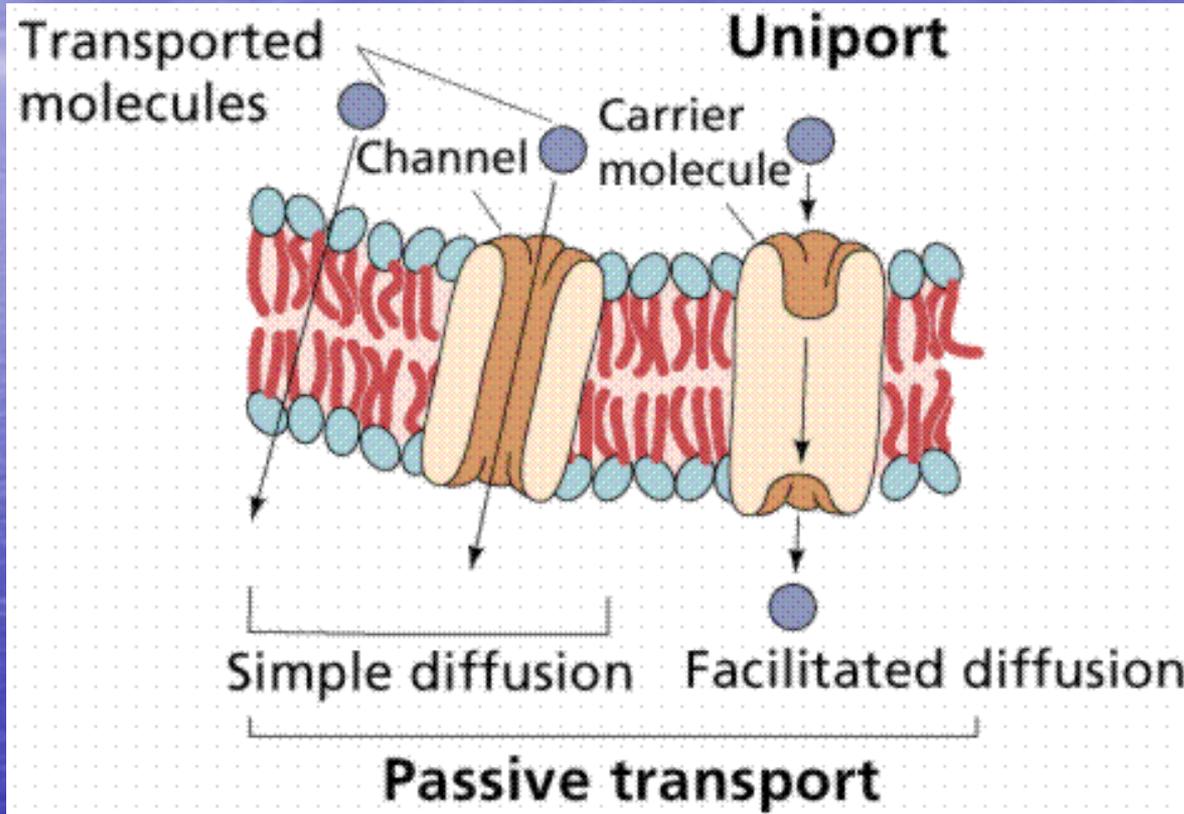
Diffusion potential exists until chemical equilibrium is reached.

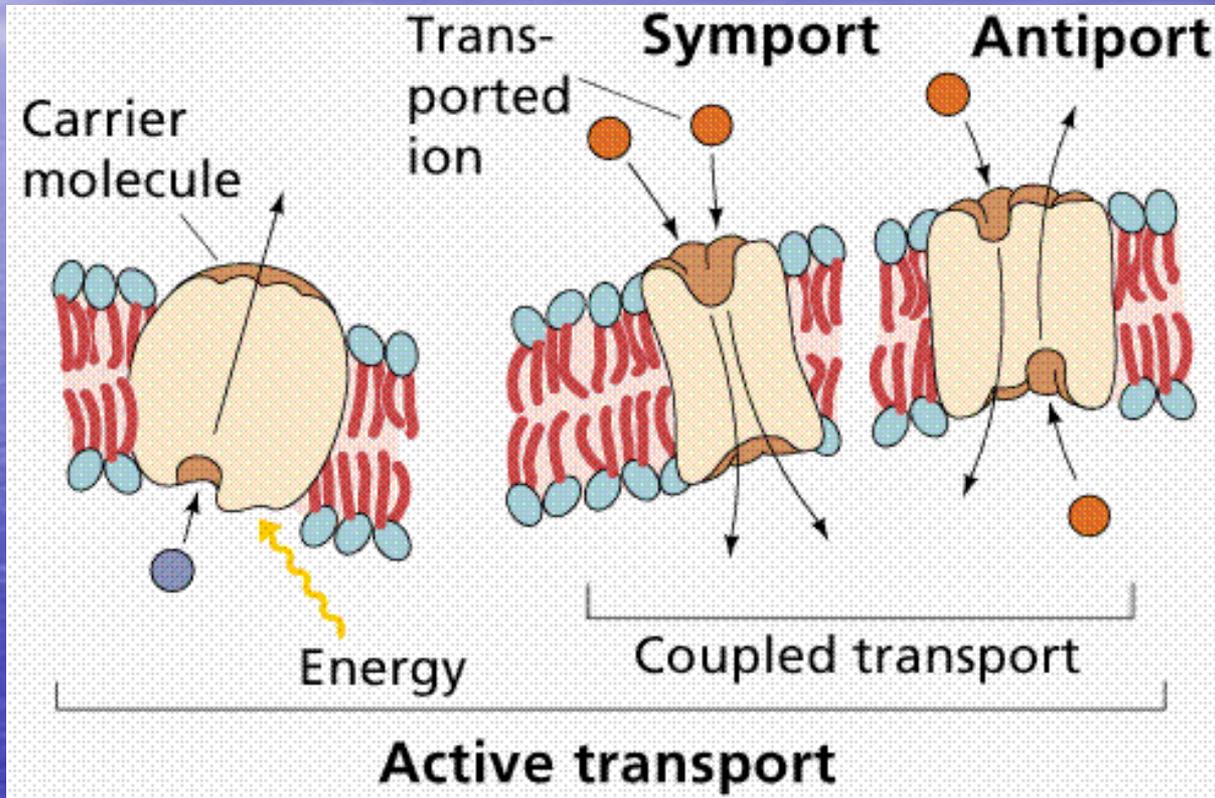


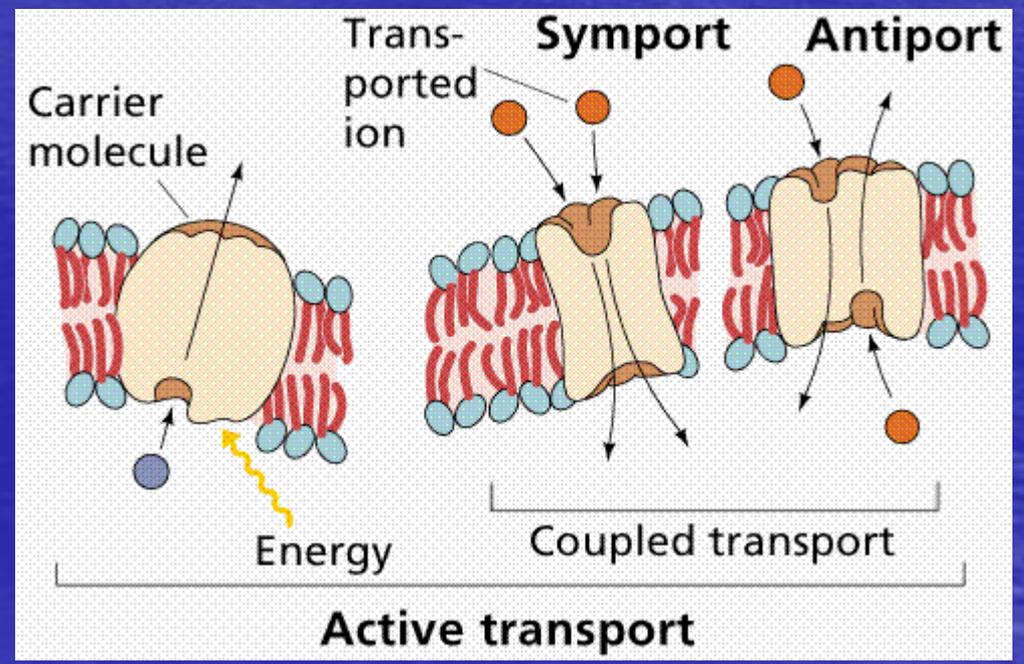
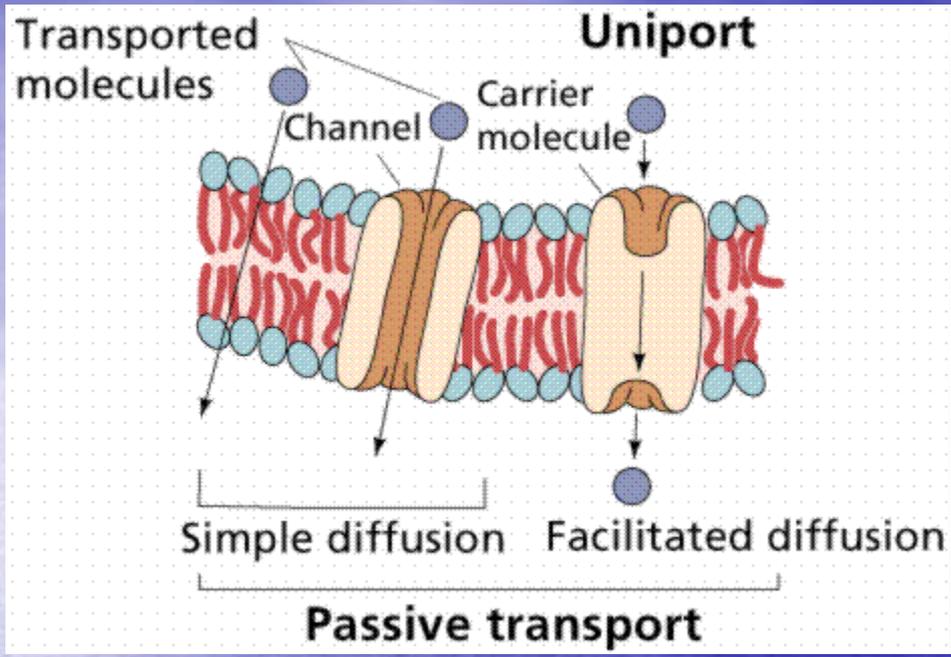
Equilibrium conditions:  
 $[KCl]_A = [KCl]_B$

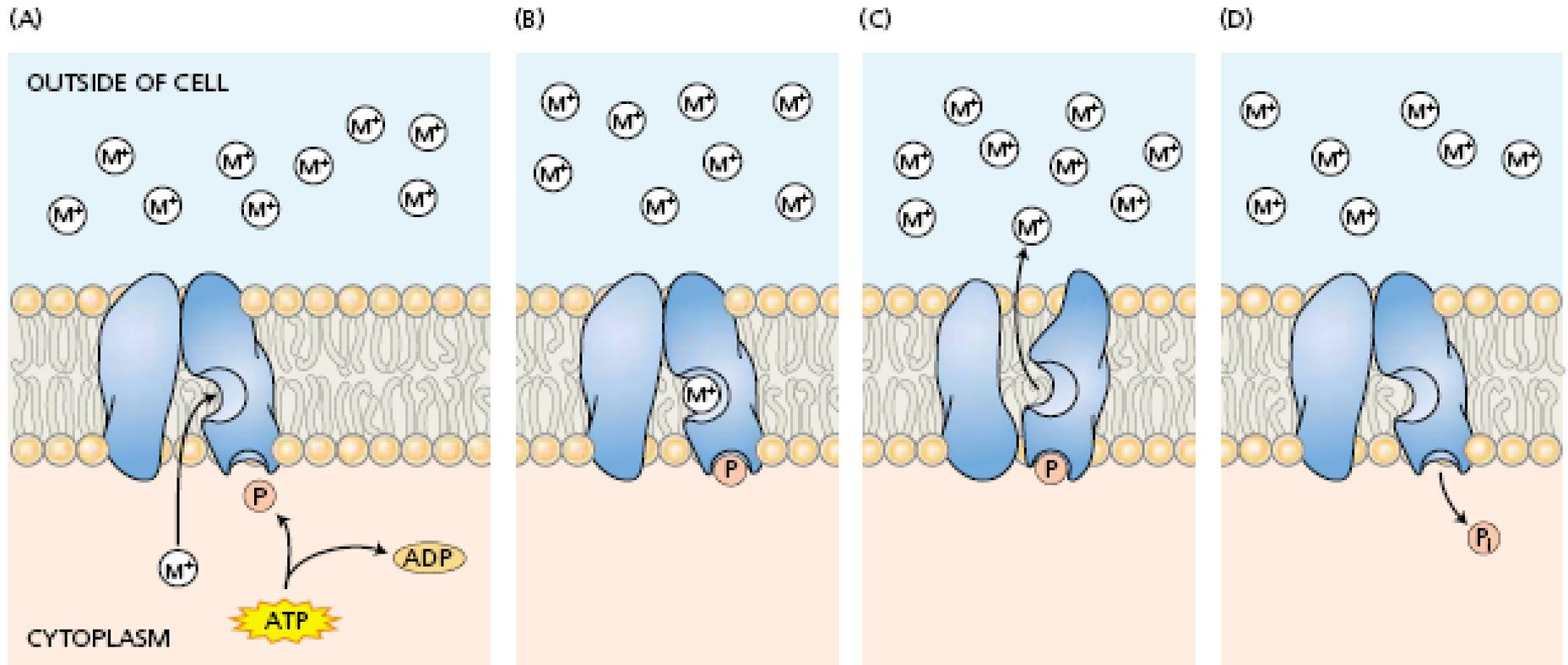


At chemical equilibrium,  
 diffusion potential equals zero.

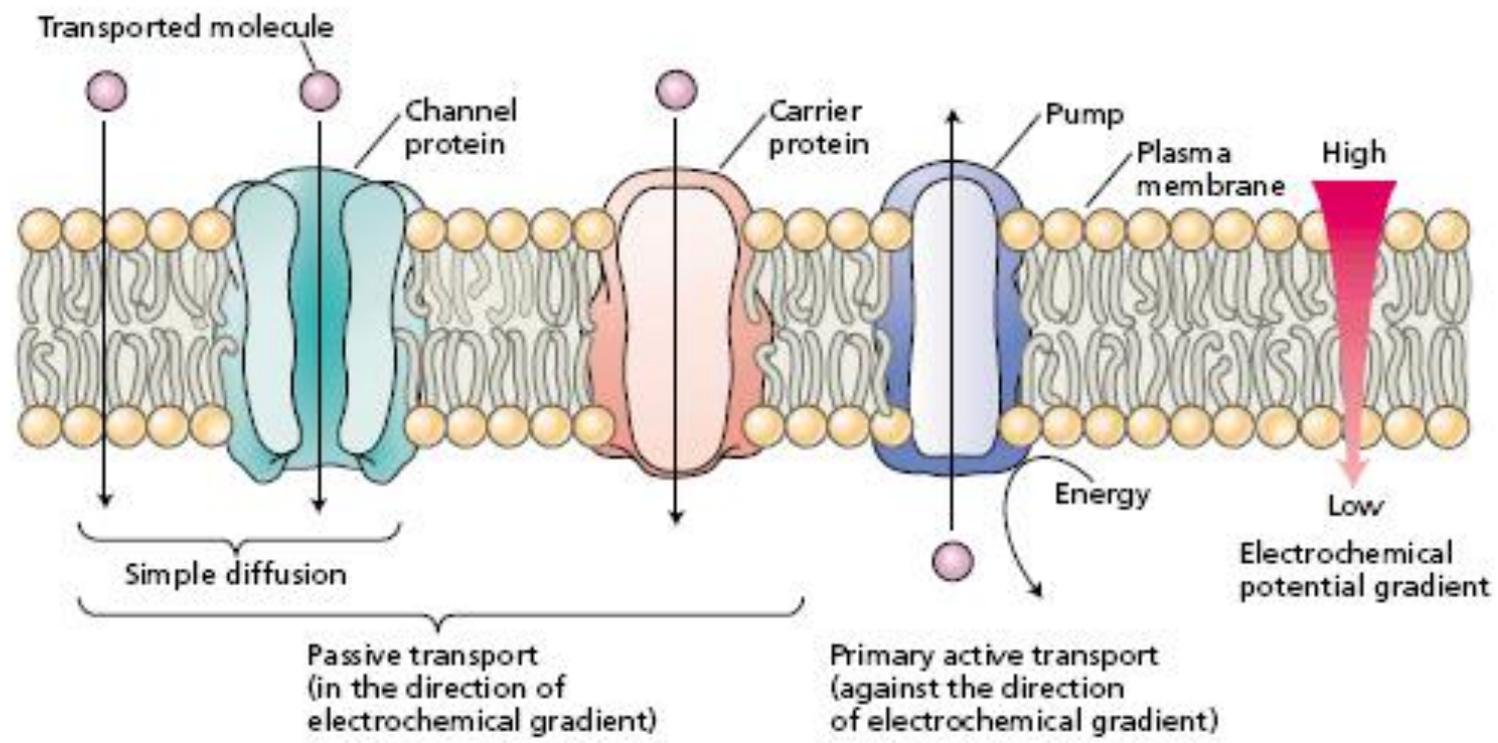


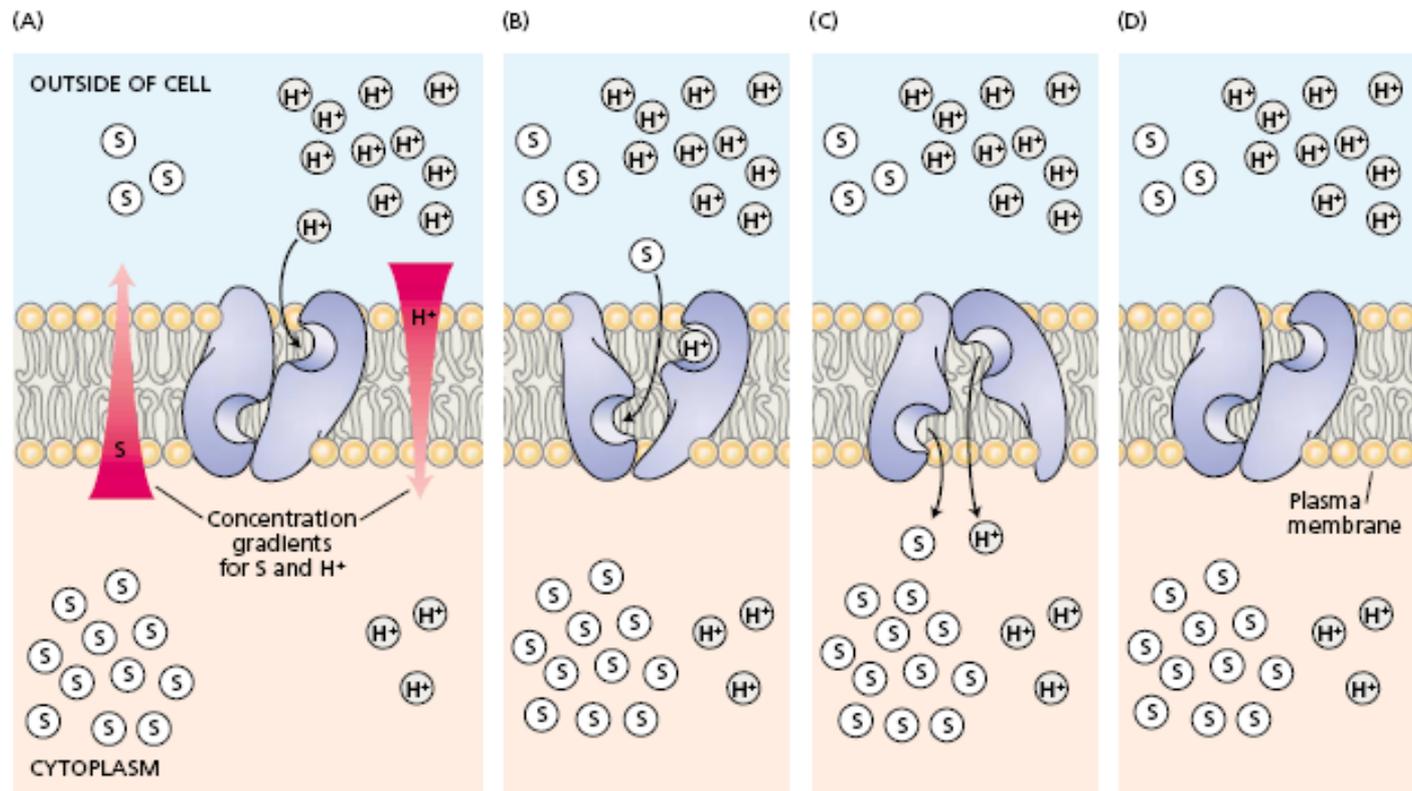






**FIGURE 6.14** Hypothetical steps in the transport of a cation (the hypothetical  $M^+$ ) against its chemical gradient by an electrogenic pump. The protein, embedded in the membrane, binds the cation on the inside of the cell (A) and is phosphorylated by ATP (B). This phosphorylation leads to a conformational change that exposes the cation to the outside of the cell and makes it possible for the cation to diffuse away (C). Release of the phosphate ion ( $P$ ) from the protein into the cytosol (D) restores the initial configuration of the membrane protein and allows a new pumping cycle to begin.





