



X CONGRESO LATINOAMERICANO DE AGRONOMIA



Centro de Investigación
y Desarrollo Ecuador

NUTRICIÓN MINERAL Y METABOLISMO DE PLANTAS

Ing. Alexis Fernando Matute PhD (c)

QUEVEDO 17, 18 Y 19 DE JULIO 2019

Consideraciones Importantes

Origen

- Intemperización de los minerales del suelo
- Descomposición de la materia orgánica
- Suplementación con abonos (fertilización química)

Elementos químicos (nutrientes) están disueltos en la solución del suelo

Flujo de agua en el Sistema suelo-planta-atmosfera  aprox de los nutrientes a las raíces

Absorción de los nutrientes por las plantas  transportes transmembranas

• Locales de absorción de nutrientes minerales por las plantas

Raíces pelos radiculares

Hojas (fertilización foliar)

Matéria Seca

- C, H e O - 90 a 95% del total
- Minerales - 5 a 10% del total

Nutriente mineral → esencialidad

- 1) La planta no complete su ciclo de vida en ausencia de este element
- 2) El element químico es constituyente y/o hace parte de alguna molécula esencial en la planta

CLASIFICACIÓN DE LOS NUTRIENTES

- 1) En base a la cantidad requerida por las plantas (mas utilizada)

Macronutrientes ($\geq 1000\text{mg/kg MS}$) C,H,O,N,K, Ca, Mg, P, S, Si

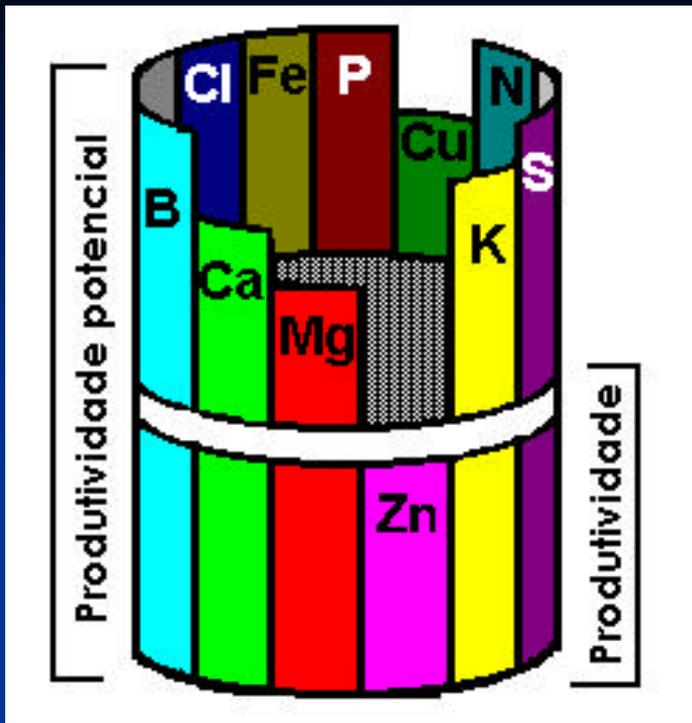
Micronutrientes ($\leq 100\text{mg/kg MS}$) Mo, Ni, Cu, Zn, Mn, B, Fe, Cl, Na

ELEMENTOS ESSENCIAIS E BENÉFICOS EM PLANTAS																					
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	Lu	Hf	Ta	W	Re	Os	Ir	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po	At	Rn				
Fr	Ra	Lr	Rf	Db	Sg	Bh	Hs	Mt													
		La	Ce	Pr	Nd	Pm	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb						
		Ac	Th	Pa	U	Np	Pu	Am	Cm	Bk	Cf	Es	Fm	Md	No						

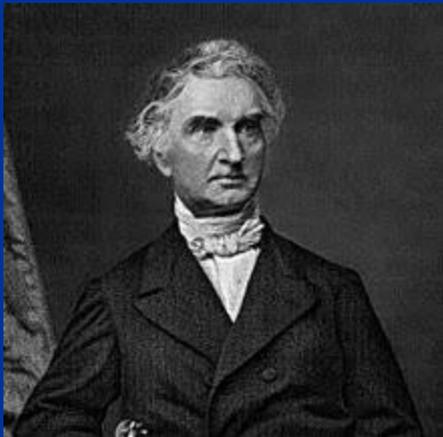
17 elementos químicos son considerados esenciales para las plantas

Elemento	Símbolo	% em matéria seca	Classificação
Carbono	C	45	Macronutriente
Oxigênio	O	45	-
Hidrogênio	H	6	-
Nitrogênio	N	1,5	-
Potássio	K	1,0	-
Cálcio	Ca	0,5	-
Magnésio	Mg	0,2	-
Fósforo	P	0,2	-
Enxofre	S	0,1	-
Cloro	Cl	0,01	Micronutriente
Ferro	Fe	0,01	-
Manganês	Mn	0,005	-
Boro	B	0,002	-
Zinco	Zn	0,002	-
Cobre	Cu	0,0006	-
Molibdênio	Mo	0,00001	-
Níquel	Ni	-	-

Modificada de Salisbury & Ross (1991).



Representación de la "Ley del mínimo de Liebig".



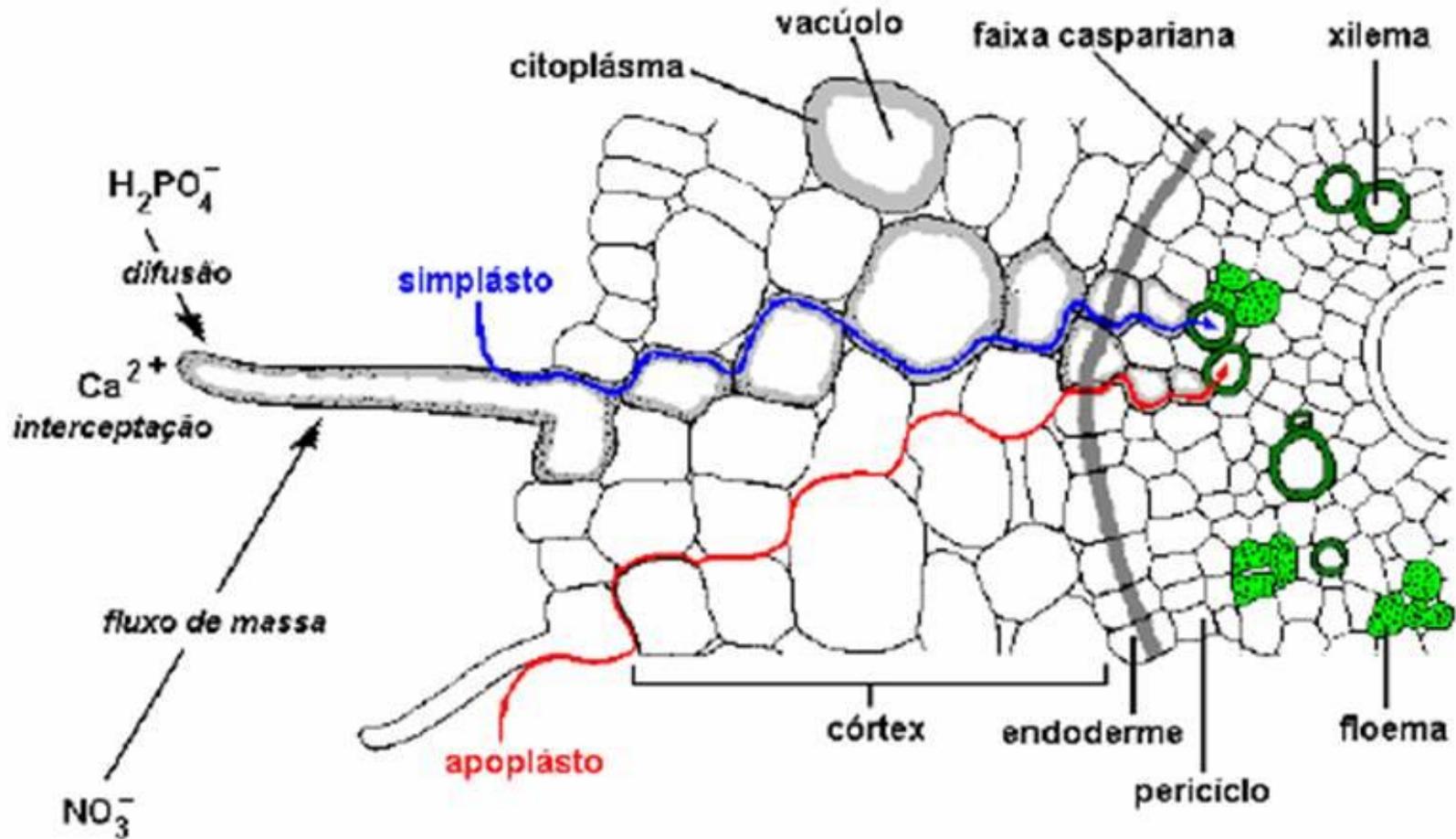
❖ La división entre micro y macronutrientes no tienen correlación con una mayor o menor esencialidad. Todos son igualmente esenciales, sólo que en cantidades diferentes. Una consecuencia de esencialidad por igual de los nutrientes es llamada "Ley del mínimo" de Liebig.