**FIGURE 6.9** Hypothetical model for secondary active transport. The energy that drives the process has been stored in a  $\Delta\tilde{\mu}_{\text{H}^+}$  (symbolized by the red arrow on the right in A) and is being used to take up a substrate (S) against its concentration gradient (left-hand red arrow). (A) In the initial conformation, the binding sites on the protein are exposed to the outside environment and can bind a proton. (B) This binding results in a conformational change that permits a molecule of S to be bound. (C) The binding of S causes another conformational change that exposes the binding sites and their substrates to the inside of the cell. (D) Release of a proton and a molecule of S to the cell's interior restores the original conformation of the carrier and allows a new pumping cycle to begin.

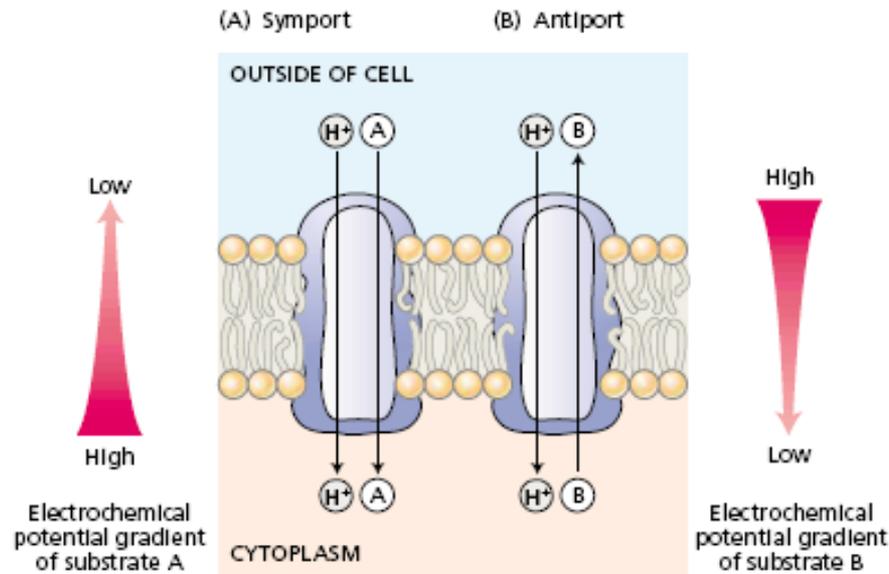


FIGURE 6.10 Two examples of secondary active transport coupled to a primary proton gradient. (A) In a symport, the energy dissipated by a proton moving back into the cell is coupled to the uptake of one molecule of a substrate (e.g., a sugar) into the cell. (B) In an antiport, the energy dissipated by a proton moving back into the cell is coupled to the active transport of a substrate (for example, a sodium ion) out of the cell. In both cases, the substrate under consideration is moving against its gradient of electrochemical potential. Both neutral and charged substrates can be transported by such secondary active transport processes.

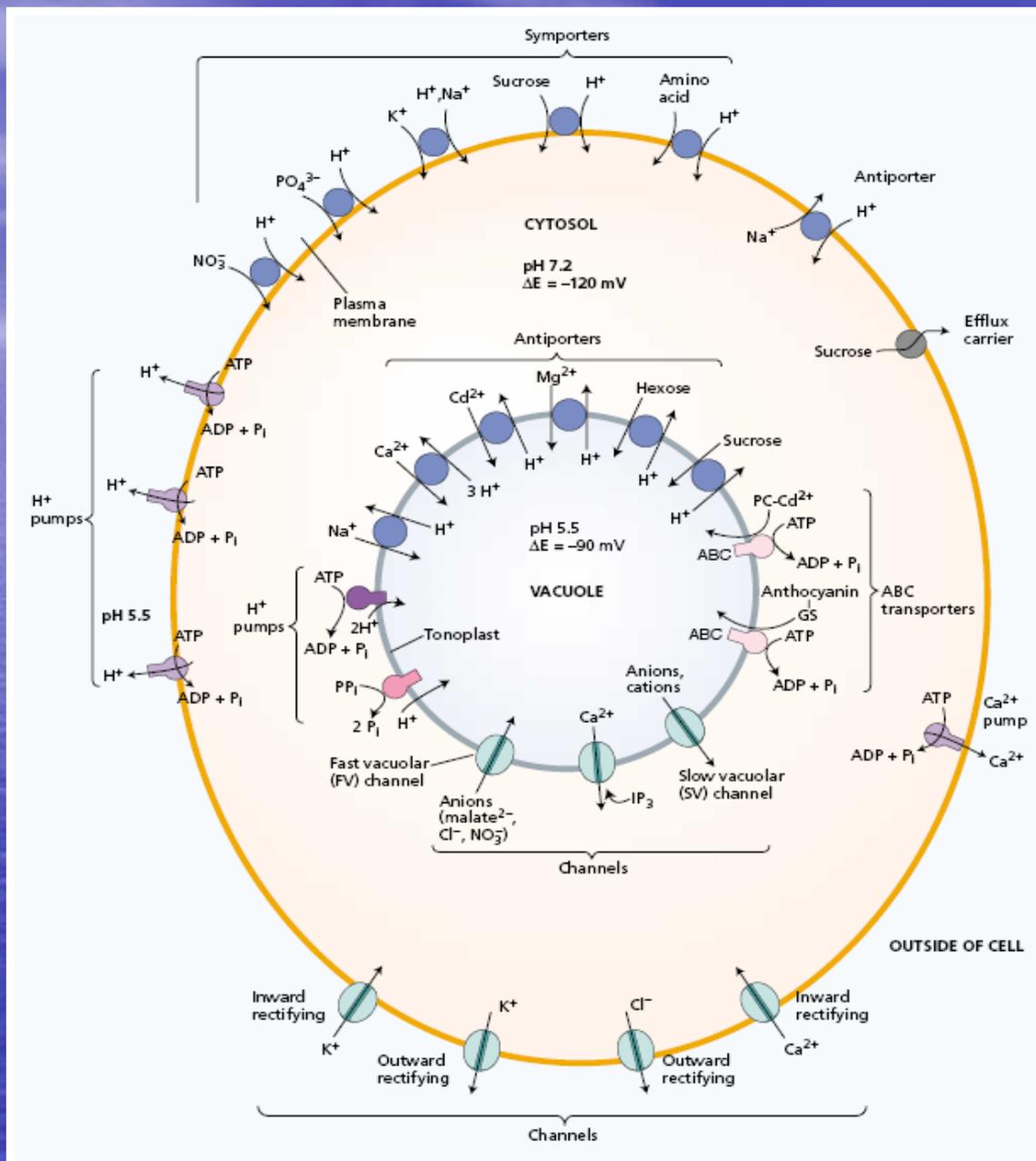


FIGURE 6.11 Overview of the various transport processes on the plasma membrane and tonoplast of plant cells.

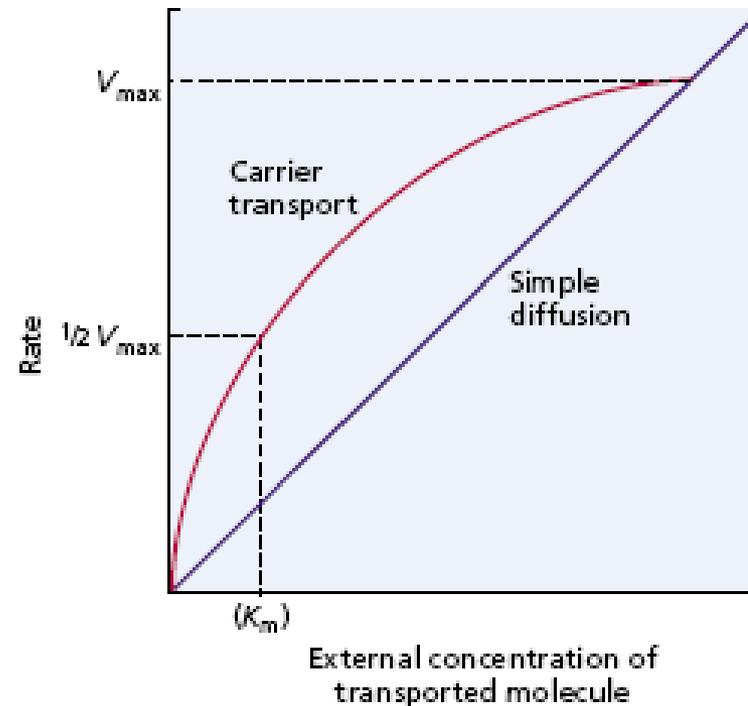


FIGURE 6.12 Carrier transport often shows saturation kinetics ( $V_{max}$ ) (see Chapter 2 on the web site), because of saturation of a binding site. Ideally, diffusion through channels is directly proportional to the concentration of the transported solute, or for an ion, to the difference in electrochemical potential across the membrane.

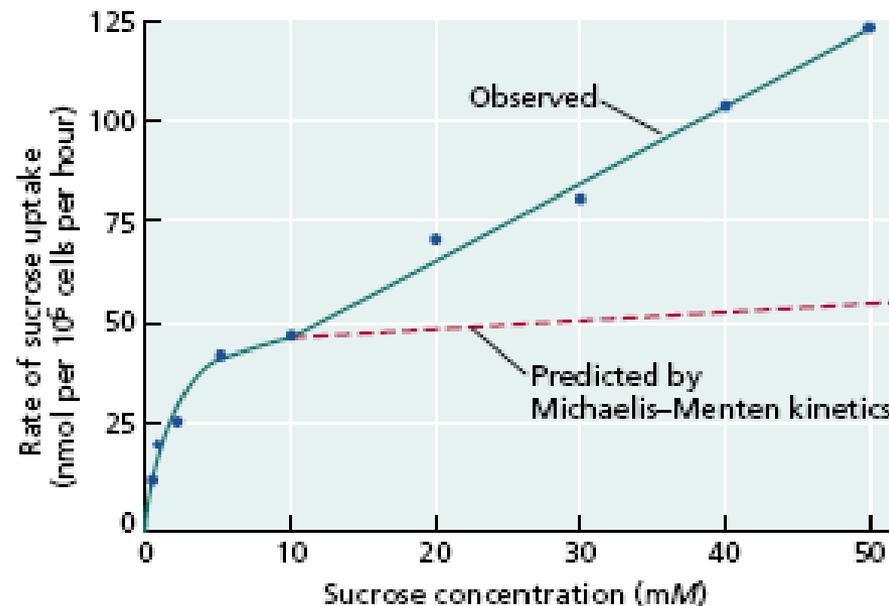
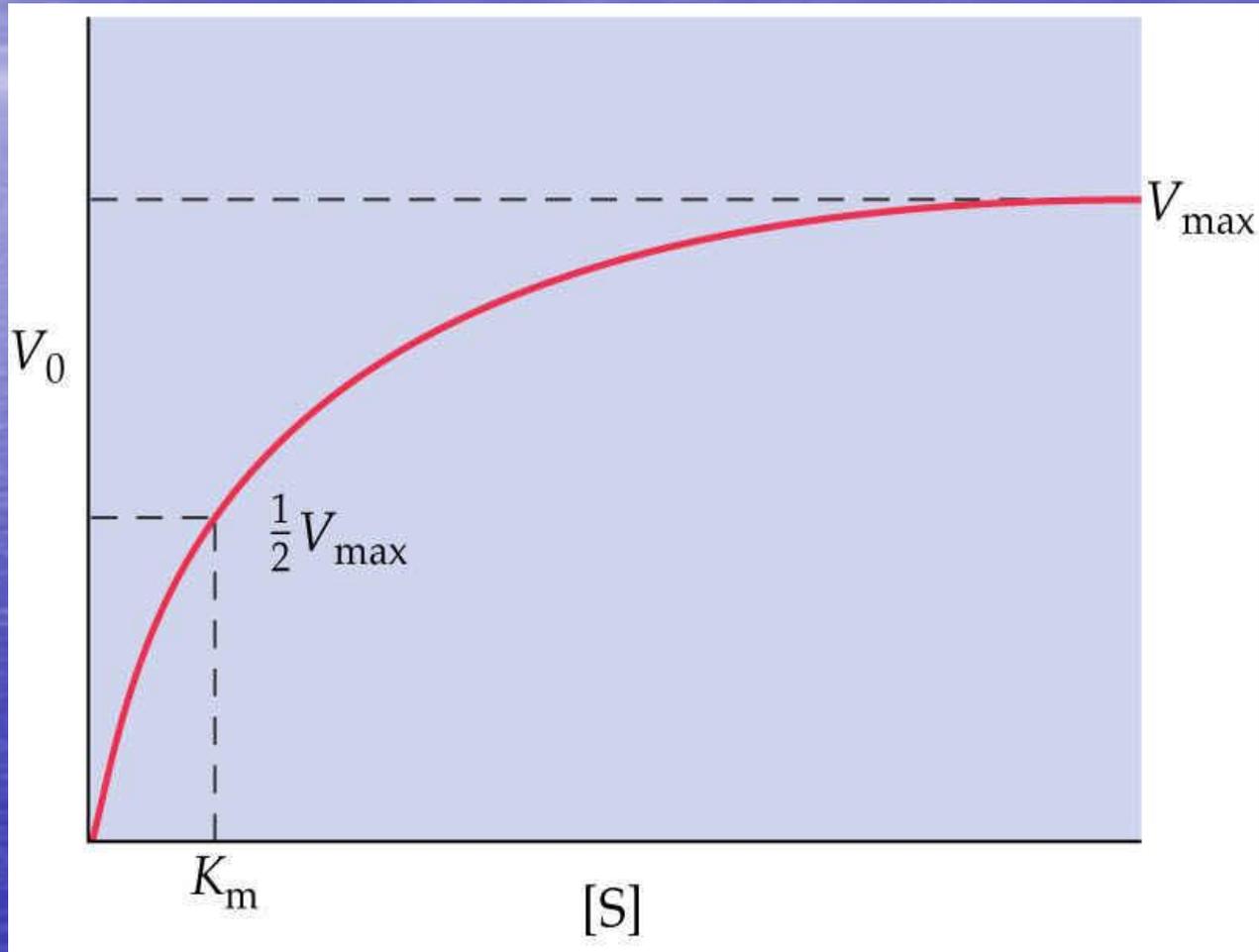
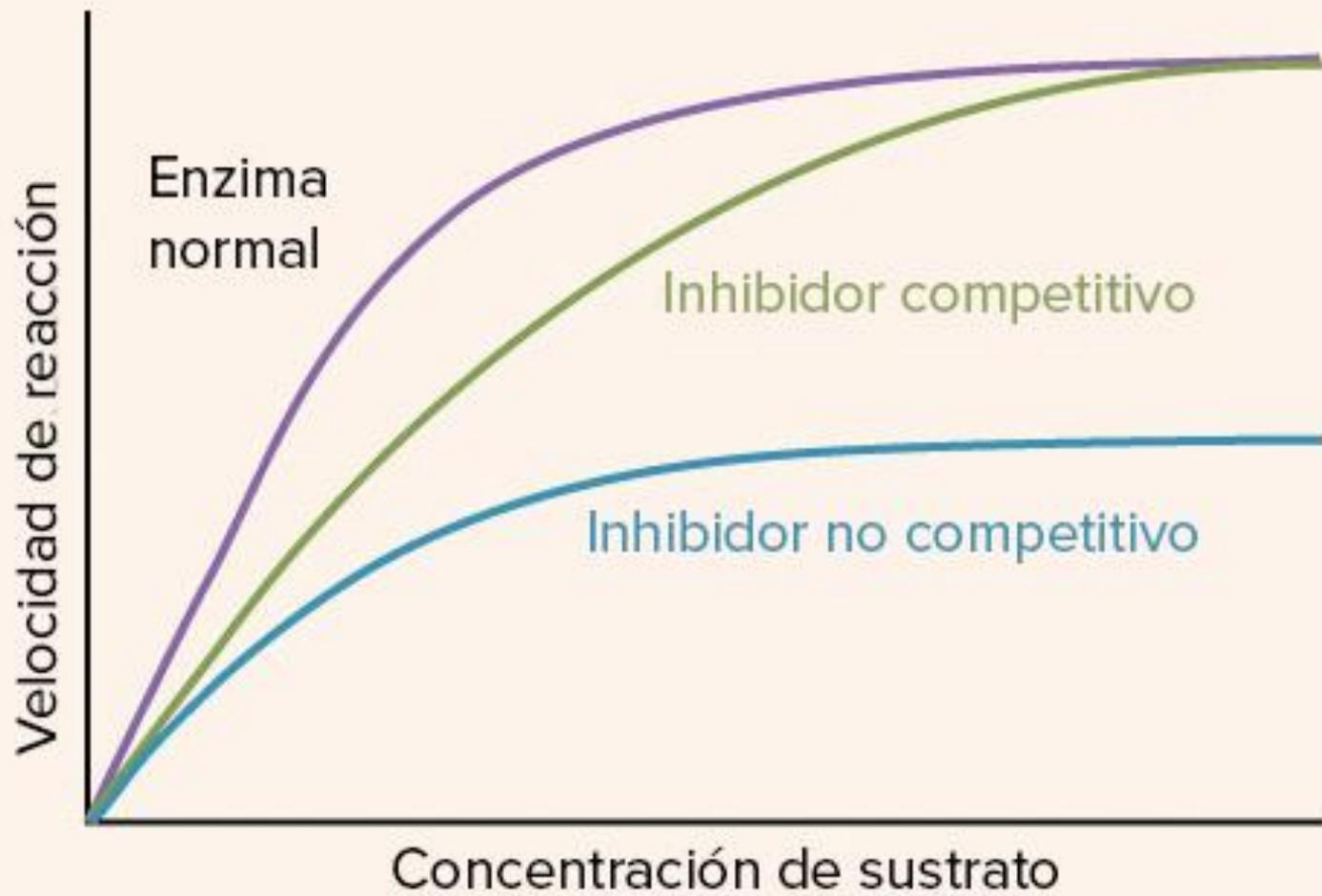
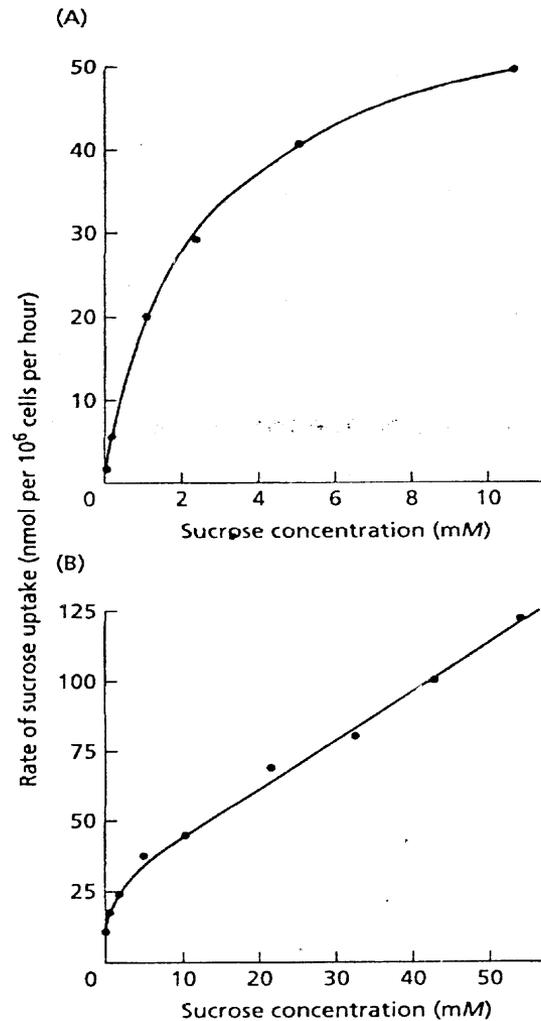


FIGURE 6.13 The transport properties of a solute can change at different solute concentrations. For example, at low concentrations (1 to 10 mM), the rate of uptake of sucrose by soybean cells shows saturation kinetics typical of carriers. A curve fit-fitted to these data is predicted to approach a maximal rate ( $V_{max}$ ) of 57 nmol per 10<sup>6</sup> cells per hour. Instead, at higher sucrose concentrations the uptake rate continues to increase linearly over a broad range of concentrations, suggesting the existence of other sucrose transporters, which might be carriers with very low affinity for the substrate. (From Lin et al. 1984.)

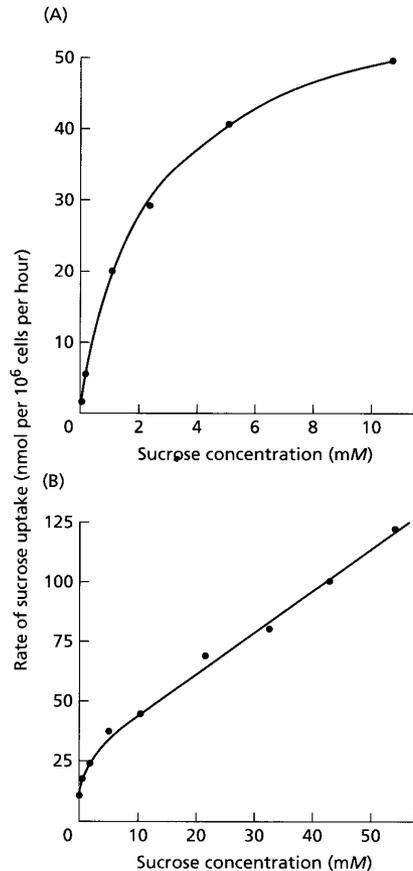
- Transportadores cinética de saturación.



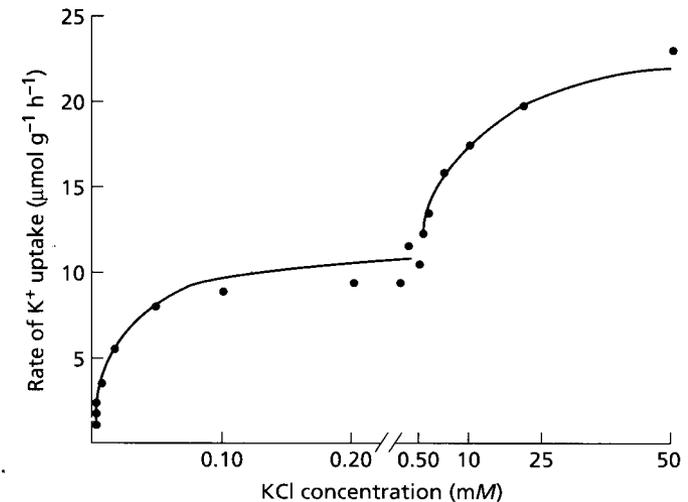




**Figure 6.13** The transport properties of a solute can change at different solute concentrations. For example, at low concentrations (1 to 10 mM) (A), the rate of uptake of sucrose by soybean cells shows saturation kinetics, typical of carriers. At higher sucrose concentrations (B), the uptake rate increases linearly over a broad range of concentrations suggesting the existence of other sucrose transporters, which might be carriers with very low affinity for the substrate. (From Lin et al. 1984.)



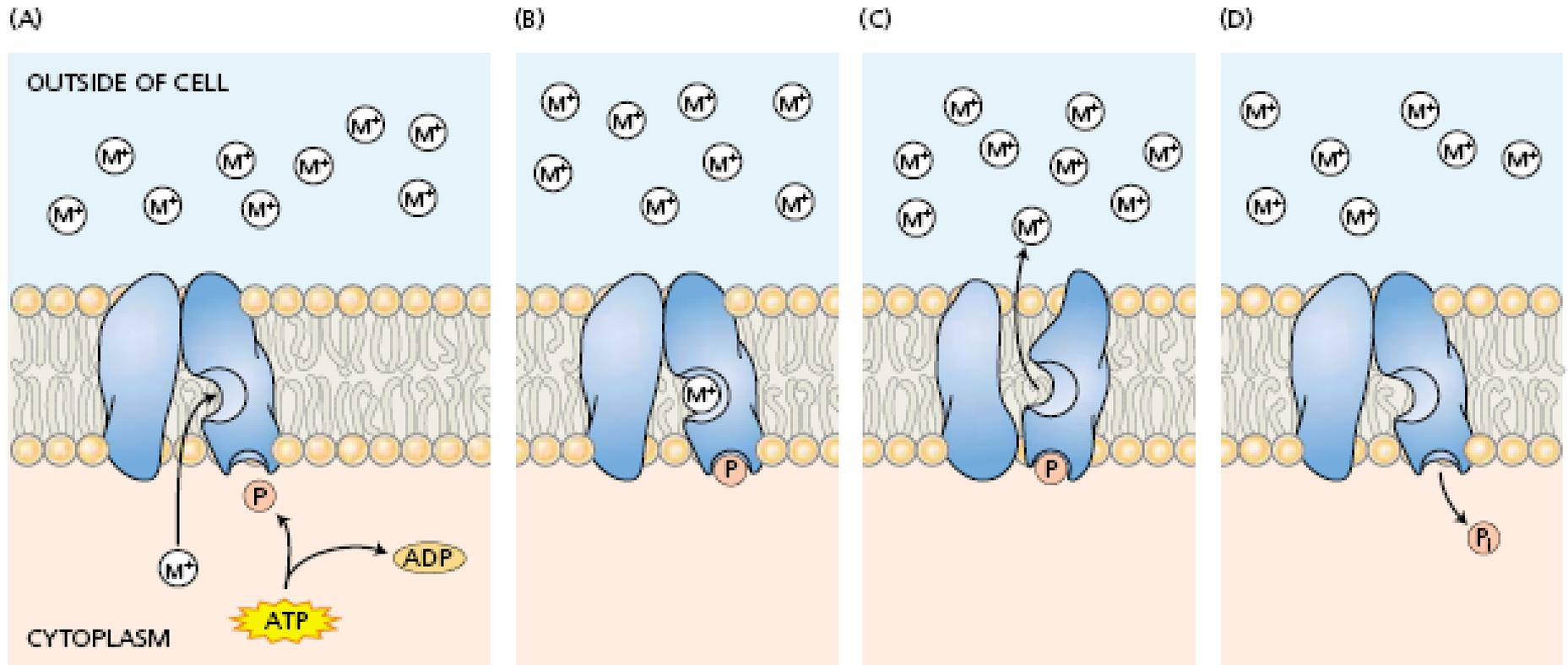
**Figure 6.13** The transport properties of a solute can change at different solute concentrations. For example, at low concentrations (1 to 10 mM) (A), the rate of uptake of sucrose by soybean cells shows saturation kinetics, typical of carriers. At higher sucrose concentrations (B), the uptake rate increases linearly over a broad range of concentrations suggesting the existence of other sucrose transporters, which might be carriers with very low affinity for the substrate. (From Lin et al. 1984.)



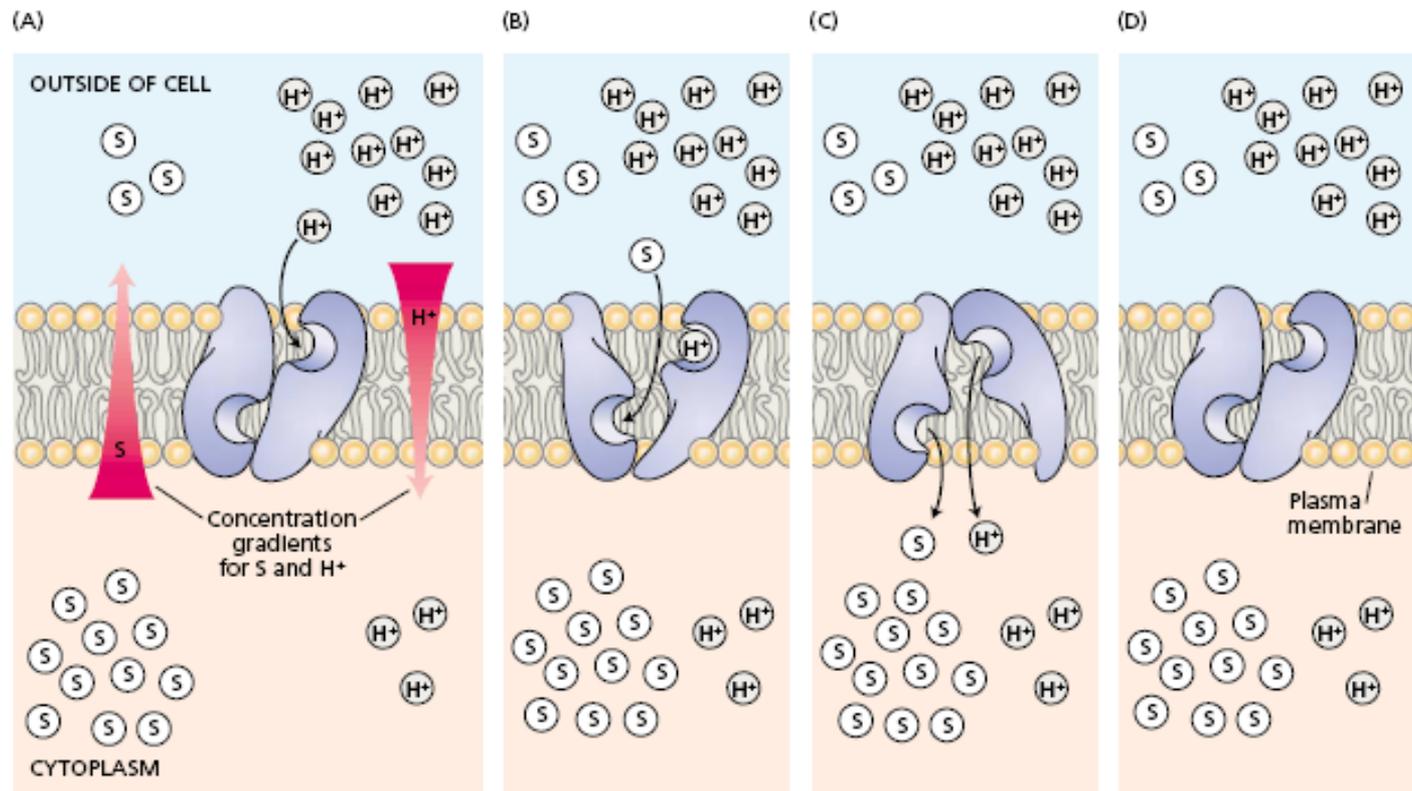
**Figure 6.14** The transport of potassium into barley roots shows two different phases. The biphasic kinetics of potassium uptake, accentuated in this figure by the change of scale at around 1 mM, suggests the presence of different types of transport systems for potassium. The high-affinity transport system, having a  $K_m$  value of 0.02 to 0.03 mM, is attributed to active transport by symporters; the low-affinity system (which may or may not show saturation) is attributed to diffusion through K<sup>+</sup> channels. (After Epstein 1972.)

**Cuadro 7-1.** Clasificación energética y funcional de los sistemas de transporte en plantas

| Tipo  | Características                                    | Cinética   | Energía que se usa  | Ejemplos  |
|---|--|--|---|---|
| Canales   | Pasivo (difusivo)<br>Secundario<br>Electroforético | Lineal<br>(Saturable sólo a altas concentraciones) | Física<br>Fuerza ion motriz<br>$\Delta \tilde{\mu}_j/F$   | Canales de $K^+$ , $Cl^-$ y $Ca^{2+}$ en plasmalema y endomembranas   |
| Transportadores ( <i>carriers</i> )<br>• Cotransporte (simporte)<br>• Antiporte | Activo<br>Secundario<br>Electroforético            | Saturable<br>Michaelis-Menten                      | Indirectamente energía metabólica<br>Fuerza $H^+$ o $Na^+$ motriz<br>$\Delta \tilde{\mu}_{H^+}/F$ o $\Delta \tilde{\mu}_{Na^+}/F$ | Sistemas de incorporación de $NO_3^-$ , $NH_4^+$ , $H_2PO_4^-$ , $SO_4^{2-}$ , $HCO_3^-$ , $Cl^-$ , $K^+$ , aminoácidos, glucosa y acetato. Sistemas de exclusión de $Na^+$                 |
| Bombas iónicas  | Activo<br>Primario<br>Electrogénico                | Saturable<br>Michaelis-Menten                      | Energía metabólica<br>ATP o NAD(P)H en bombas redox   | $H^+$ -ATPasa de plasmalema y tonoplasto<br>$Ca^{2+}$ -ATPasa<br>$Na^+$ - $H^+$ -ATPasa de hongos<br>$H^+$ -PPi asa del tonoplasto<br>$Cl^-$ -ATPasa de <i>Acetabularia</i><br>Bombas redox |



**FIGURE 6.14** Hypothetical steps in the transport of a cation (the hypothetical  $M^+$ ) against its chemical gradient by an electrogenic pump. The protein, embedded in the membrane, binds the cation on the inside of the cell (A) and is phosphorylated by ATP (B). This phosphorylation leads to a conformational change that exposes the cation to the outside of the cell and makes it possible for the cation to diffuse away (C). Release of the phosphate ion ( $P$ ) from the protein into the cytosol (D) restores the initial configuration of the membrane protein and allows a new pumping cycle to begin.



**FIGURE 6.9** Hypothetical model for secondary active transport. The energy that drives the process has been stored in a  $\Delta\bar{\mu}_{\text{H}^+}$  (symbolized by the red arrow on the right in A) and is being used to take up a substrate (S) against its concentration gradient (left-hand red arrow). (A) In the initial conformation, the binding sites on the protein are exposed to the outside environment and can bind a proton. (B) This binding results in a conformational change that permits a molecule of S to be bound. (C) The binding of S causes another conformational change that exposes the binding sites and their substrates to the inside of the cell. (D) Release of a proton and a molecule of S to the cell's interior restores the original conformation of the carrier and allows a new pumping cycle to begin.

## ABSORCION DE NUTRIENTES

### I. CANTIDAD DE IONES ABSORBIDOS:

A.- CONCENTRACION DEL ION. (Externa - interna).

B.- AFINIDAD ION - TRANSPORTADOR.

C.- NUMERO DE TRANSPORTADORES.

D.- VELOCIDAD DE ABSORCION Y TRANSPORTE.

E.- LLEGADA DEL ION.

a) Intercepción.

b) Flujo masal.

c) Difusión.

### II. VELOCIDAD DE ABSORCION:

CATIONES: Mas veloces: K; Rb;  $\text{NH}_4$ .

Menos veloces: Ca; Mg.

ANIONES: Mas veloces: Cl;  $\text{NO}_3$ ; Br.

Menos veloces:  $\text{SO}_4$ ;  $\text{PO}_4\text{H}_2$ .

## **A.- FACTORES EXTERNOS:**

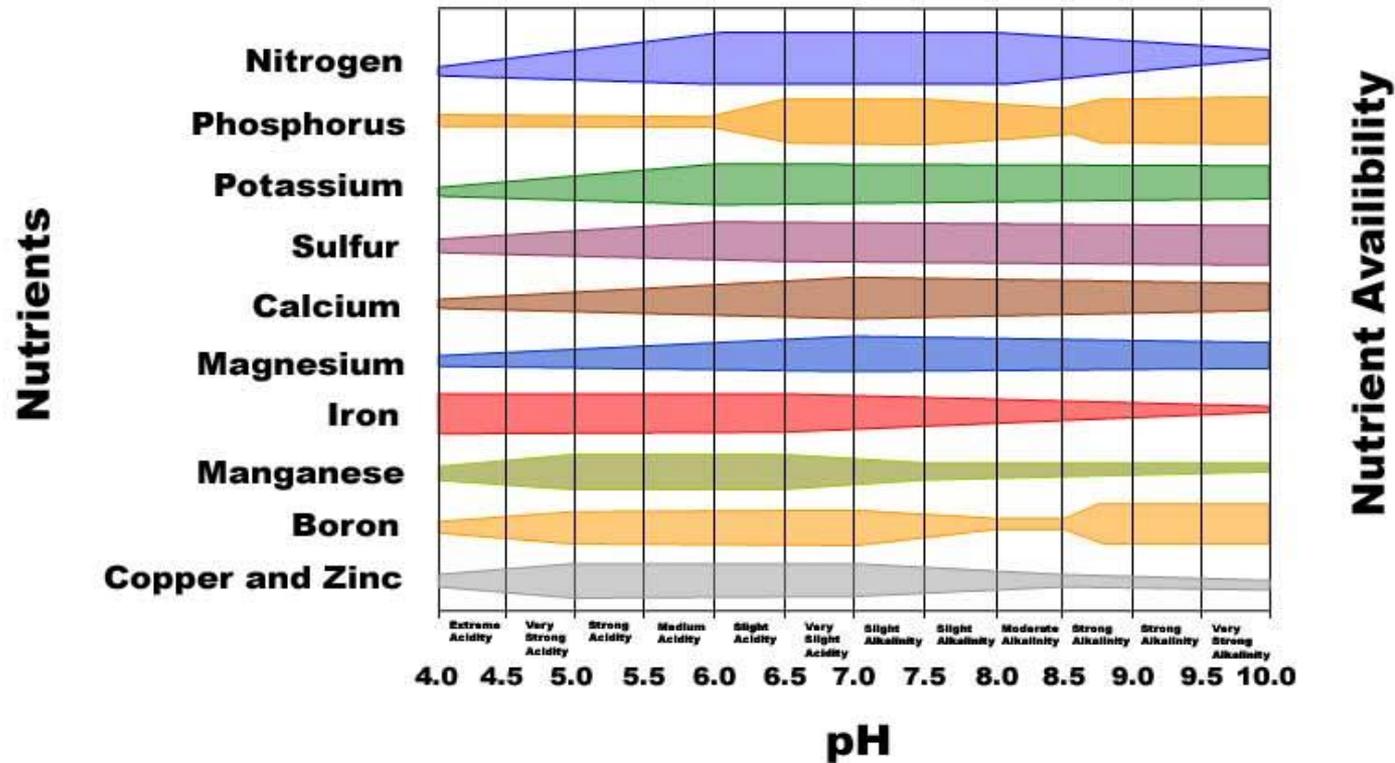
- 1.- DISPONIBILIDAD DE NUTRIENTES**
- 2.- ESTADO HIDRICO (MEDIO - CELULA)**
- 3.- DISPONIBILIDAD DE OXIGENO**
- 4.- TEMPERATURA**
- 5.- pH**

## **B. FACTORES INTERNOS:**

- 1.- POTENCIAL GENETICO**
- 2.- ENERGIA**
- 3.- FLUJO MASAL**
- 4.- MORFOLOGIA DEL TEJIDO**
- 5.- CONTENIDO INTERNO (Edad)**