❖ Incluso si aumentamos la concentración de los nutrientes, no habrá un aumento de productividad.

Absorción, Transporte e Redistribución:

El encuentro de los nutrientes con las raíces puede envolver três procesos diferentes:

- **Difusión:** El nutriente entra em contacto con la raíz al pasar de una región de mayor concentración a una de menor junto a la raíz.;
- **Flujo de masa:** El contacto se da cuando el elemento es cargado de um local de mayor potencial de agua para uno de menor potencial de agua junto a la raíz;
- **Interceptación radicular:** E contacto se da cuando se da cuando la raíz crece em contra del elemento.



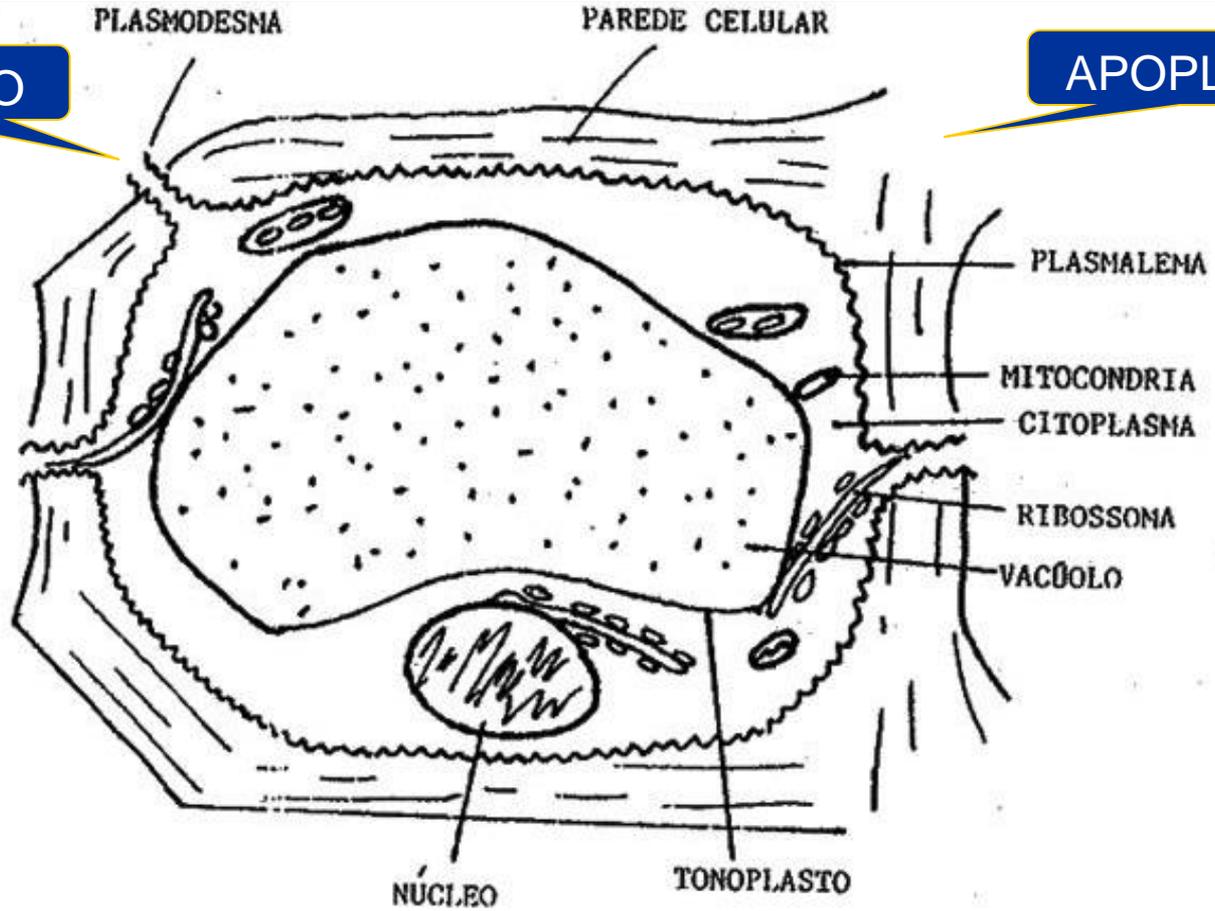
Simplasto (plasmodesmas)

Apoplasto (pared celular y espacios intercelulares).

El nutriente llega hasta la raíz (pelos radiculares) por difusión, interceptación radicular y flujo de masa.

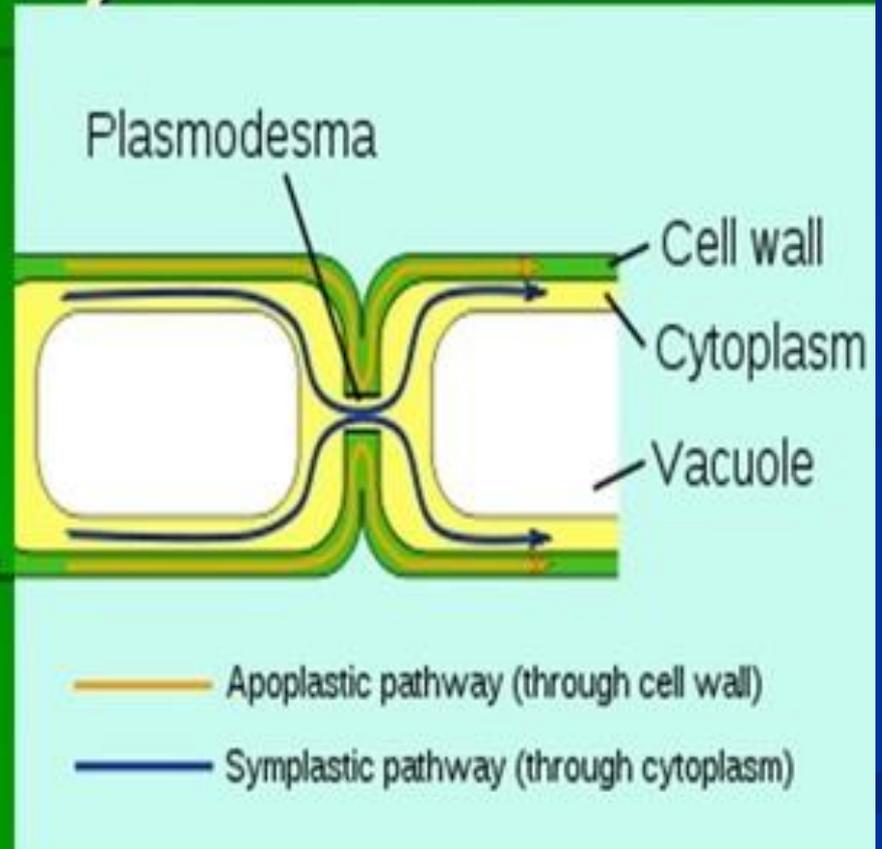
SIMPLASTO

AOPLASTO



Plasmodesmata (plasmodesma)

- Plasmodesmata: small channels that connect the cytoplasm of plant cells to each other, forming a living bridge between cells.
- Each cell is not completely isolated by the cell wall.