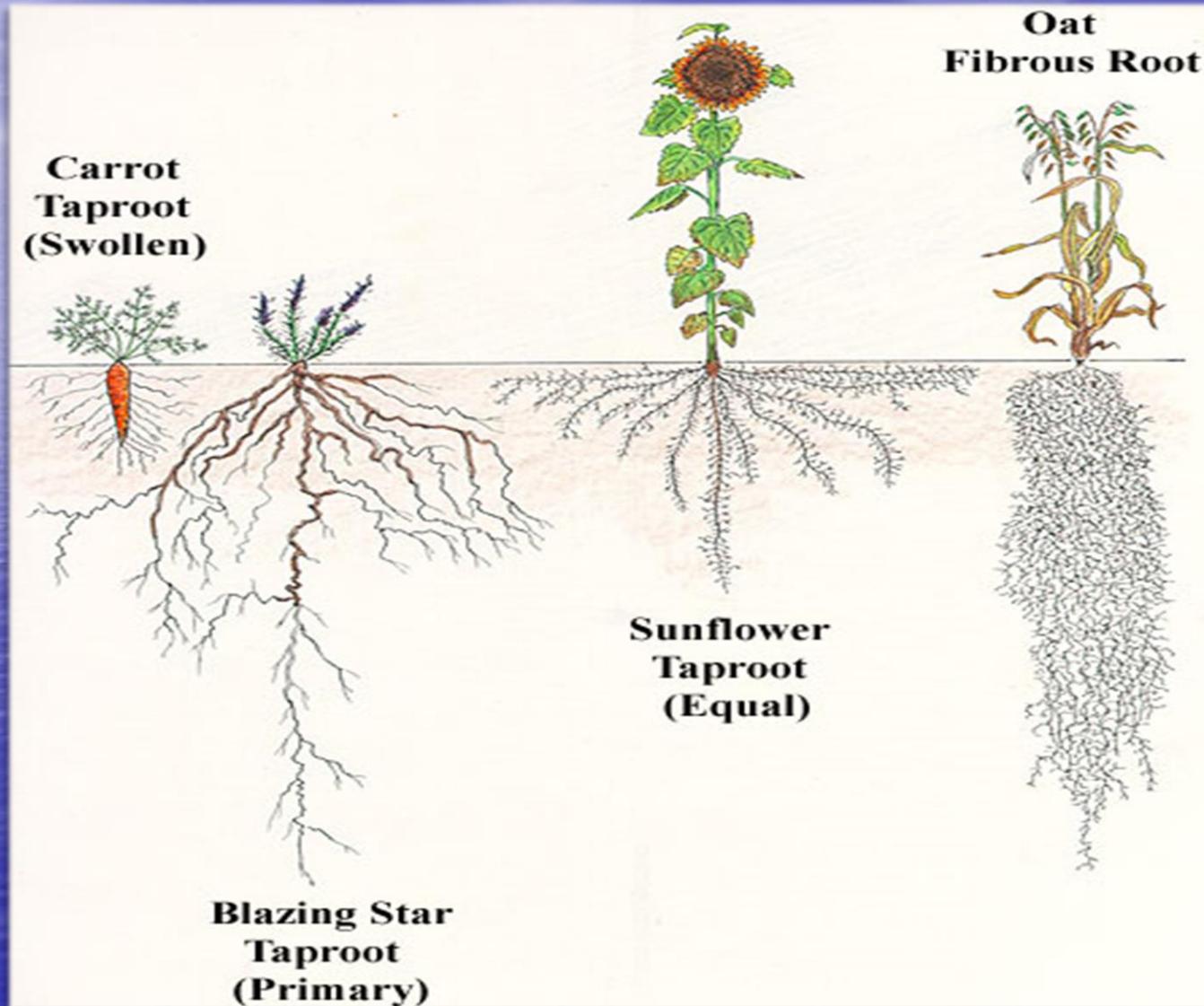
# NUTRICIÓN MINERAL

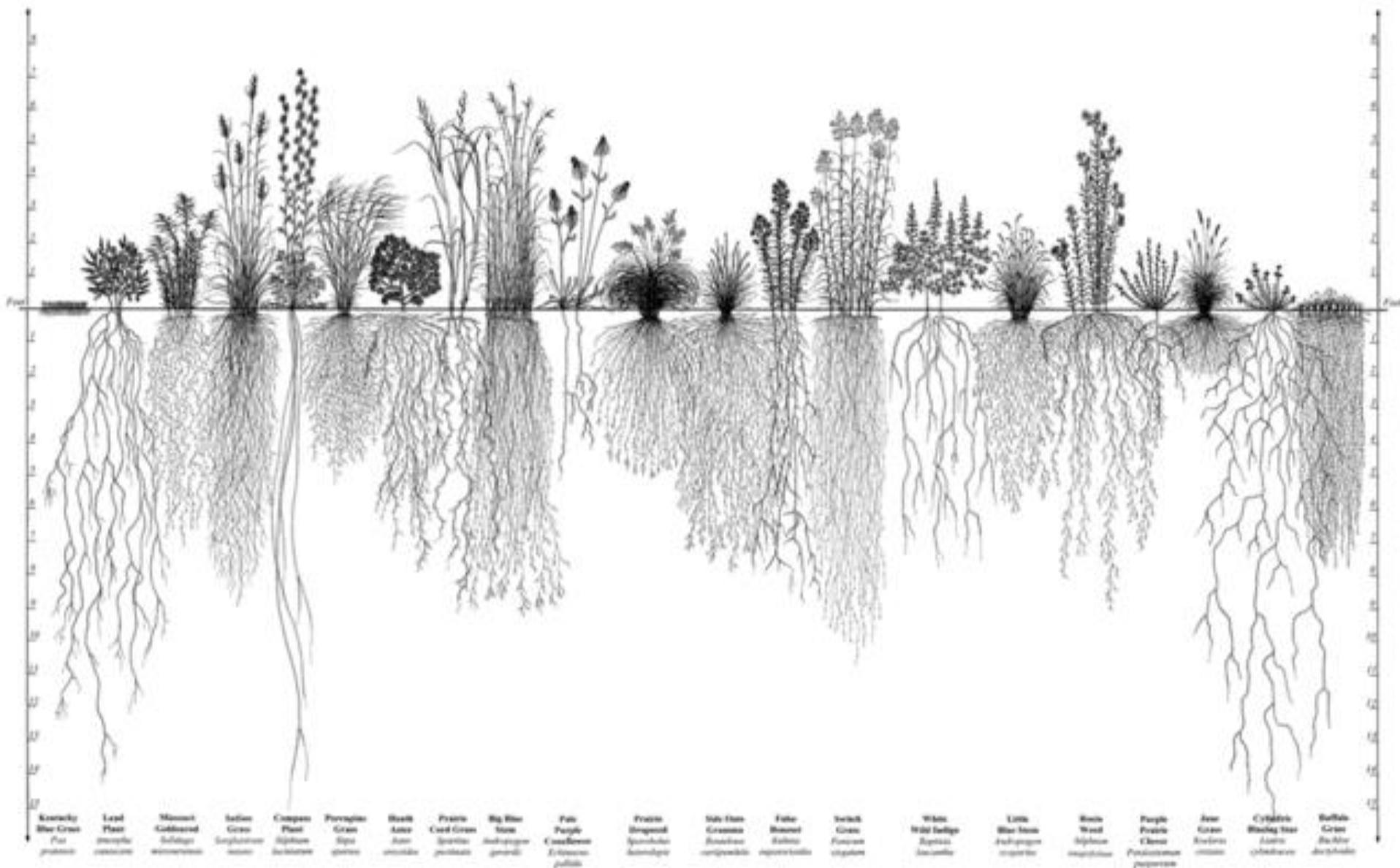
## Influence of pH on Availability of Plant Nutrients



(S.S.S.A.P., 1946. 11:305.)

## *Diferentes sistemas radicales*

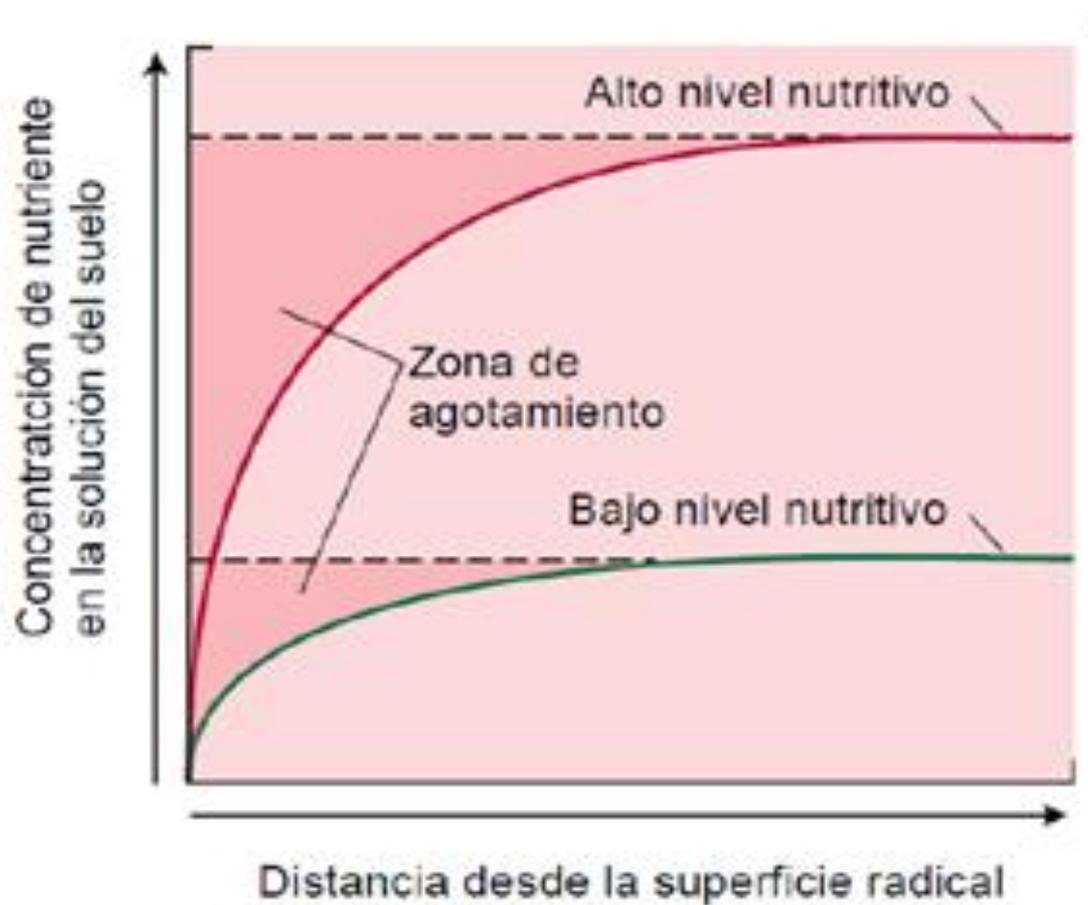




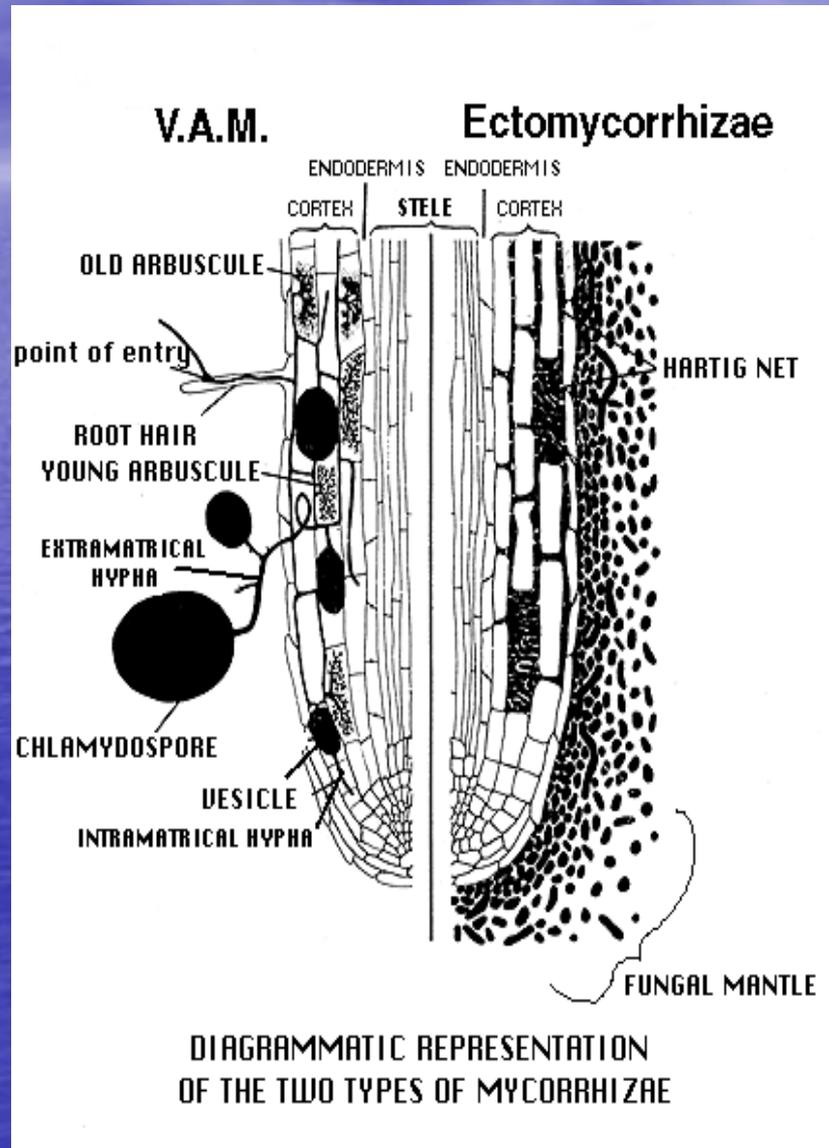
Root Systems of Prairie Plants

Living Habitats

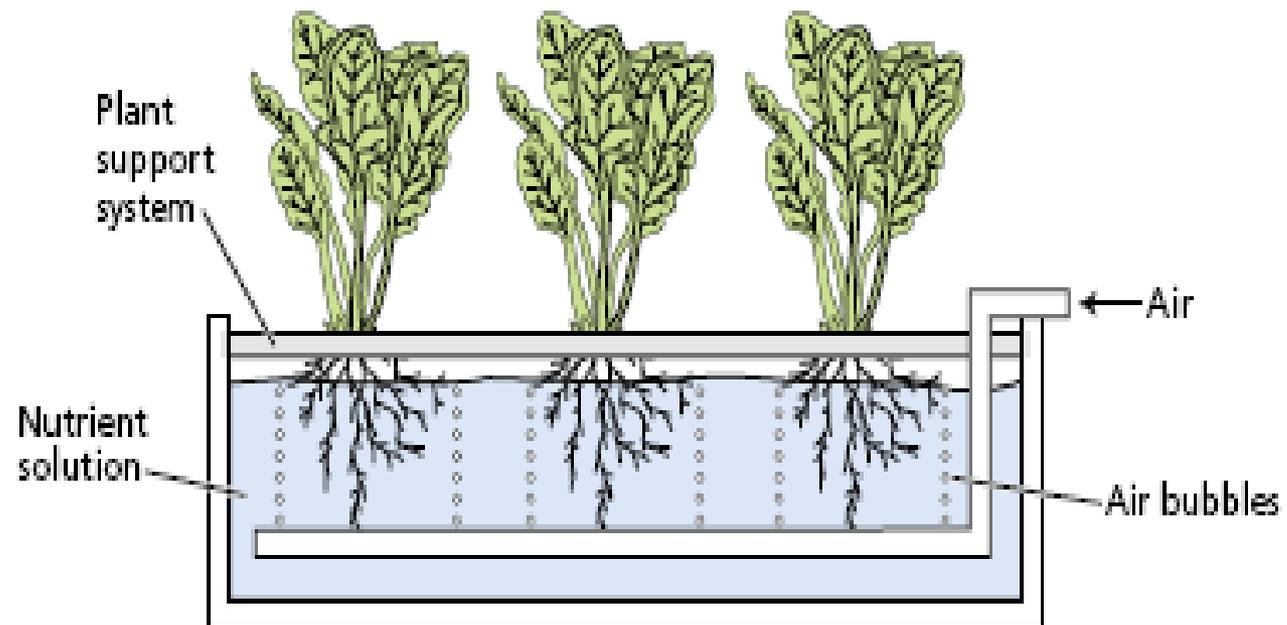
## Formación de una zona de deficiencia de nutrientes en la región del suelo adyacente a la raíz



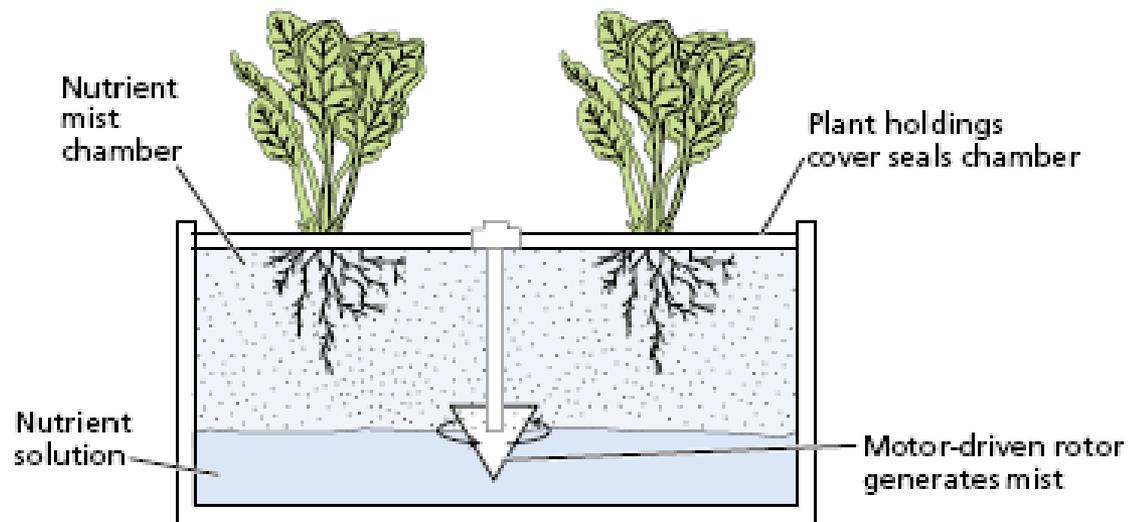
# Micorrizas. Ecto y endo



(A) Hydroponic growth system

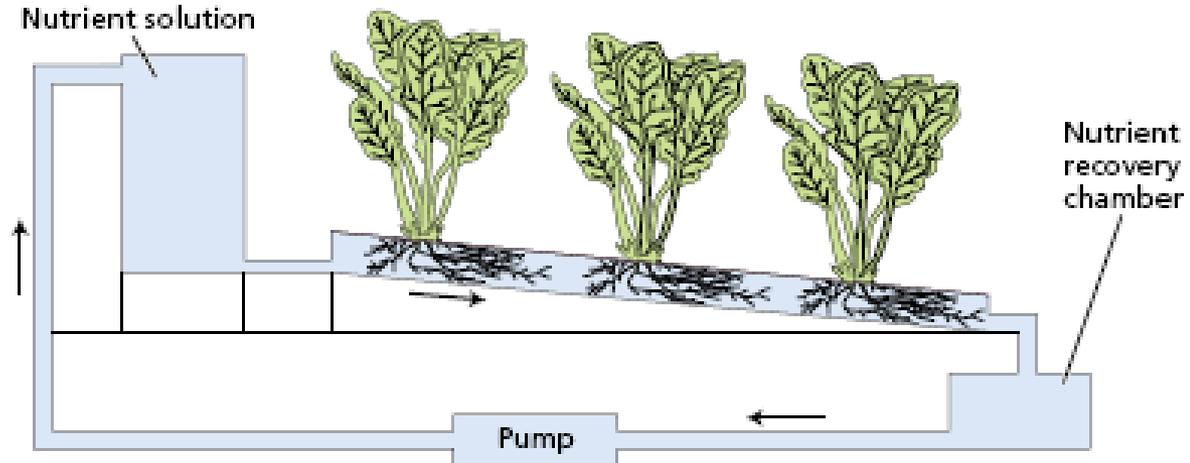


(C) Aeroponic growth system

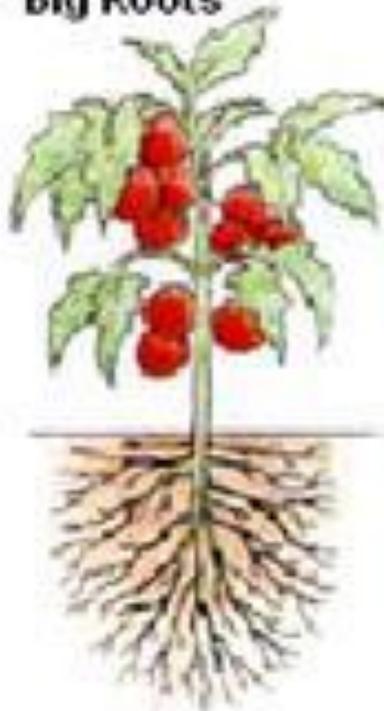


(B) Nutrient film growth system

Nutrient solution



**SOIL GROWN**  
**Small Plant,**  
**Big Roots**



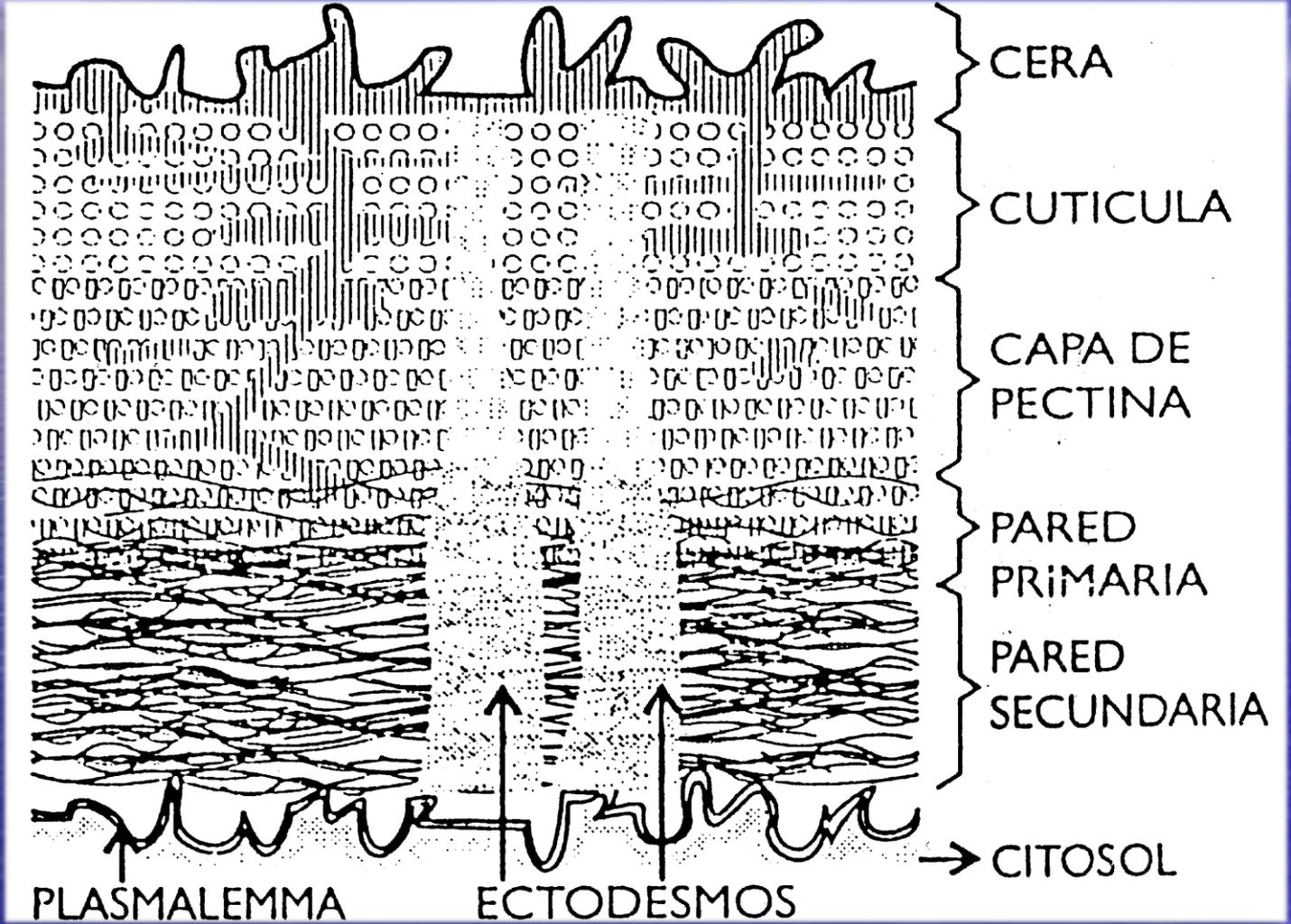
**HYDROPONICALLY GROWN**  
**Big Plant, Small Roots**

Gota de agua, fertilización foliar  
con tensioactivo que baja la tensión  
superficial