La fuerza motriz para ascenso de los elementos:

Transpiración o Gutación

Xilema – Elementos son transportados por flujo de massa, fuerza-motriz es la tensión generada por la transpiración o alternativamente es la presión de la raíz durante el proceso de gutación.

Como la fuerza motriz normalmente es la transpiración, los nutrientes tienden a acumularse en los organos que transpiran mas, como las hojas maduras.

Para corregir esto, los vegetales redistribuyen los nutrientes de um organo a outro a través del floema.

Source and drain

Esa redistribución depende de la movilidad del nutriente.

Transporte y Redistribución

■ TRANSPORTE

- Radial
- Larga distancia

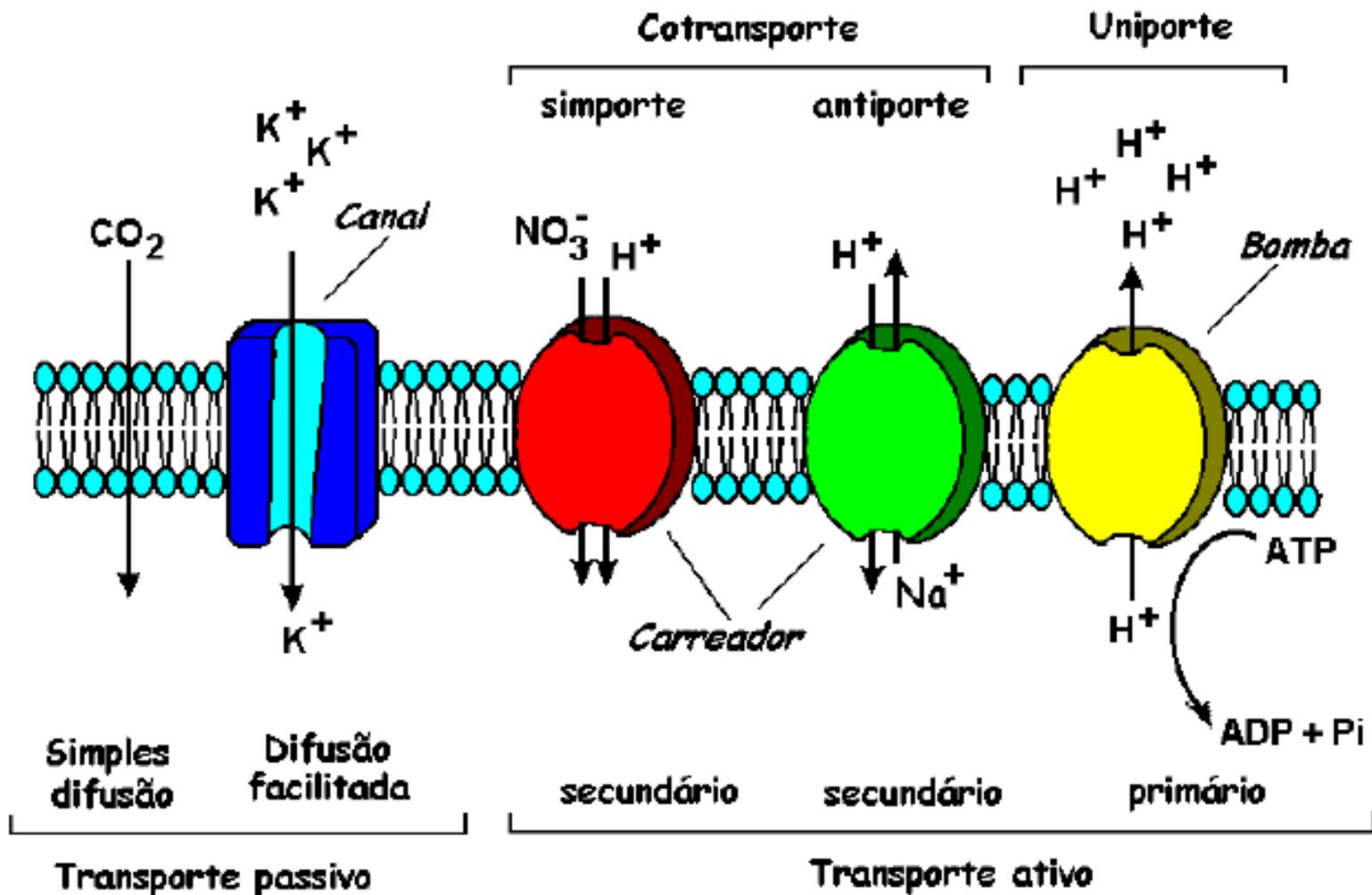
■ REDISTRIBUCIÓN

Nutrientes	Redistribuição	Sintomas Visuais de Deficiência Ocorre:
N, P, K e Mg	Móveis	folhas velhas
S, Cu, Fe, Mn, Zn e Mo	pouco móveis	folhas novas
B e Ca	Imóveis	folhas novas e meristemas

EXIGENCIAS NUTRICIONALES Y EXPORTACIÓN DE NUTRIENTES

→ EXIGENCIAS:

- MACROS: $N > K > Ca > Mg > P = S$
- MICROS: $Fe > Mn > Zn > Cu > B > Mo$



Transporte:

Passivo =
Canais

Ativo =
Carreadores
e Bombas

FIGURA 9. Resumo dos tipos de transporte e da atividade dos carreadores, canais e bombas. Substâncias apolares (CO₂) permeiam a membrana livremente. Como a célula vegetal possui um potencial transmembrana negativo, cátions (K⁺) podem ser transportados por canais, mas os ânions (NO₃⁻) precisam ser transportados por carreadores. O transporte com carreadores utiliza a energia que foi gasta anteriormente pela bomba para criar um gradiente de prótons. Do mesmo modo, a saída de cátions (Na⁺) da célula também precisa ser realizada com gasto de energia pelos carreadores. Modificado de Taiz & Zeiger (1998).

Factores que afectan la absorción de nutrientes por las plantas

ABIOTICOS

- 1) Concentración
- 2) Disponibilidad de nutriente (efecto de pH)
- 3) Disponibilidad de agua en el suelo
- 4) Conductividad de los nutrientes en el suelo (cargas, adsorción, etc)

BIOTICOS (GÉNÉTICA)

- 1) Crecimiento radicular
- 2) Selectividad de las membranas
- 3) Capacidad de interacción con microorganismos en el suelo (micorrizas, N)

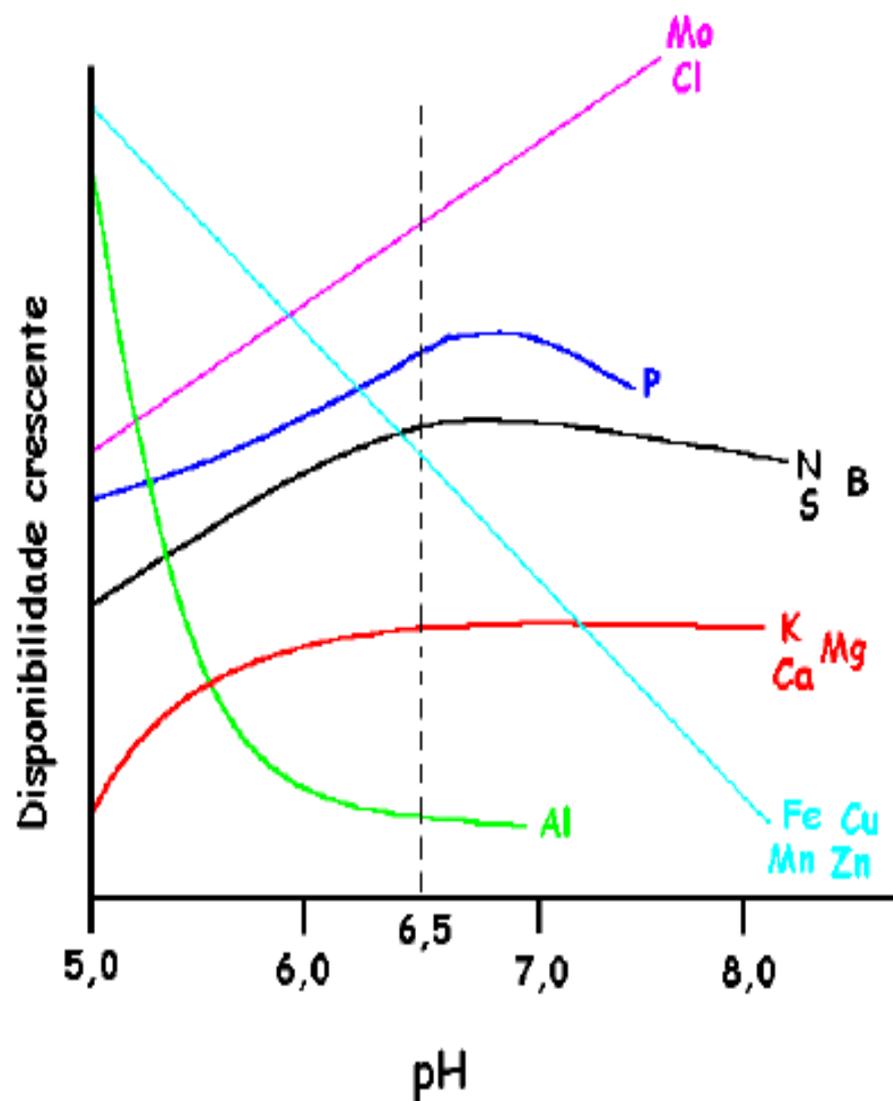
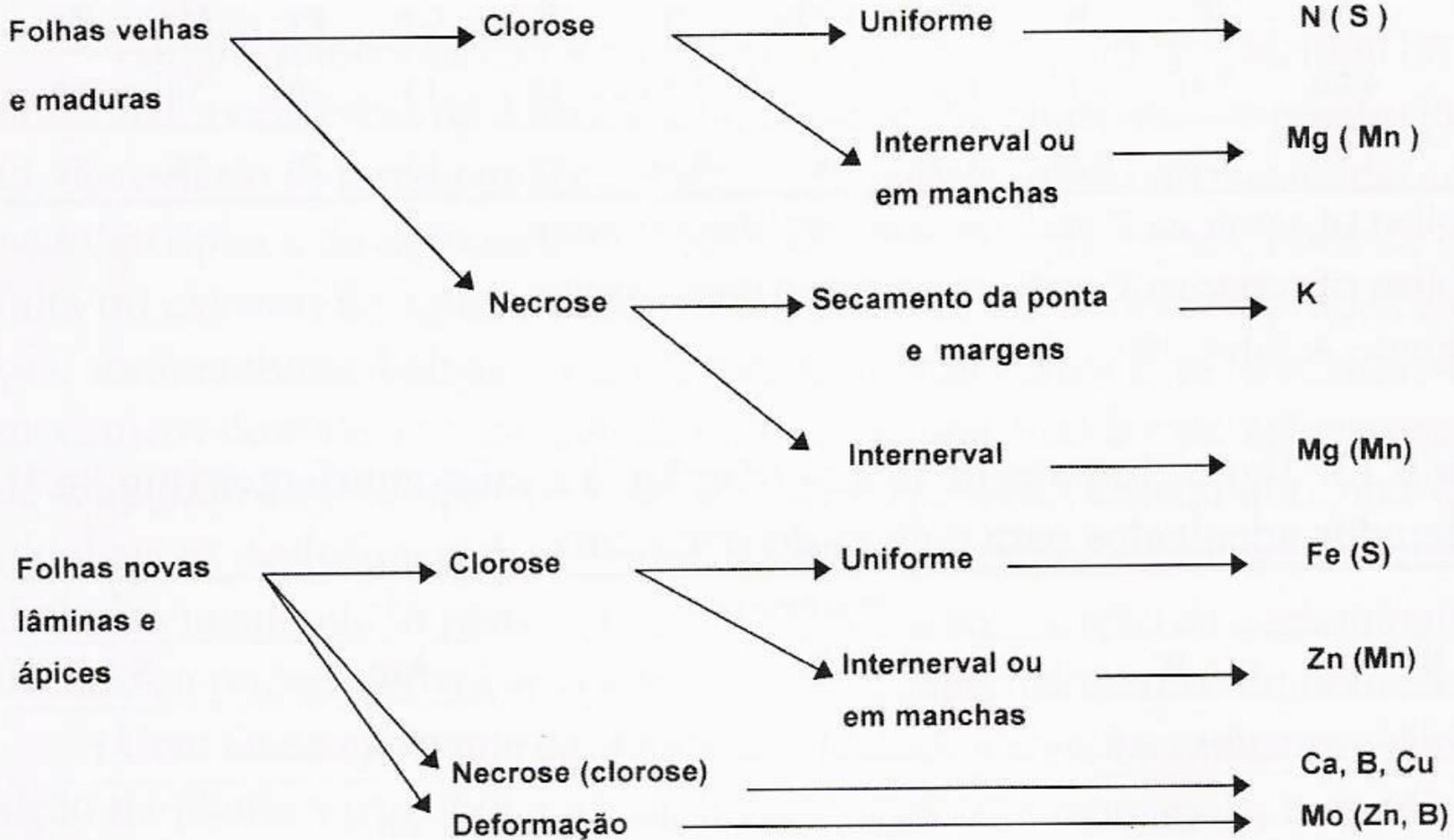


FIGURA 12: Relação entre o pH do solo e a disponibilidade de diversos nutrientes. Adaptado de Malavolta et al. (1989).

ELEMENTO	FORMA ABSORÇÃO	FUNÇÃO	SINTOMA
NITROGÊNIO	NO_3	PTN; AAS; CLOROFILAS	AMARELECIMENTO
FÓSFORO	HPO_4 ; H_2PO_4	ATP; NADP	COLORAÇÃO VERDE ESCURO OU BRONZE VIOLETA NAS FOLHAS VELHAS
POTÁSSIO	K^+	ABERTURA E FECHAMENTO DE ESTÔMATOS	NECROSE MARGEM DAS FOLHAS MAIS VELHAS
CÁLCIO	Ca^{2+}	ATIVAÇÃO ENZIMÁTICA; PAREDE CELULAR	CLOROSE NAS MARGENS DE FOLHAS JOVENS E MORTE DA GEMA APICAL
MAGNÉSIO	Mg^{2+}	CLOROFILA	CLOROSE ENTRE AS NERVURAS
ENXOFRE	SO_4 (SOLO) SO_2 (AR)	CISTEINA; MET.SECUNDARIOS	CLOROSE DESDE A NERVURA CENTRAL ATÉ O MEIO DO LIMBO FOLIAR
BORO	HBO_3 ; H_2BO_3	TRANSPORTE DE CARBOIDRATOS; ATIVAÇÃO DE REGULADORES DE CRESCIMENTO	MORTE DA GEMAS APICAIS
ZINCO	Zn^{2+}	ATIVADOR DE ENZIMAS; BIOSÍNTESE DE AIA E CLOROFILAS	FOLHAS PEQUENAS E IRREGULARES
FERRO	Fe^{2+} e QUELATOS	ATIVADOR DE ENZIMAS, TRANSPORTADOR DE ELÉTRONS E SÍNTESE DE CLOROFILA	FOLHA VERDE CLARO COM NERVURA VERDE ESCURA
MANGANÊS	Mn^{2+} e QUELATOS	FOTOSSÍNTESE, METABOLISMO DOS ÁCIDOS ORGÂNICOS	FOLHAS JOVENS COM REGIÕES INTERNERVAIS VERDE CLARA COM PONTUAÇÕES AMARELAS
COBRE	Cu^{2+} e QUELATOS	METABOLISMO DO N;C E DE COMPOSTOS SECUNDÁRIOS	FOLHAS NOVAS CURVAM-SE PARA CIMA EM "S"
MOLIBDÊNIO	MoO_4^{2-}	REDUTASE DO NITRATO, NITROGENASE	MANCHAS VERDES AMARELADAS
CORO	Cl^-	ATUA NA FOTOSSÍNTESE ATIVANDO ENZIMAS	ENROLAMENTO DAS FOLHAS

Parte da planta	Diagnose Visual	Desordem nutricional
-----------------	-----------------	----------------------



Principios para diagnósticos visuales de desordenes nutricionales

(Alvarenga et al, 2004).