# RESISTENCIA de la Cutícula

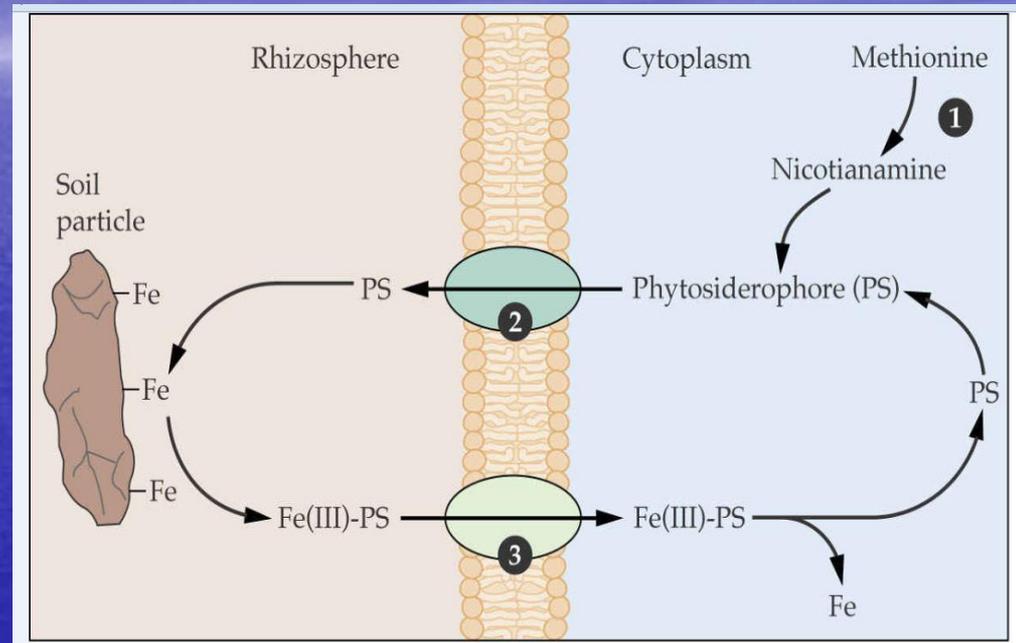
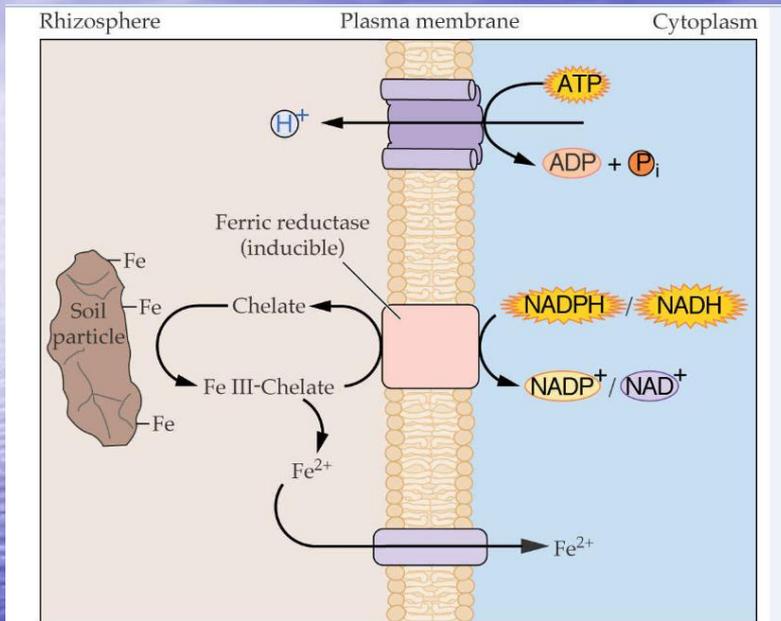


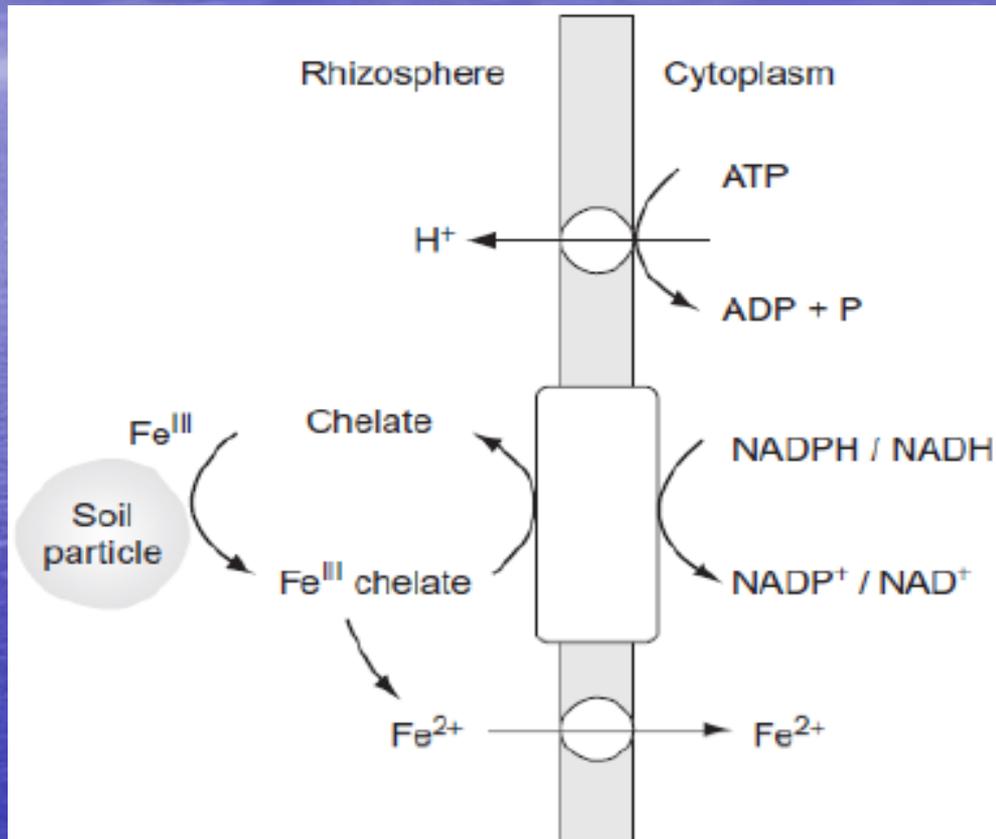


# Incorporación y asimilación de nutrientes

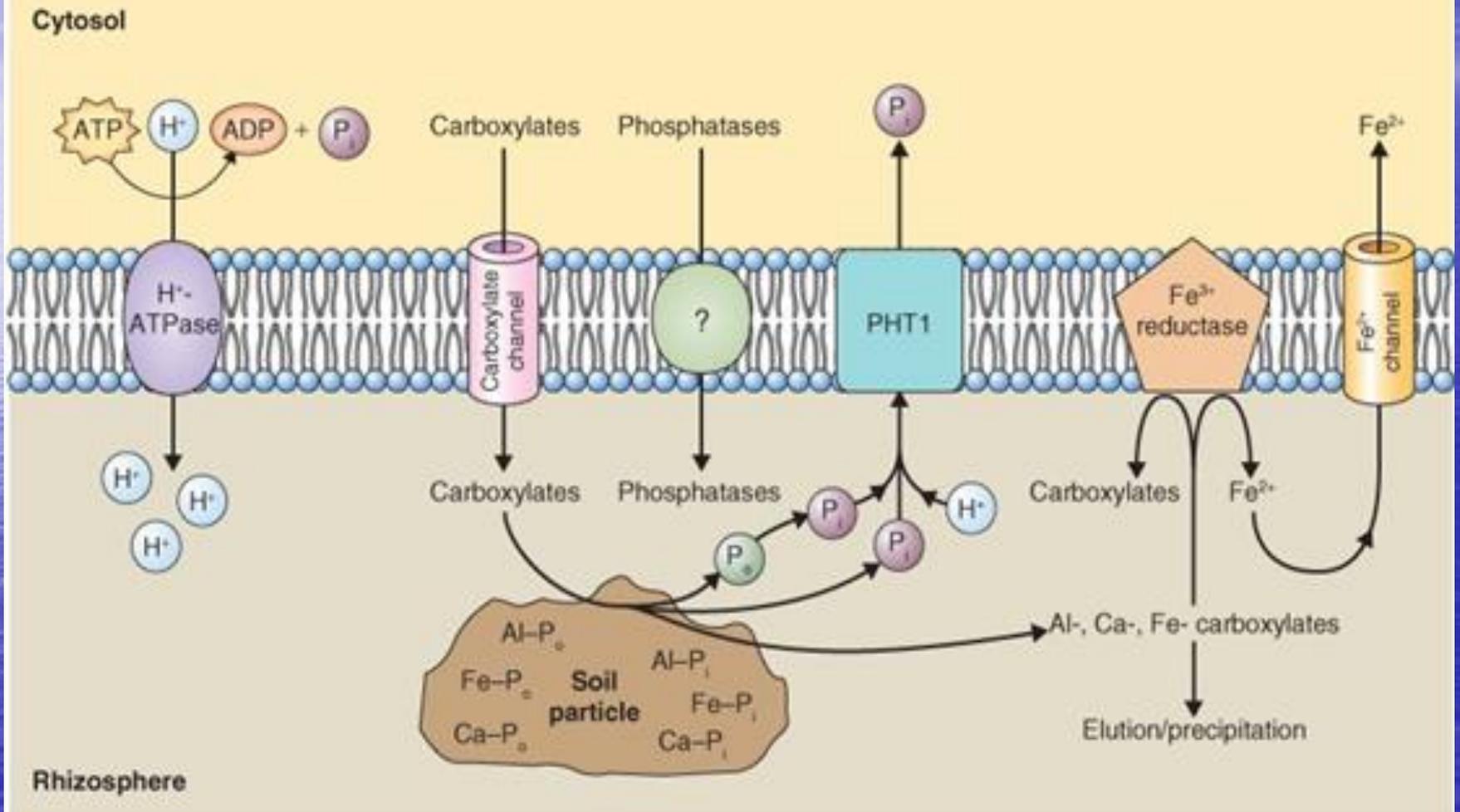
# ASIMILACIÓN DE HIERRO

## Mecanismos para aumentar la solubilidad

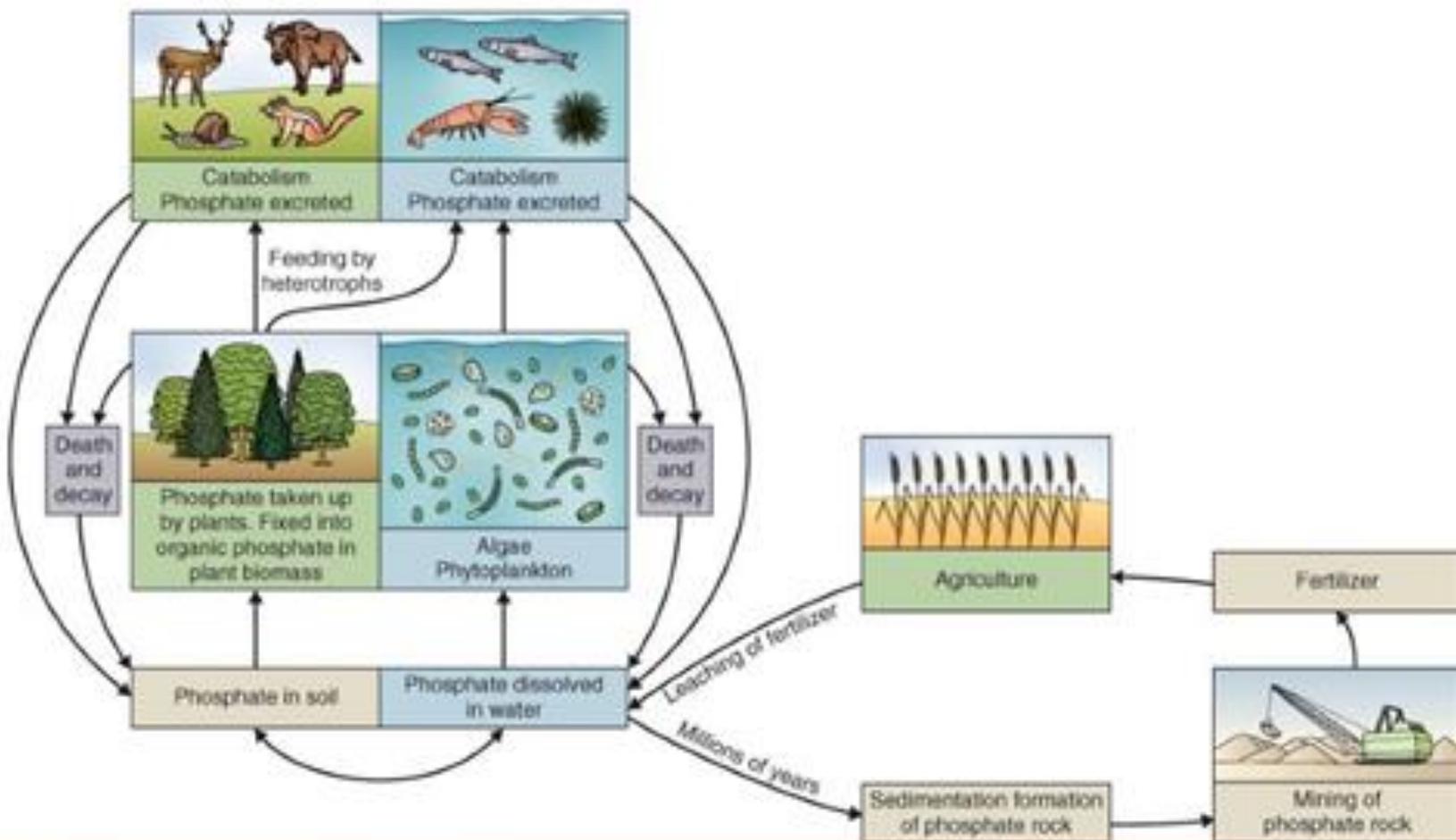


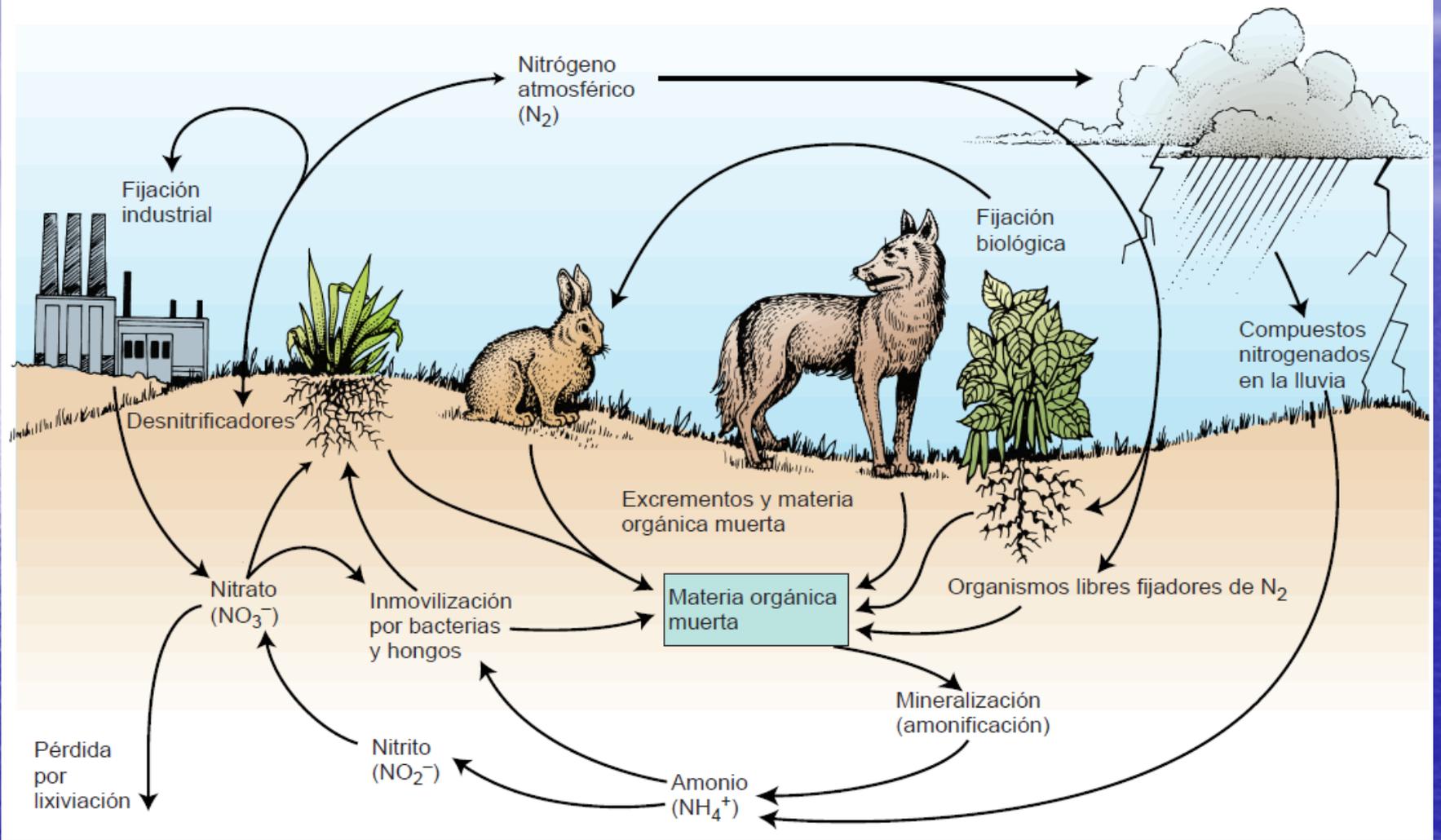


# Modificaciones en la rizosfera tendientes a incrementar la absorción de fósforo



# El fósforo ingresa en la biosfera como fosfato





# **DIAGNÓSTICO FOLIAR (D.F)**

**D.F = f (Pl, S, Cl, T, Pc, Pm, etc)**

## FUNCION DE LOS ELEMENTOS ESENCIALES EN LA PLANTA

| Elemento | Función   |
|----------|---|
| N        | Constituyente de pigmentos (clorofila), aminoácidos, amidas, ácidos nucleicos, coenzimas, vitaminas, etc.   |
| P        | Componente de ATP, NADP, azúcares-fosfato, ácidos nucleicos, nucleótidos, coenzimas, fosfolípidos, ácido fítico, etc...   |
| K        | Cofactor para más de 40 enzimas. Cumple funciones en el mecanismo de apertura y cierre de estomas. Mantiene la electroneutralidad en las células vegetales.   |
| S        | Forma parte de las moléculas de cisteína, metionina. Constituyente del ácido lipoico, coenzima A, pirofosfato de tiamina, glutatión, biotina, adenosín-5'-fosfosulfato y 3-fosfoadenosina.  |
| Ca       | Es constituyente de la laminilla media de las paredes celulares. Requerido como cofactor de varias coenzimas involucradas en la hidrólisis de ATP y fosfolípidos. Actúa como mensajero secundario en la regulación metabólica por hormonas y fitocromo. |
| Mg       | Forma parte de la molécula de clorofila y es requerido por un gran número de enzimas.   |
| Fe       | Constituyente de citocromos y de ferroproteínas involucradas en fotosíntesis, fijación de N <sub>2</sub> y respiración.   |
| Mn       | Requerido para la actividad de algunas deshidrogenasas, decarboxilasas, kinasas, oxidasas y peroxidasas. Interviene además en la liberación de O <sub>2</sub> en la fase lumínica de la fotosíntesis.   |
| B        | Existen evidencias de la relación de este elemento y el transporte de carbohidratos. Forma complejos bóricos con algunos carbohidratos.   |
| Cu       | Es un componente esencial de la enzima ácido ascórbico-oxidasas y forma parte de la plastocianina.  |
| Zn       | Constituyente esencial de alcohol deshidrogenasa, glutámico deshidrogenasa, carbónico anhidrasa y otras enzimas.  |
| Mo       | Forma parte de la molécula de nitrato reductasa. Esencial en la fijación de N <sub>2</sub> .  |
| Cl       | Actúa en la liberación de O <sub>2</sub> en el fotosistema II y como anión en el flujo rápido de K <sup>+</sup> .   |
| Ni       | Forma parte de la metaloenzima ureasa.  |

# **SÍNTOMA DE DEFICIENCIAS**

- **CUANDO SE CONSIDERA UNA DEFICIENCIA?**

- **GENERALIZADOS**
- **GRADIENTE**
- **SIMÉTRICO**

## **DONDE SE OBSERVA LA DEFICIENCIA?**

- **LESIÓN MOLECULAR**
- **ALTERACIÓN SUBCELULAR**
- **MODIFICACIÓN CELULAR**
- **LESIÓN EN TEJIDOS**
- **MANIFESTACIÓN VISIBLE**

# **SÍNTOMA DE DEFICIENCIAS**

**UN ELEMENTO**



**UNA FUNCIÓN**



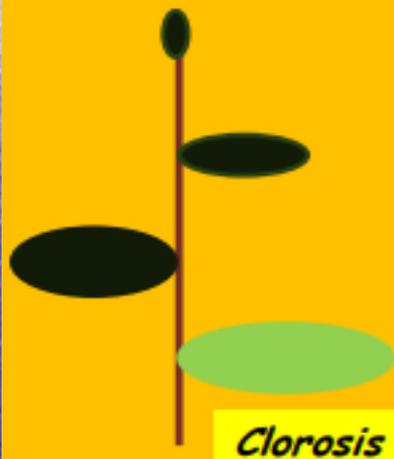
**UN SÍNTOMA DE  
DEFICIENCIA**

# **SÍNTOMA DE DEFICIENCIAS**

- MANIFESTACIÓN VISIBLE**
- MENOR CRECIMIENTO**
- CLOROSIS EN DISTINTAS ZONAS DE LAS HOJAS**
  - APICAL**
  - BASAL**
  - INTERNERVAL**
- NECROSIS EN DISTINTAS ZONAS DE LAS HOJAS**
  - APICAL**
  - BASAL**
  - INTERNERVAL**
- APARICIÓN DE OTROS PIGMENTOS**

## 2. Posición del síntoma (relacionado la movilidad del elemento)

- Síntoma en hojas viejas (basales): elemento **móvil**
- Síntoma en hojas nuevas (apicales): elemento **inmóvil** (o movilidad intermedia)



**Elemento móvil**

TABLE 3.9 Mobility of nutrients in the phloem

| Mobility    |              |     |
|-------------|--------------|-----|
| High        | Intermediate | Low |
| K           | Fe           | Ca  |
| Mg          | Zn           | Mn  |
| P           | Cu           |     |
| S           | B            |     |
| N (amino-N) | Mo           |     |
| Cl          |              |     |
| (Na)        |              |     |



**Elemento poco móvil**

## CLAVE PARA LA DETERMINACION DE DEFICIENCIAS EN PLANTAS DE TOMATE

### I. Efectos observados en toda la planta o localizados en las hojas mas viejas.

#### **A. Efecto localizado en toda la planta. Más acentuado en hojas viejas. Plantas de color verde claro o verde oscuro.**

1. Plantas con menor crecimiento, color verde claro. Hojas inferiores amarillas y más pequeñas. Pecíolos cortos y finos en estadíos de crecimiento avanzado.