FUNCIONES DE LOS NUTRIENTES

a) **ESTRUCTURAL** → COMPONENTE DE COMPUESTOS

- N – a.a.; proteínas
- Mg – clorofila

b) **CONSTITUYENTE DE ENZIMAS (COFATOR)**

- Grupo prostético => Mo – Reductasa del Nitrato
=> Fe – Citocromos

c) **ACTIVADOR ENZIMÁTICO**

- Cofactor metálico => Mg^{2+} ; K^{+} ; Mn^{2+} ; Zn^{2+}
- Coenzimas => NAD; NADP (reacciones de oxi-redução)

FÓSFORO

■ P en el suelo

- + limitante y + aplicado en las fertilizaciones
- fuerte reacción con Fe, Al y óxidos

■ P en la planta

- ABSORCIÓN: H_2PO_4^-

- FORMAS EN LA PLANTA:

- P inorgánico: H_2PO_4^- (> nas folhas)

- P orgánico: membranas, DNA/RNA, ATP

■ **FUNCIONES DEL FÓSFORO**

■ **ESTRUCTURAL**

- **Fosfolipídeos (membranas celulares)**
- **Ácidos nucleicos (DNA e RNA)**
- **Compuestos ricos energía (ATP)**
- **Procesos exigen ATP:**
 - **síntese almidón, proteínas, lipídeos**
 - **fotosíntesis (fijación de CO₂)**
 - **Absorción iónica**

SINTOMAS DEFICIÊNCIA DE P

- **MÓVEL - folhas velhas**
 - **Arroxejamento; amarelecimento; verde escuro**
 - **Plantas pequenas**



planta con deficiencia de fósforo

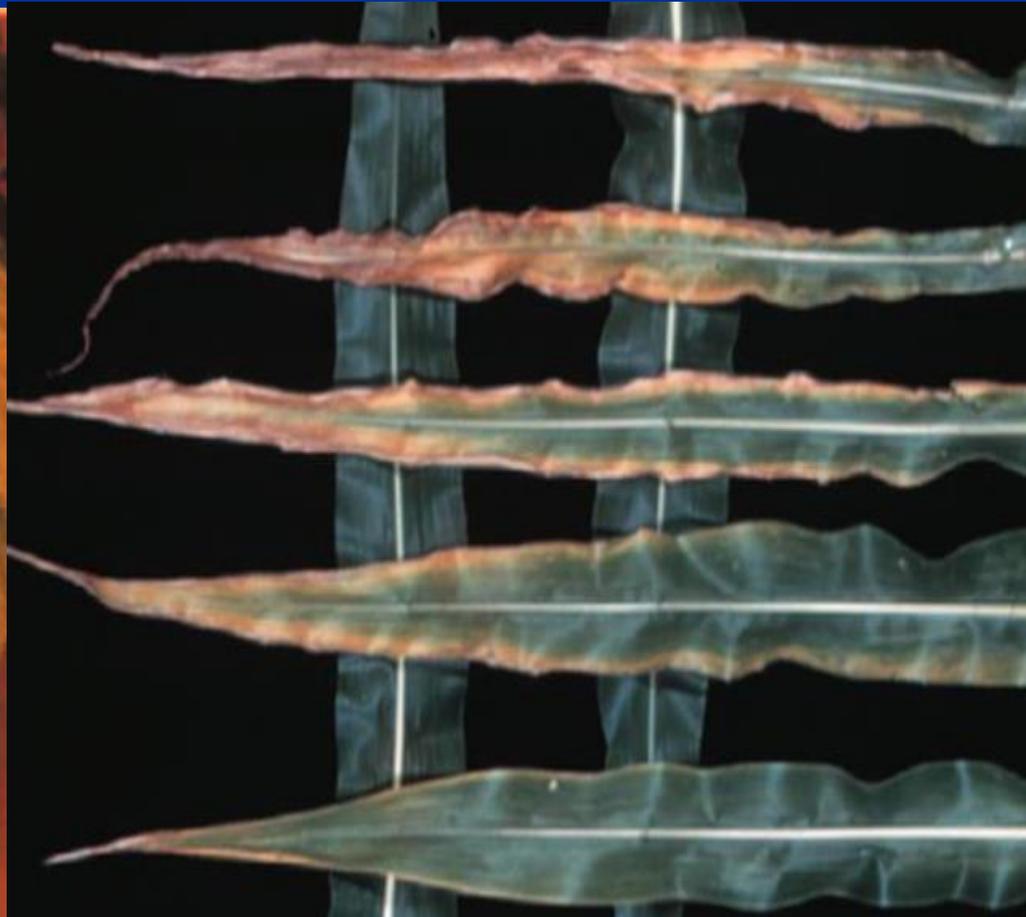


POTÁSSIO

- **ABSORCIÓN: K⁺**
- **FUNCIONES DEL K:**
 - **Activa + de 50 enzimas:** (Respiración, Síntesis de almidón, Síntesis de proteínas, ATPases de membrana)
 - **Regulação osmótica da planta**
 - **uso da água: > tolerância a sequias y heladas**
 - **Abertura y cerramiento de estomas**
 - **Transporte de carbohidratos**
 - **Calidad de productos:**
 - **Color, sabor, contenido de proteínas, azúcares.**

SINTOMAS DE DEFICIENCIA DE K:

- Móvil: hojas maduras
- Clorosis y necrosis en los bordes



planta com deficiencia de Potasio



CALCIO

- **ABSORCIÓN: Ca^{2+}**
- **FORMAS DE Ca en la PLANTA:**
 - Pectatos de Ca (paredes celulares)
 - Sales: Oxalato, fosfato, carbonato
- **FUNCIONES DEL Ca:**
 - Membranas celulares (puentes)
 - Pared celular (componente)
 - Germinación polen y cresc. tubo polínico
 - Activa pocas enzimas

SINTOMAS DEFICIENCIA DE Ca

- **INMOVIL:** Hojas nuevas y mersistemas
- Deformación hojas nuevas, clorosis em los bordes
- Algunas especies: sintoma en los frutos
 - pudrición apical - tomate, pimiento....



planta com deficiência de Cálcio



MAGNESIO

- **ABSORCIÓN:** Mg^{2+}
- **FUNCIONES DEL Mg:**
 - **Estructural:** componente de la clorofila
 - **Activador enzimas (+ ativa)**
 - **Cofactor enzimas fosforilativas (ATP)**

SINTOMAS DE DEFICIÊNCIA DE Mg

- Movil – Hojas viejas
- Clorosis entre las nervaduras



planta com deficiência de magnésio



AZUFRE

- **ABSORCIÓN: SO_4^{2-}**
- **FUNCIONES DEL AZUFRE**
- **Estrutural:**
 - **Componente de a.a.; proteínas, enzimas**
 - **Ligação dissulfeto (-S - S-)**
- **Metabólico:**
 - **Grupo sulfidrilo (-SH) = ativa enzimas**
- **Compostos voláteis**
 - **Alho, cebola, mostarda**

SINTOMAS DE DEFICIENCIA DE AZUFRE

- Poco móvil
- Clorosis general en hojas nuevas



Planta com deficiência de enxofre



BORO

- **EXIGENCIA** : DI (girassol, $> 30 \mu\text{g g}^{-1}$) $>$ MONO (trigo, $3 - 5 \mu\text{g g}^{-1}$)
- **ABSORÇÃO**: H_3BO_3
- **TRANSPORTE**: unidirecional xilema
- **REDISTRIBUIÇÃO**: **Inmóvil** (consecuencias):
 - deficiência hojas nuevas y meristemas
 - aplicación constante
 - fertilización vía suelo

■ **FUNCIONES DEL BORO**

No atende um critério de essencialidad

- **Pared y membrana celular, crecimiento celular**

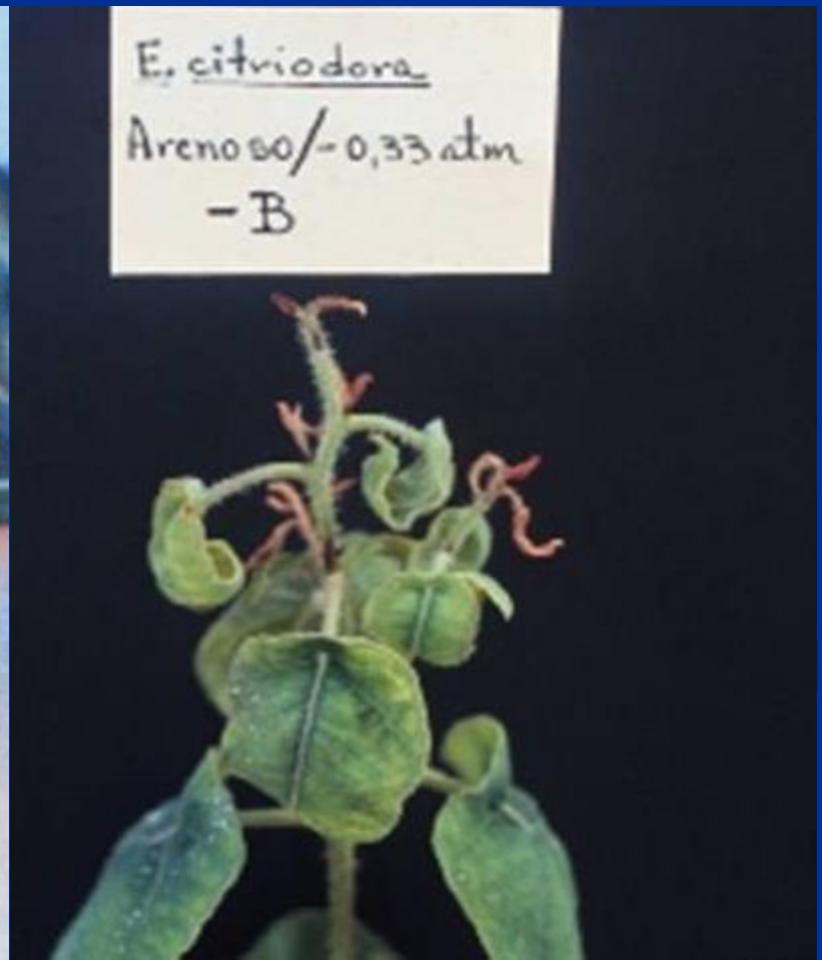