**NITRÓGENO**

2. Plantas con menor crecimiento, color verde oscuro. Con coloración purpúrea en tallos y pecíolos. Pecíolos finos y cortos en estadíos avanzados de crecimiento.

**FÓSFORO**

#### **B. Efectos localizados en alguna parte de la planta. Moteado o clorosis con o sin manchas de tejido necrótico en hojas inferiores.**

1. Hojas viejas cloróticas, sin mostrar moteado. La clorosis comienza en el ápice y continúa hacia abajo y hacia adentro, a lo largo de las márgenes y entre las venas. El margen de la hoja se frunce hacia adentro.

**MAGNESIO**

2. Hojas inferiores moteadas, generalmente con manchas necróticas cerca del ápice y márgenes. La clorosis comienza en los márgenes y continúa hacia adentro. Los márgenes se necrosan y se curvan hacia abajo. Las hojas viejas se caen.

**POTASIO**

3. Manchas generalizadas en áreas internervales y eventualmente en las venaciones. Entrenudos más cortos. Hojas de menor grosor.

**ZINC**

## II. Efectos observados en yemas y hojas jóvenes.

**A. Muerte de las yemas terminales. Malformaciones en el ápice o base de las hojas nuevas.**

1. La yema terminal generalmente muere. Caída del ápice. Márgenes de las hojas jóvenes en forma de gancho. **CALCIO**

2. Las hojas jóvenes y la yema terminal se tornan verde claro en la base y finalmente caen. En estado avanzado de crecimiento las hojas se enrollan. **BORO**

**B. La yema terminal permanece viva. Clorosis y marchitamiento de las hojas jóvenes con o sin manchas de tejido conectivo, venación clara o verde oscuro.**

1. Hojas jóvenes marchitas sin moteado o clorosis marcada. Necrosis en las venaciones. **COBRE**

2. Las hojas jóvenes no presentan marchitez. Clorosis con o sin manchas necróticas.

2.1. Manchas necróticas dispersas en la hoja. Las venas pequeñas permanecen verdes, dando un aspecto de red. **MANGANESO**

3. No son comunes las manchas necróticas, las nervaduras pueden o no presentar clorosis, con coloración verde claro o verde oscuro.

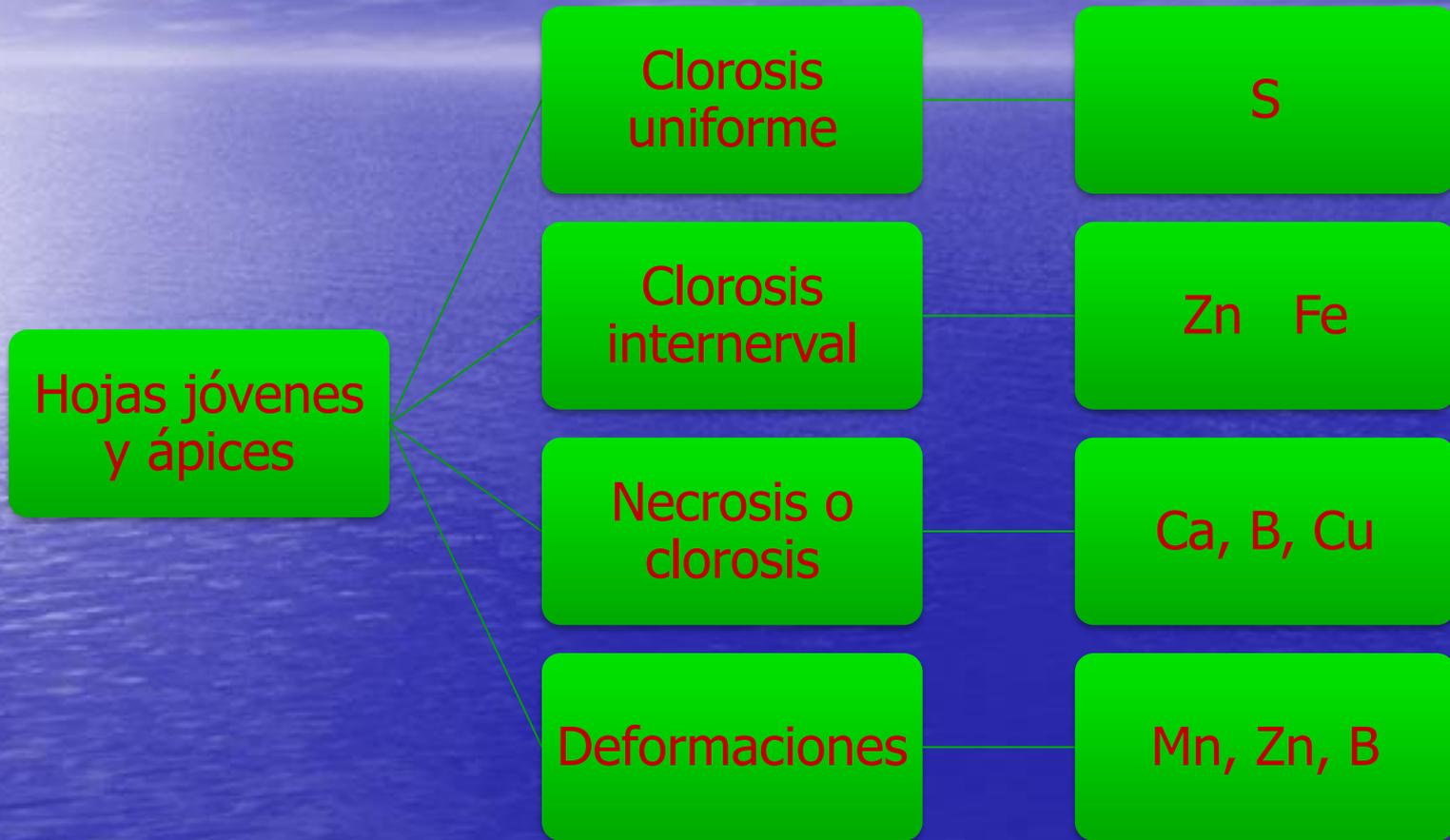
**3.1.** Hojas jóvenes con nervaduras y zonas internervales verde claro. Pueden aparecer manchas necróticas. **AZUFRE**

**3.2.** Hojas jóvenes con marcada clorosis. Nervaduras principales permanecen verdes. A veces márgenes foliares de coloración marrón. Tallos y pecíolos cortos y finos. **HIERRO**

# SÍNTOMA DE DEFICIENCIAS



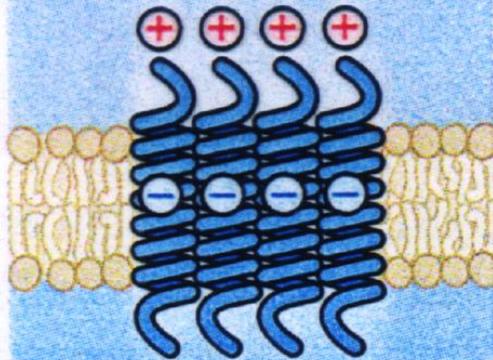
# SÍNTOMA DE DEFICIENCIAS





-Ca

Cytosol

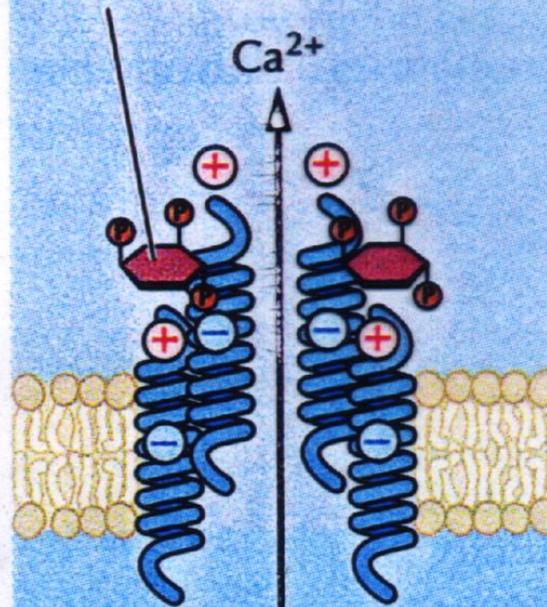


$\text{Ca}^{2+}$

$\text{Ca}^{2+}$

Vacuole

Inositol 1,4,5-triphosphate

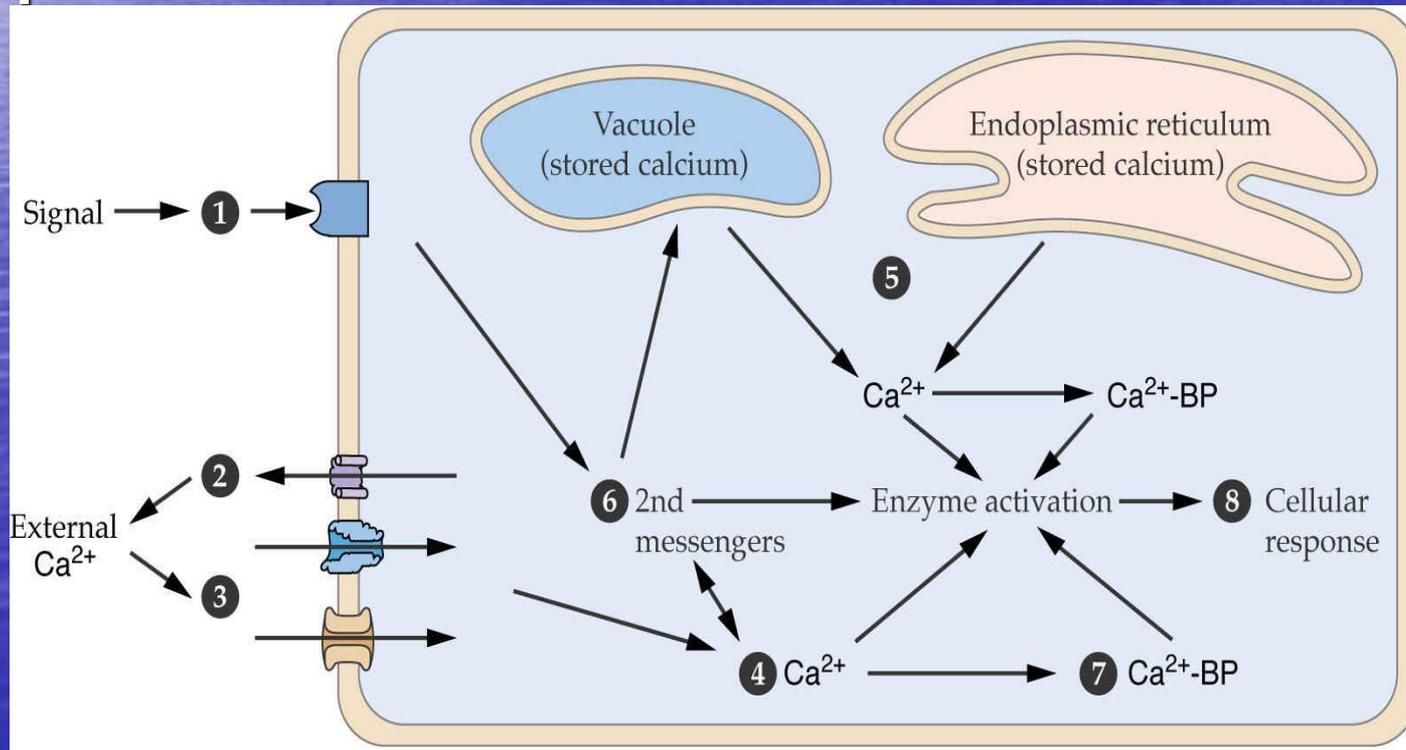


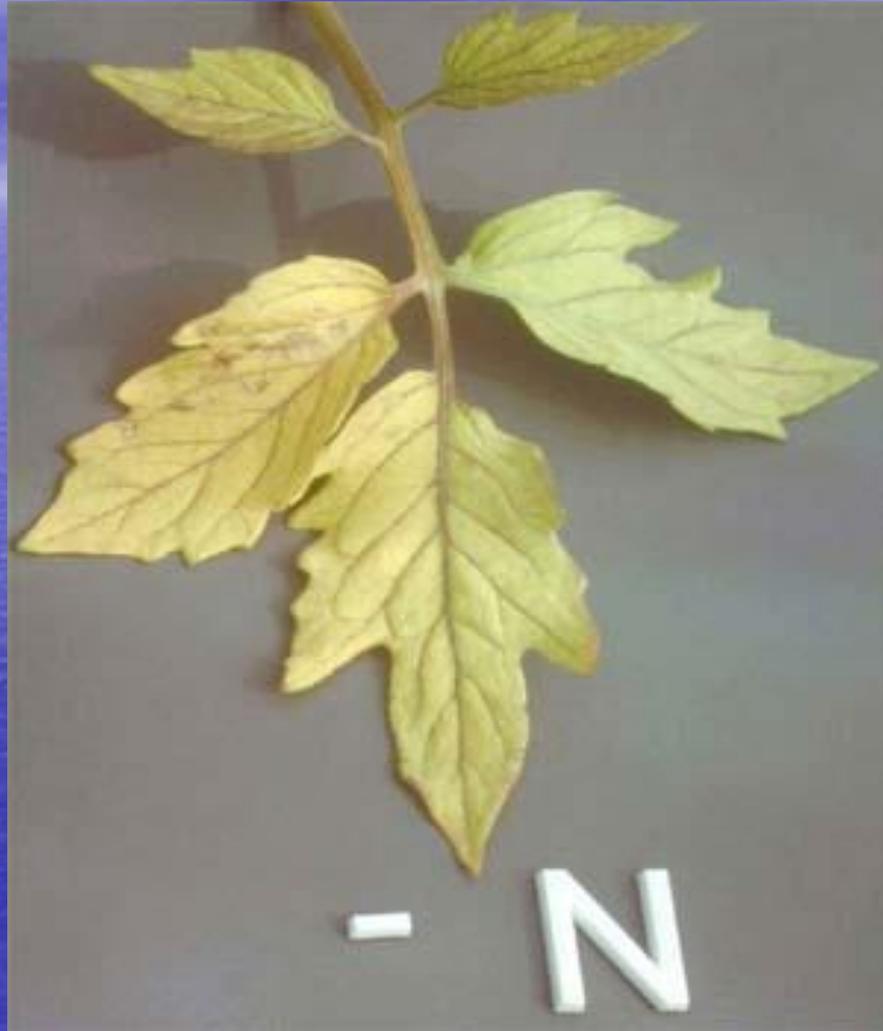
$\text{Ca}^{2+}$

$\text{Ca}^{2+}$

$\text{Ca}^{2+}$

- **Canales iónicos. Selectividad.**
- **Ingreso de Calcio.**
- **1. Señal extracelular percibida por receptor de membrana.**
- **2. Percepción de señal ATPas ó      3. Canal de membrana**
- **4. Cambios en la concentración de Ca libre en citosol**
- **5. Liberación de Ca**
- **6. Liberación por 2dos mensajeros**
- **7. Liberación de Ca**
- **8. Respuesta celular**

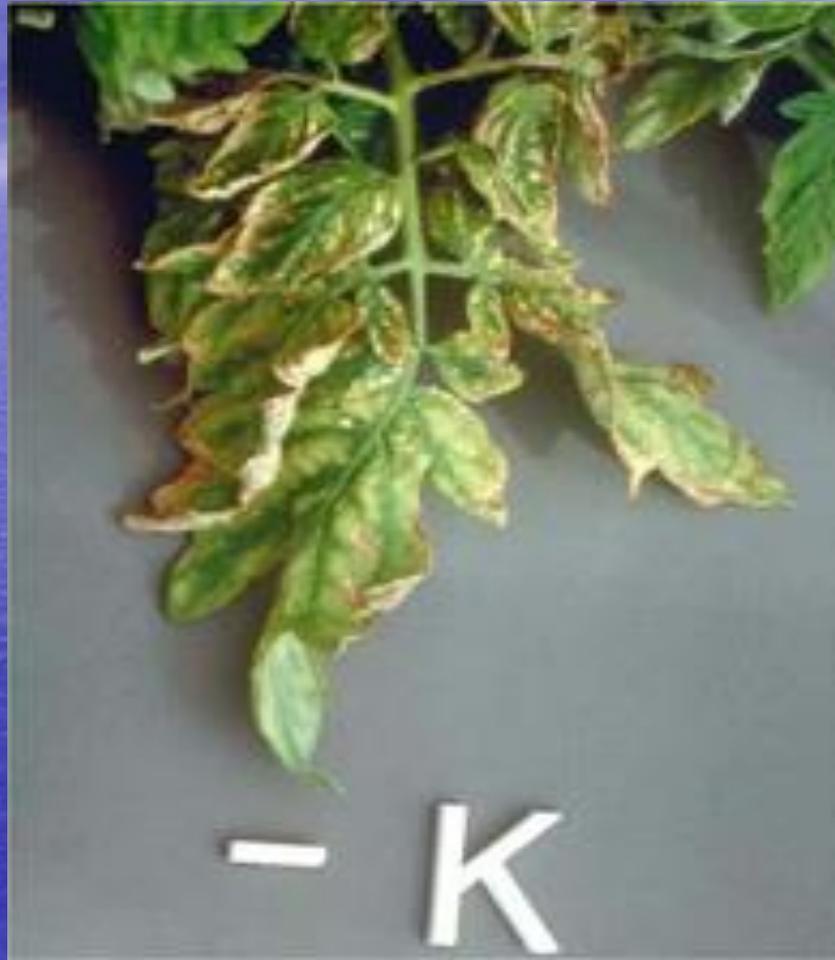




# DEFICIENCIAS DE N









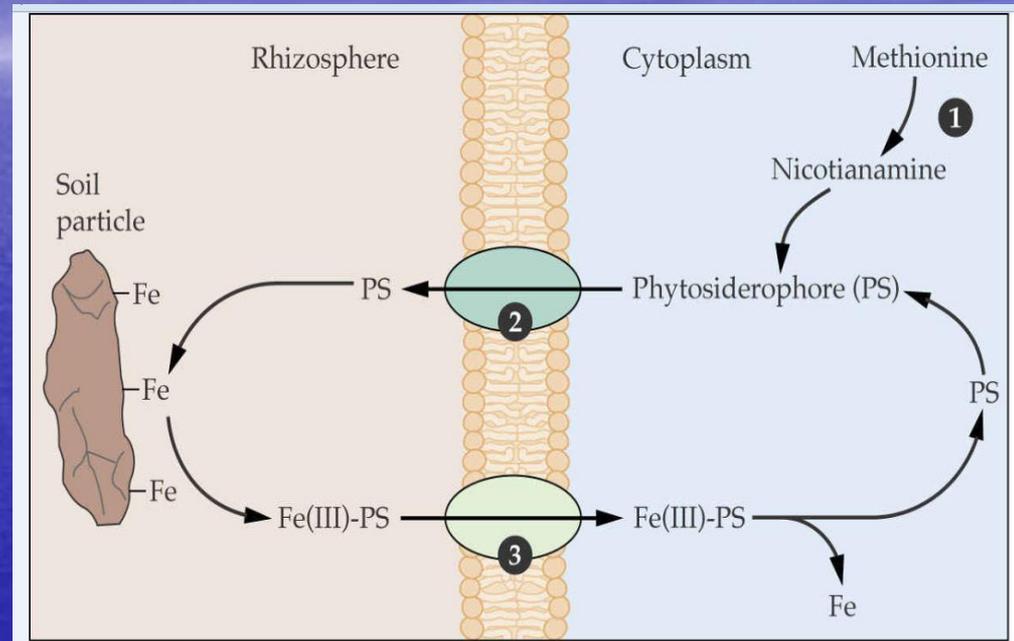
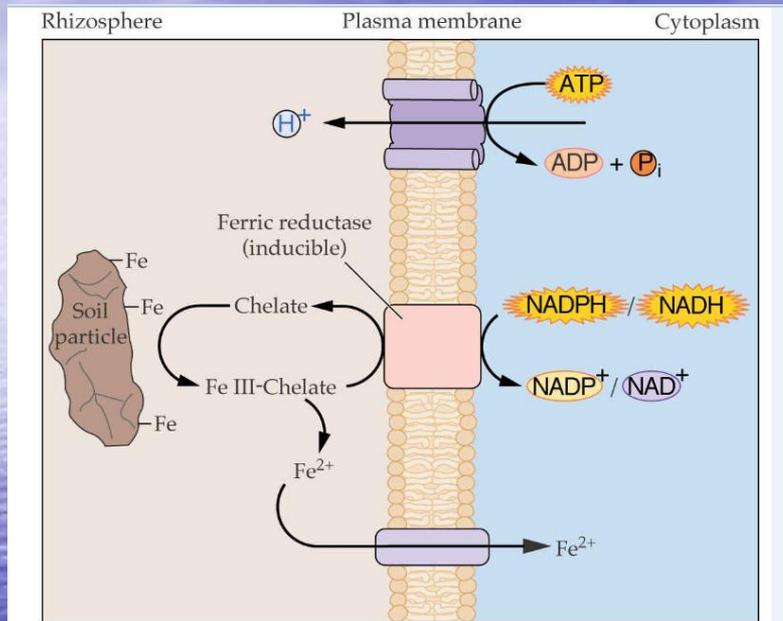