- **SÍNTESIS DE ÁCIDOS NUCLÉICOS**

• **Uracila – componete RNA**

■ DEFICIENCIA DE BORO



E. citriodora
Arenoso/- 0,33 atm
- B



Planta com deficiência de boro

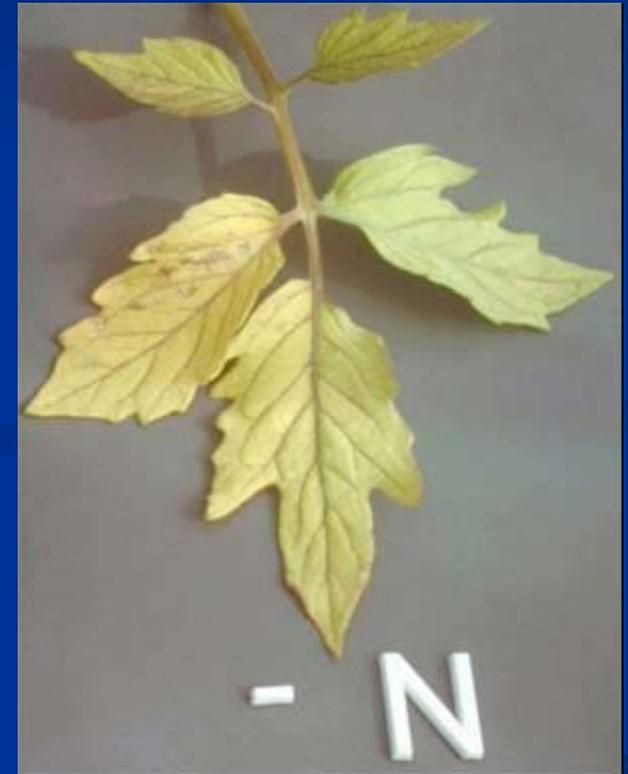


METABOLISMO DO NITROGÊNIO

SINTOMAS DE DEFICIENCIA DE NITROGENO

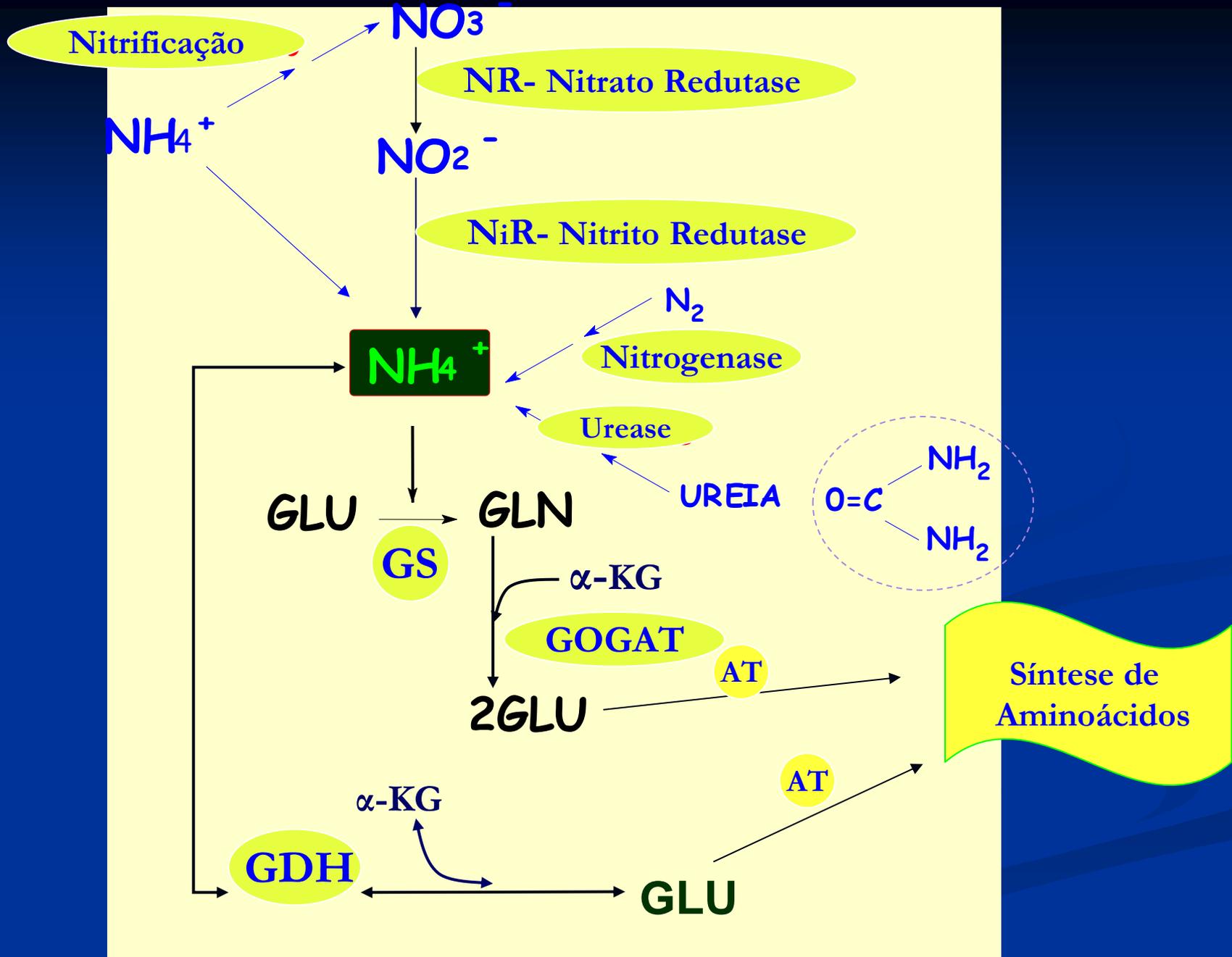
■ **MOVIL** => **HOJAS MADURAS**

COLORSIS GENERALIZADA EN EL LIMBO FOLIAR



planta com deficiência de Nitrogênio





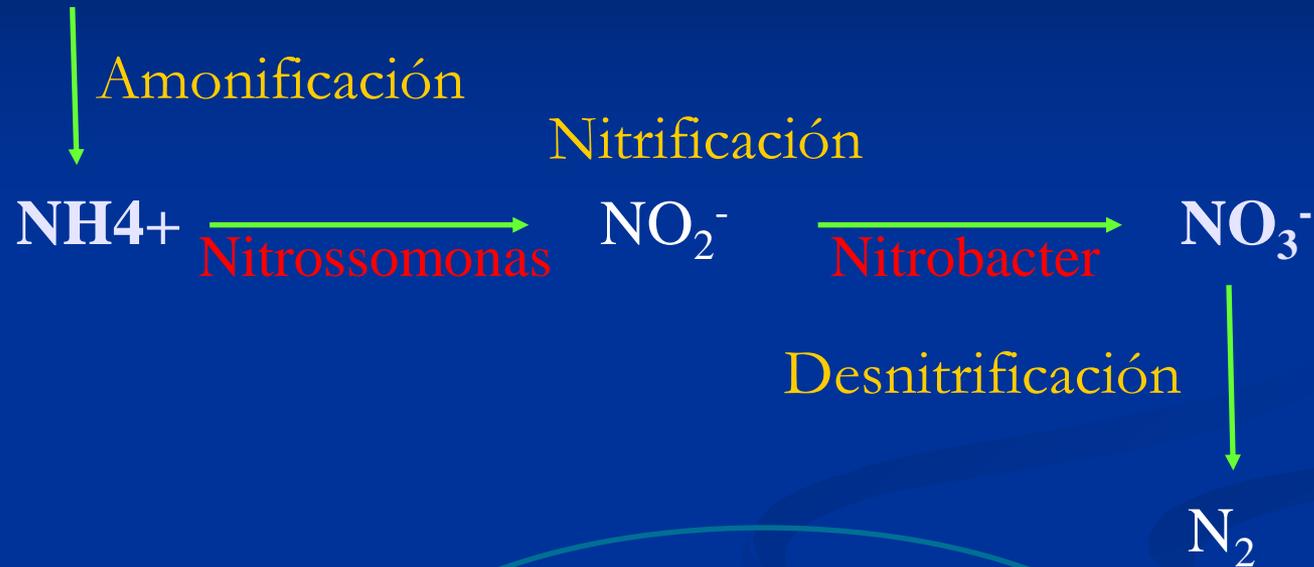
NITROGENASE: COMPLEJO ENZIMÁTICO FIJADOR DO N₂

,

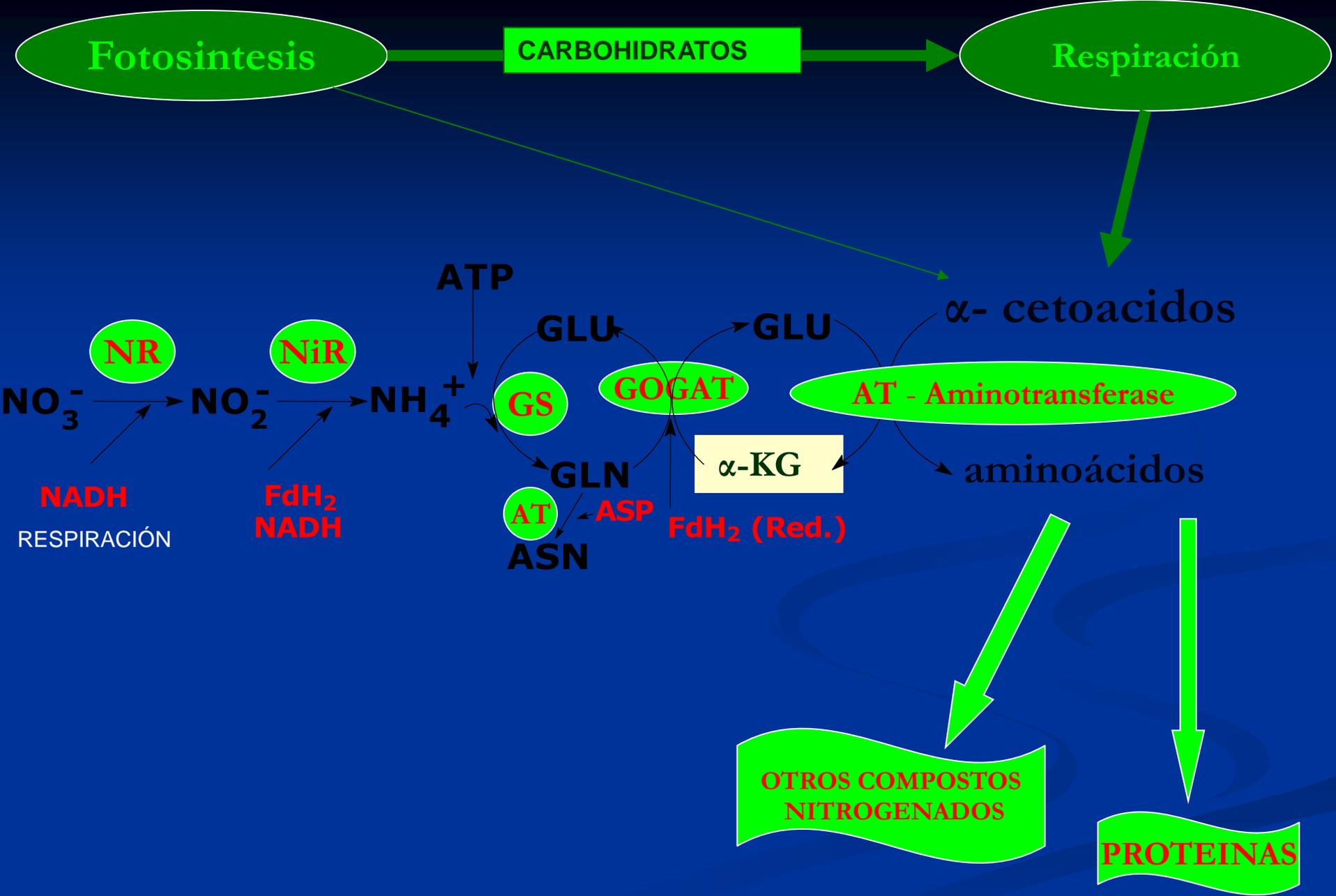


CICLO DO NITROGENO

N orgánico (proteínas, a.a.)