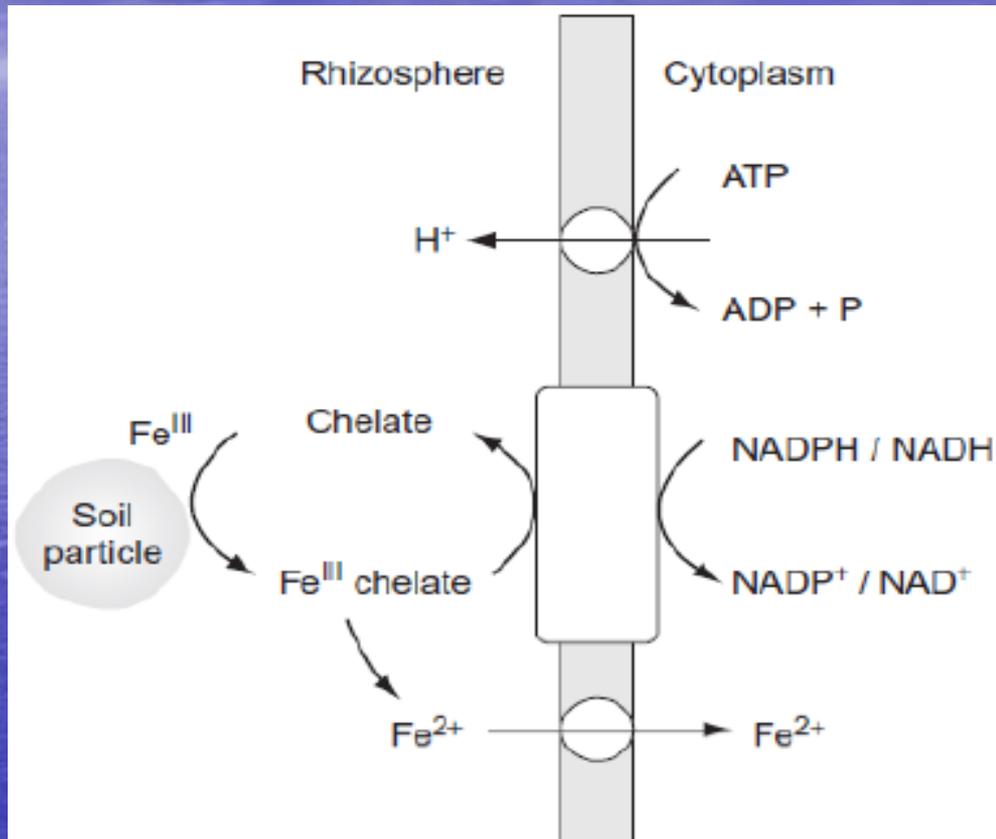
-Zn



# ASIMILACIÓN DE HIERRO

## Mecanismos para aumentar la solubilidad



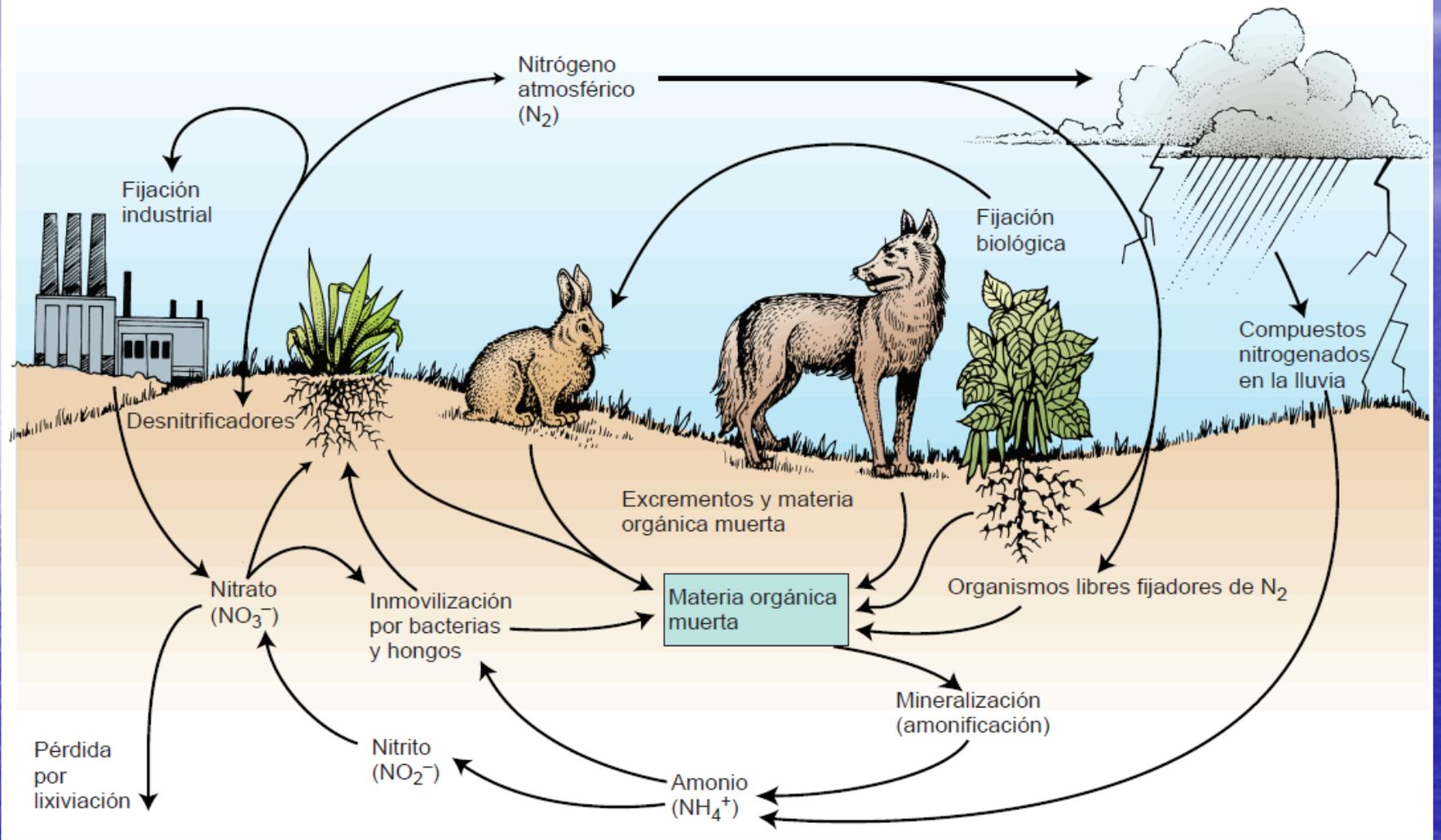






# DEFICIENCIAS DE N





## Principales compuestos nitrogenados

| Compound | Oxidation state of N | Name                      |                     |
|----------|----------------------|---------------------------|---------------------|
| $N_2$    | 0                    | Dinitrogen (nitrogen gas) |                     |
| $R-NH_x$ | -1 to -3             | Organic N ( $x \geq 0$ )  |                     |
| $NH_3$   | -3                   | Ammonia                   | Collectively $NH_x$ |
| $NH_4^+$ | -3                   | Ammonium ion              |                     |
| $NH_2OH$ | -1                   | Hydroxylamine             |                     |
| $N_2O$   | +1                   | Nitrous oxide             | Collectively $NO_x$ |
| $NO$     | +2                   | Nitric oxide              |                     |
| $NO_2^-$ | +3                   | Nitrite                   |                     |
| $NO_2$   | +4                   | Nitrogen dioxide          |                     |
| $NO_3^-$ | +5                   | Nitrate                   |                     |

# ASIMILACIÓN DEL NITRÓGENO

**1. Absorción del nitrato.**

**2. Reducción del nitrato a amonio.**

**3. Incorporación del amonio a esqueletos carbonados para la síntesis de aminoácidos (asimilación del amonio).**

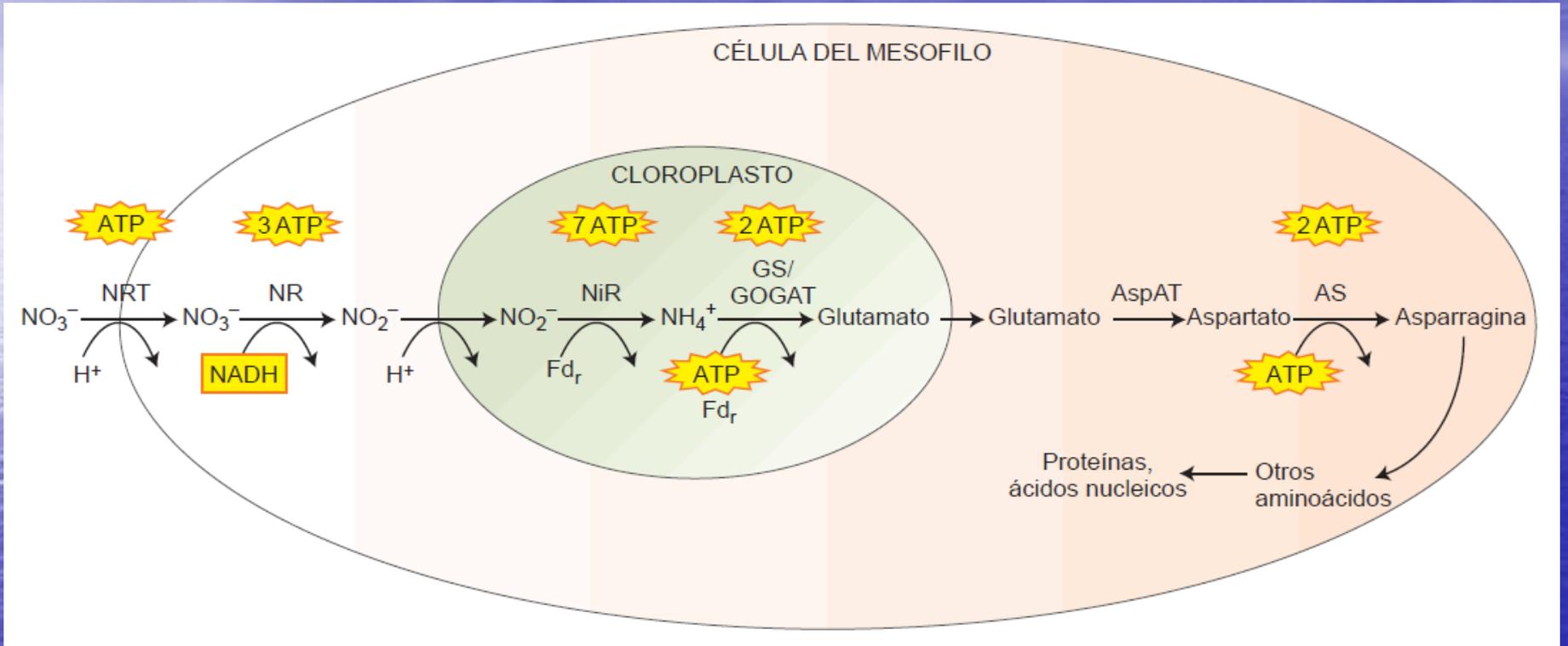
# ASIMILACIÓN DEL NITRÓGENO

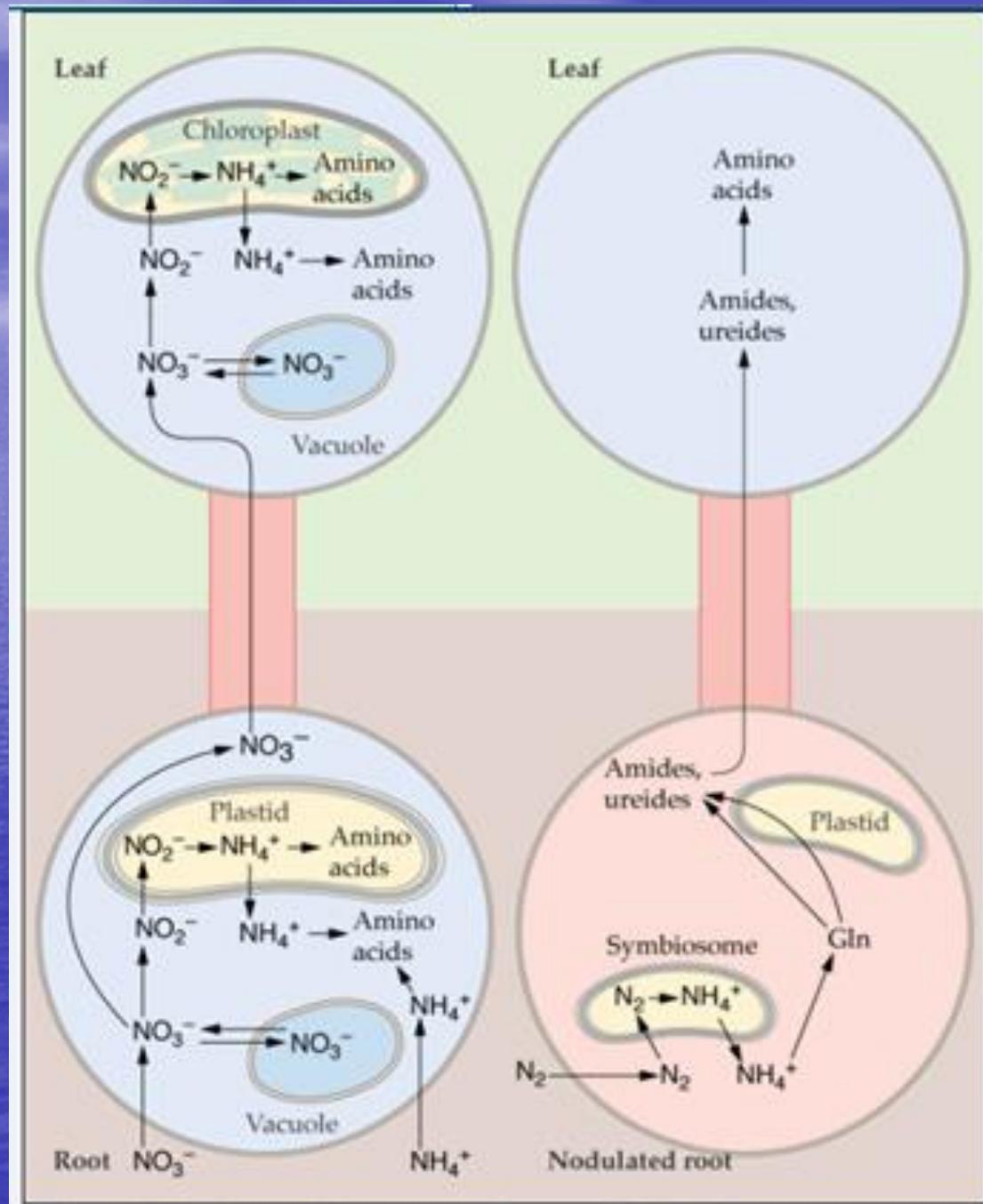
**1. La absorción del nitrato disminuye a bajas temperaturas, en anaerobiosis y en presencia de inhibidores metabólicos, lo que demuestra que es un transporte activo (simporte).**

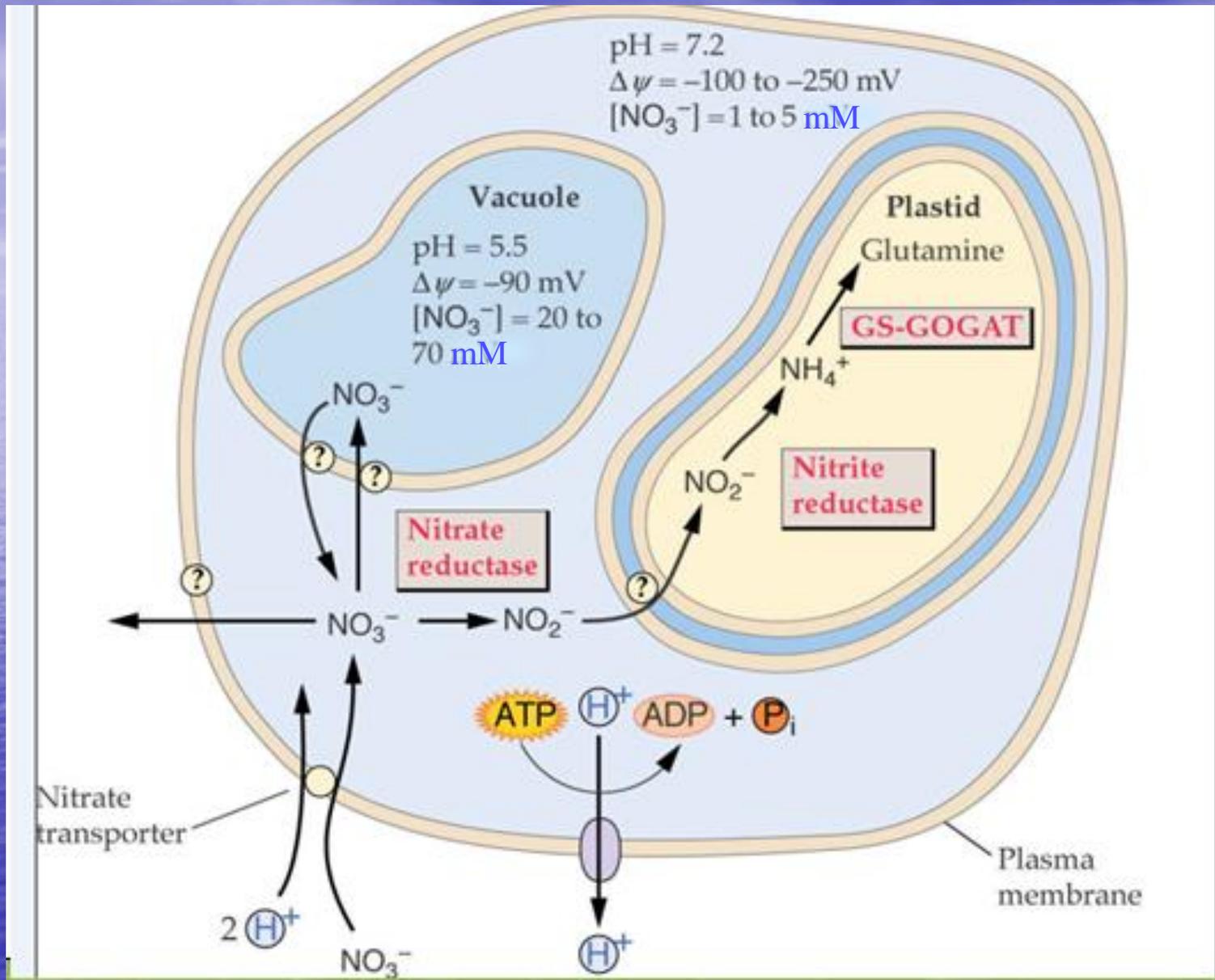
**2. La reducción de nitrato a nitrito por la enzima nitrato reductasa (NR-citosol) utiliza 2 e<sup>-</sup> del NADH.**

**3. La reducción de nitrito a amonio por la enzima nitrito reductasa (NiR-cloroplasto) utiliza 6 e<sup>-</sup> de Ferredoxina.**

**NR y NiR son inducibles por el nitrato. Luz-fitocromo.**







En el citosol, la enzima nitrato reductasa cataliza la reacción:



En los cloroplastos de la hoja y plástidos de la raíz, la enzima nitrito reductasa cataliza la reacción:



# El amonio es incorporado en aminoácidos por la actividad de dos enzimas

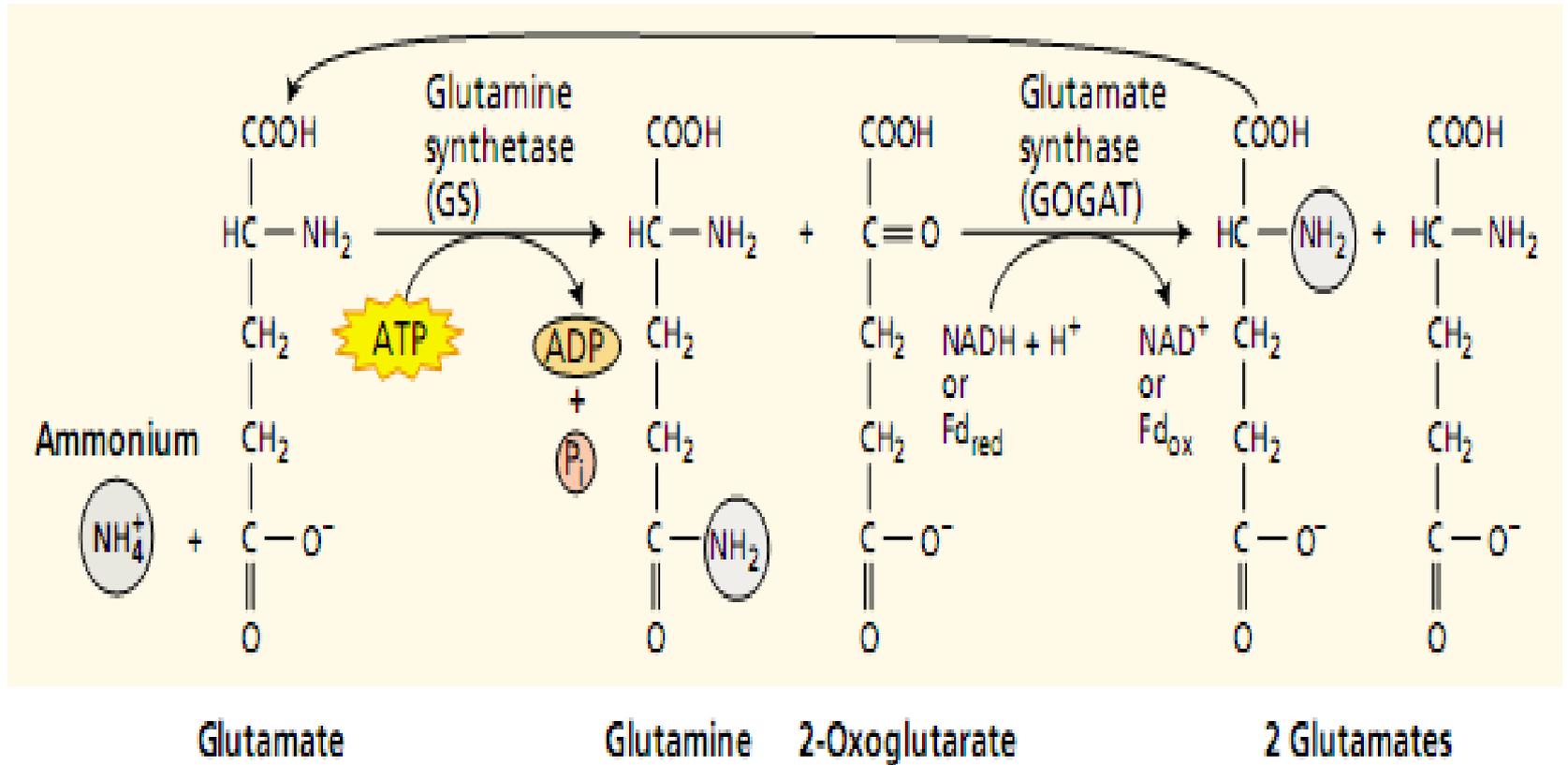
## Glutamina sintetasa (GS)



## Glutamato sintasa (GOGAT)



La enzima GOGAT ubicada en plástidos de raíz utiliza NADH en lugar de  $\text{Fd}_{\text{red}}$ .



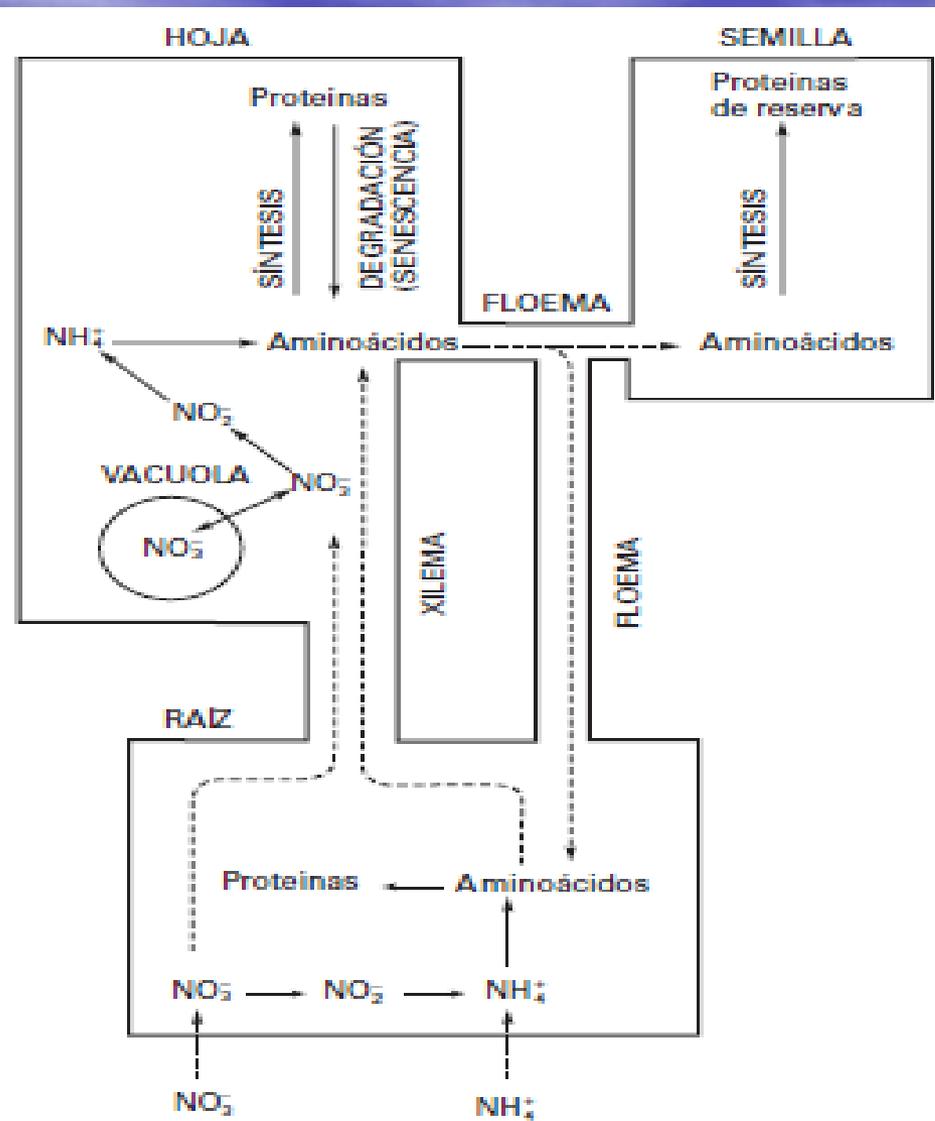


Figura 15-11. Esquema de las rutas del nitrógeno en la planta, que comprenden los procesos de absorción, asimilación, movilización y transporte a larga distancia.

# ASIMILACIÓN DEL AZUFRE

El S se absorbe activamente (simporte) como  $\text{SO}_4^{2-}$  (S +6) y es reducido en las hojas a sulfuro (S -2).

El sulfato es trasladado al cloroplasto. Para ser reducido, debe ser activado por una sulfurilasa a APS.

La reducción de APS se lleva a cabo en dos reacciones sucesivas.

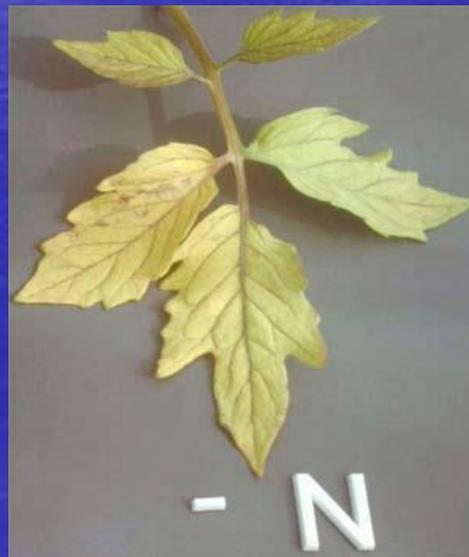
En la primera la APS reductasa, reduce el sulfato a sulfito (2 e-).

En la segunda el sulfito es reducido a sulfuro libre (6 e-ferredoxina)

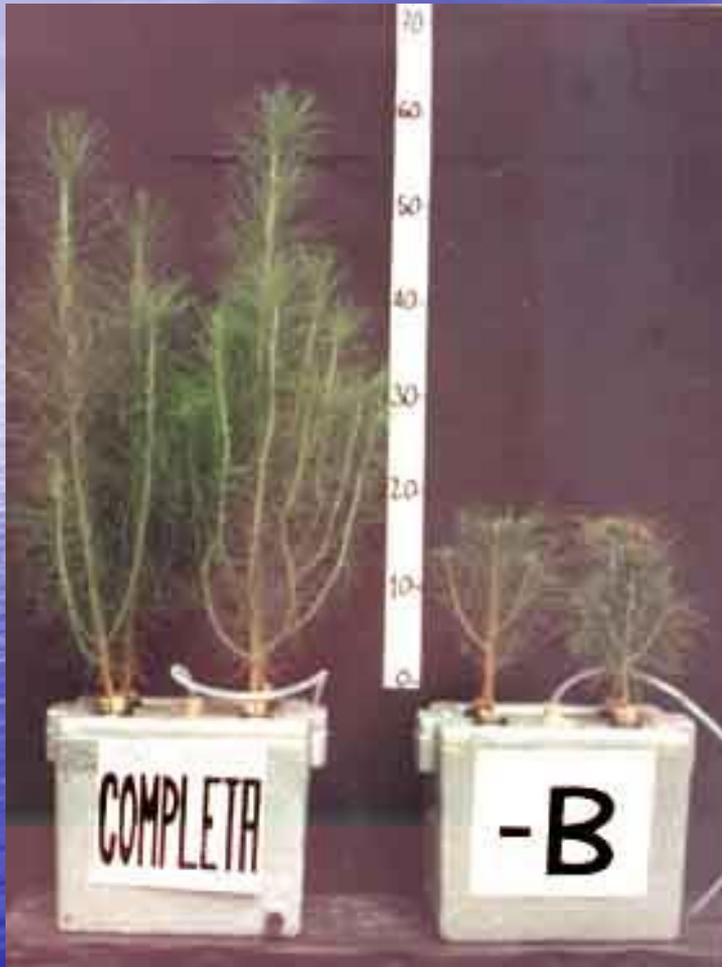




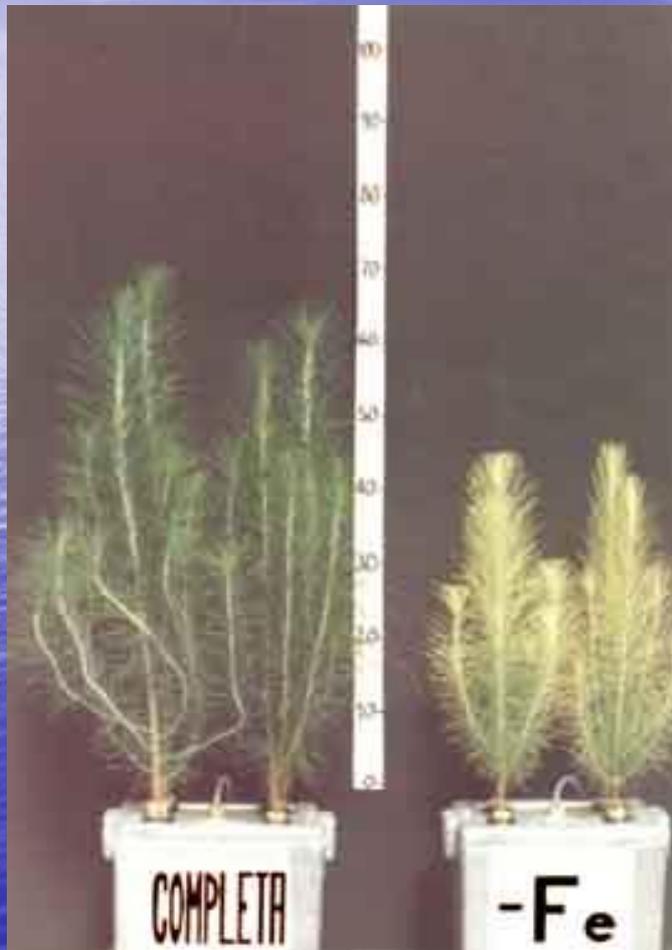
# SÍNTOMAS DE DEFICIENCIAS



# Deficiencias de Boro - Calcio



# Deficiencias de Hierro - Potasio



# Deficiencias de Magnesio - Manganeso



# Deficiencias de Fósforo - Nitrógeno



# Deficiencias de Azufre



# Deficiencias de Calcio

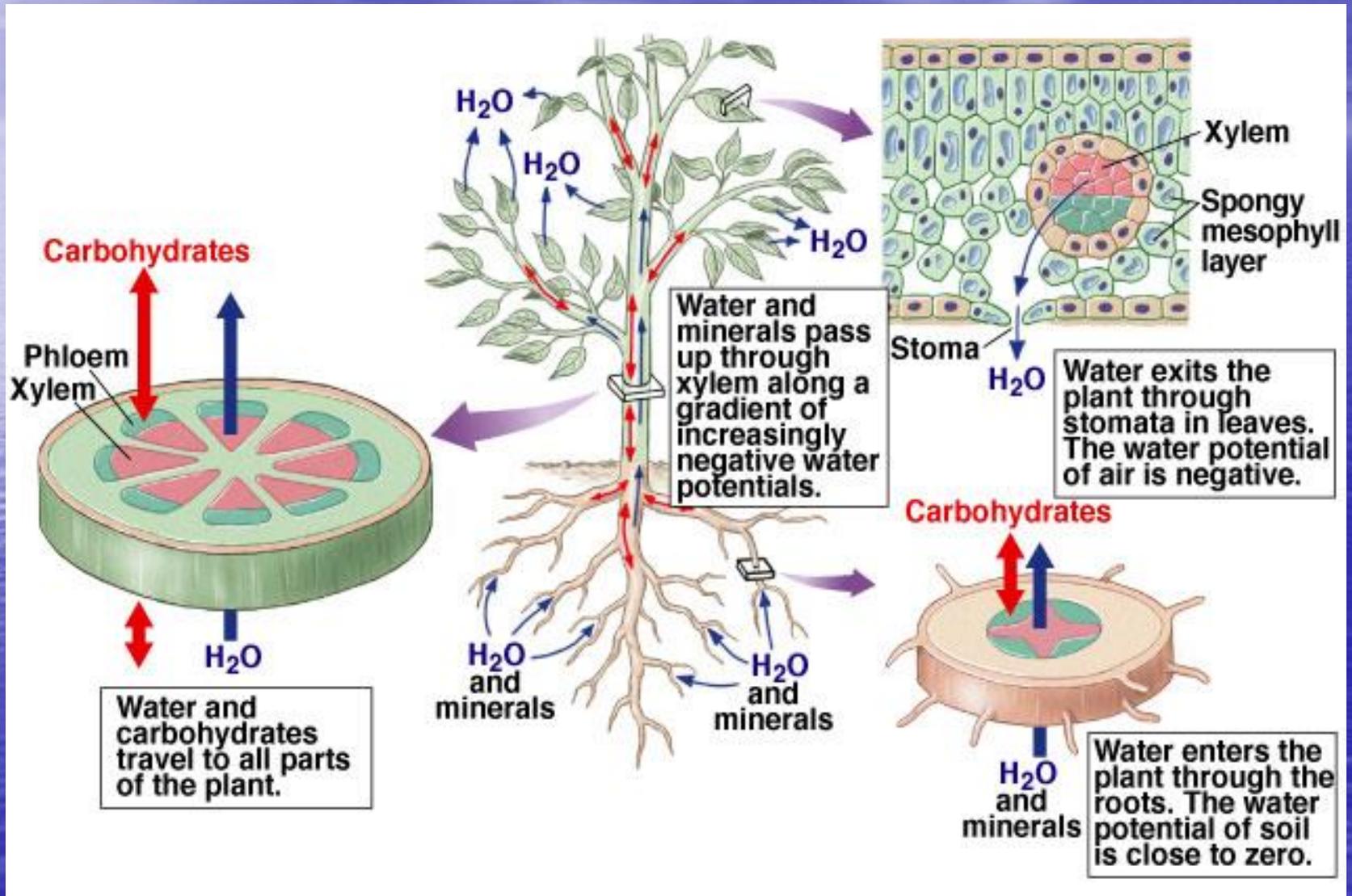


Libro de  
BotánicaOn-Line

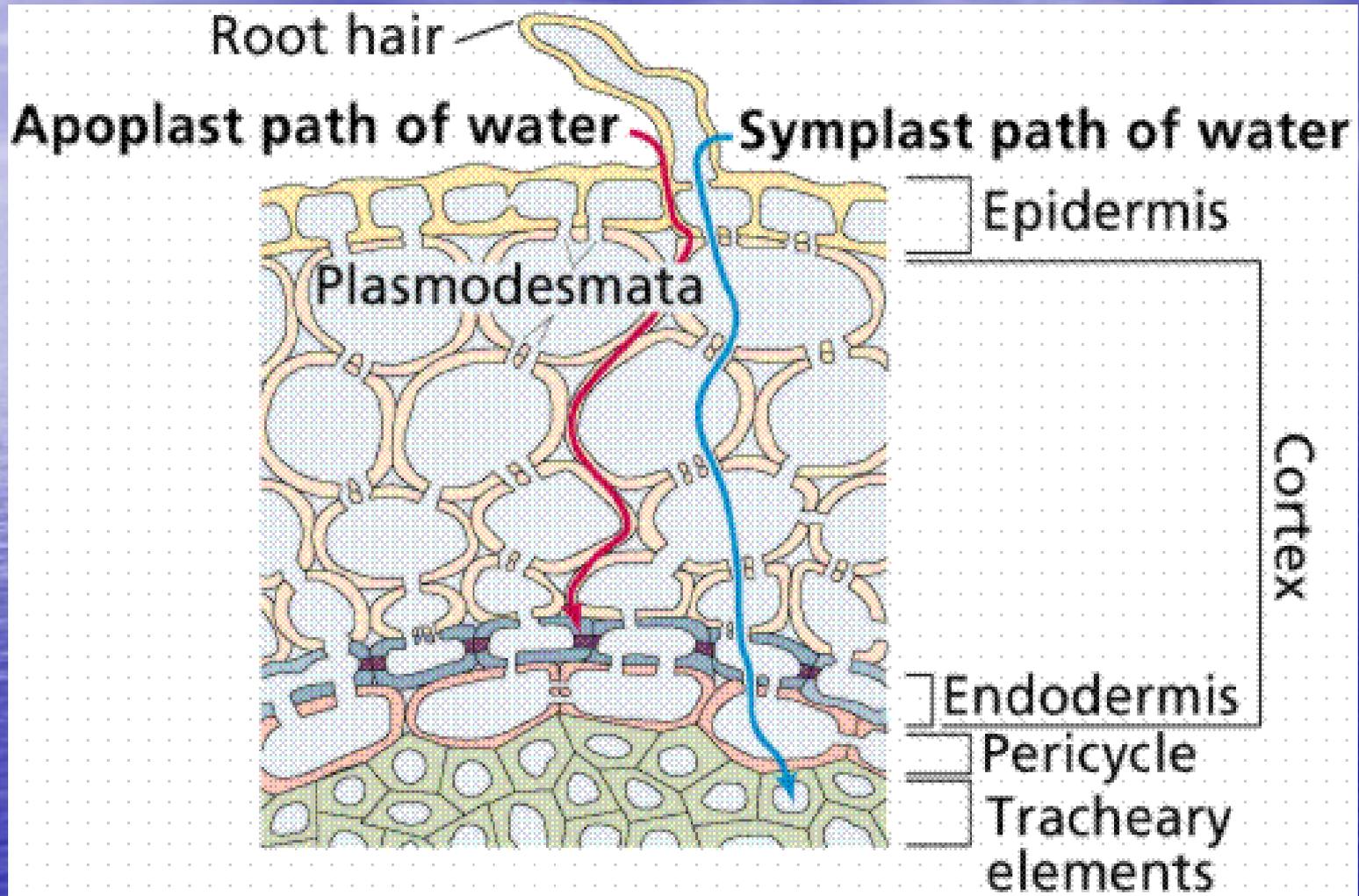
# Deficiencias de Boro



# Water Movement Through A Plant



- **Apoplasto. Simplasto.**



- PROCESOS FUNDAMENTALES EN LA VIDA DE UN VEGETAL -