Plantas absorvem: NO_3^- : ânion sale OH^-
 NH_4^+ : cátion sale H^+



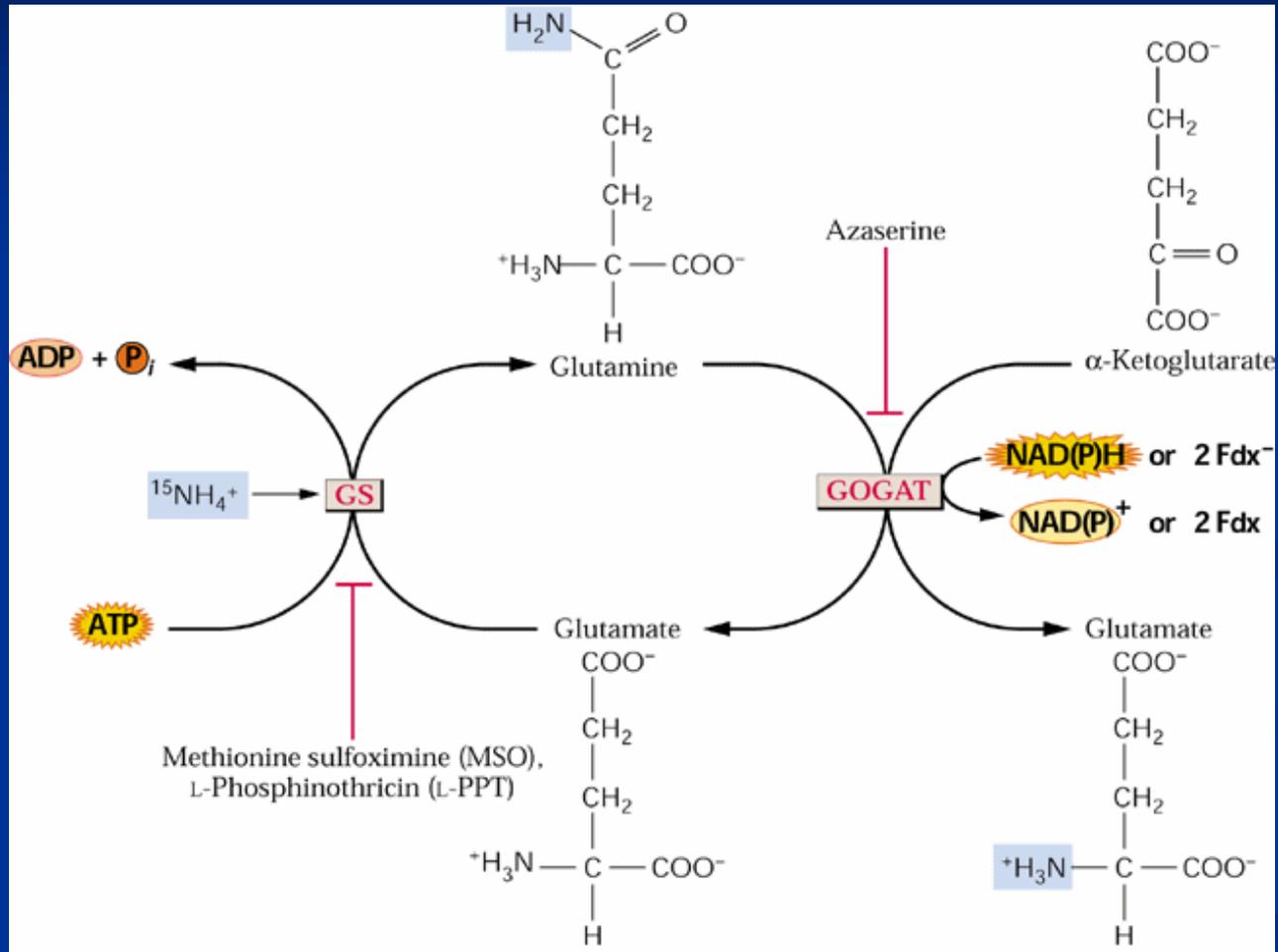
Reducción del nitrato



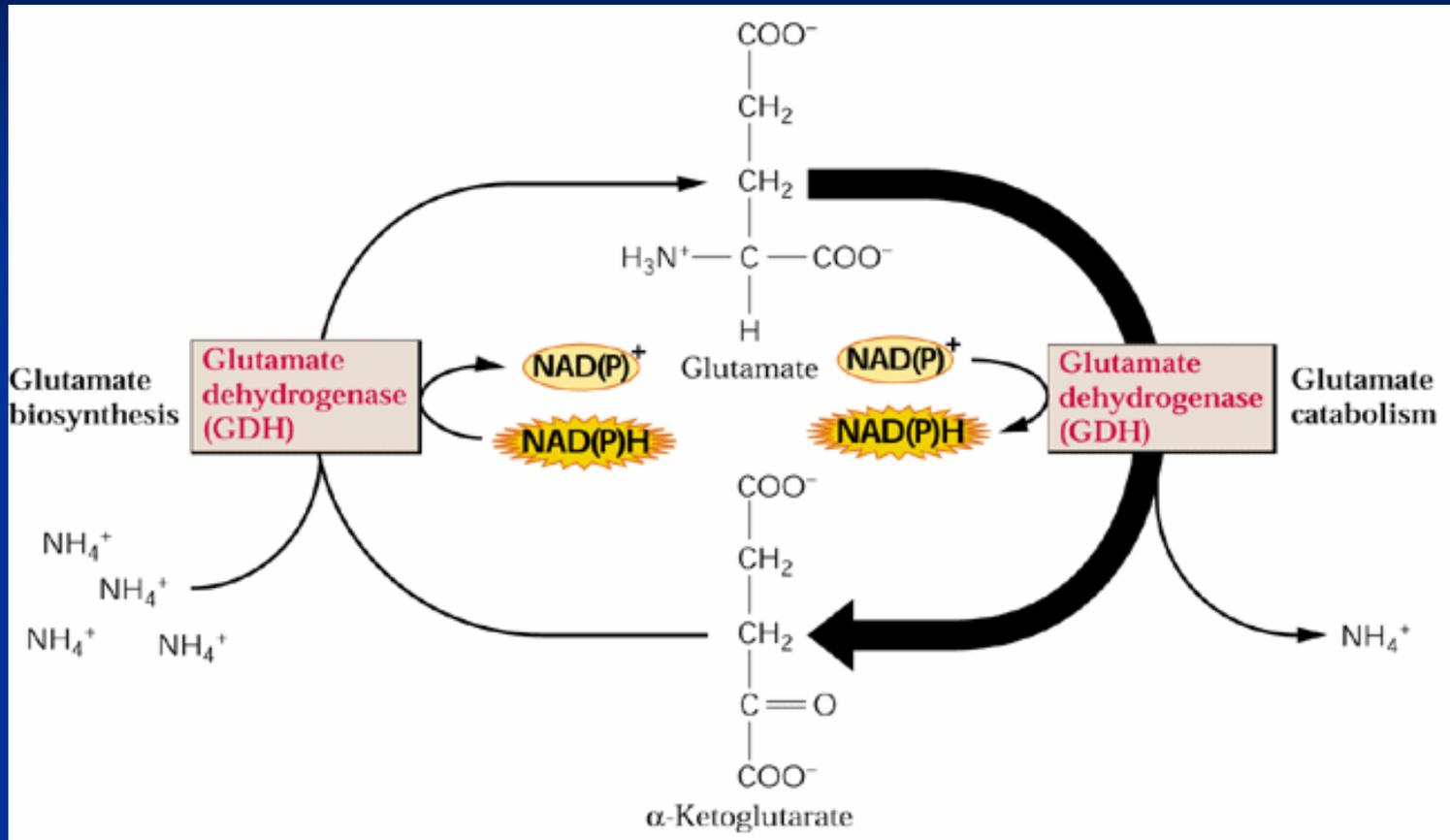
Reducción del nitrito



Reacciones catalisadas por las enzimas GS e GOGAT

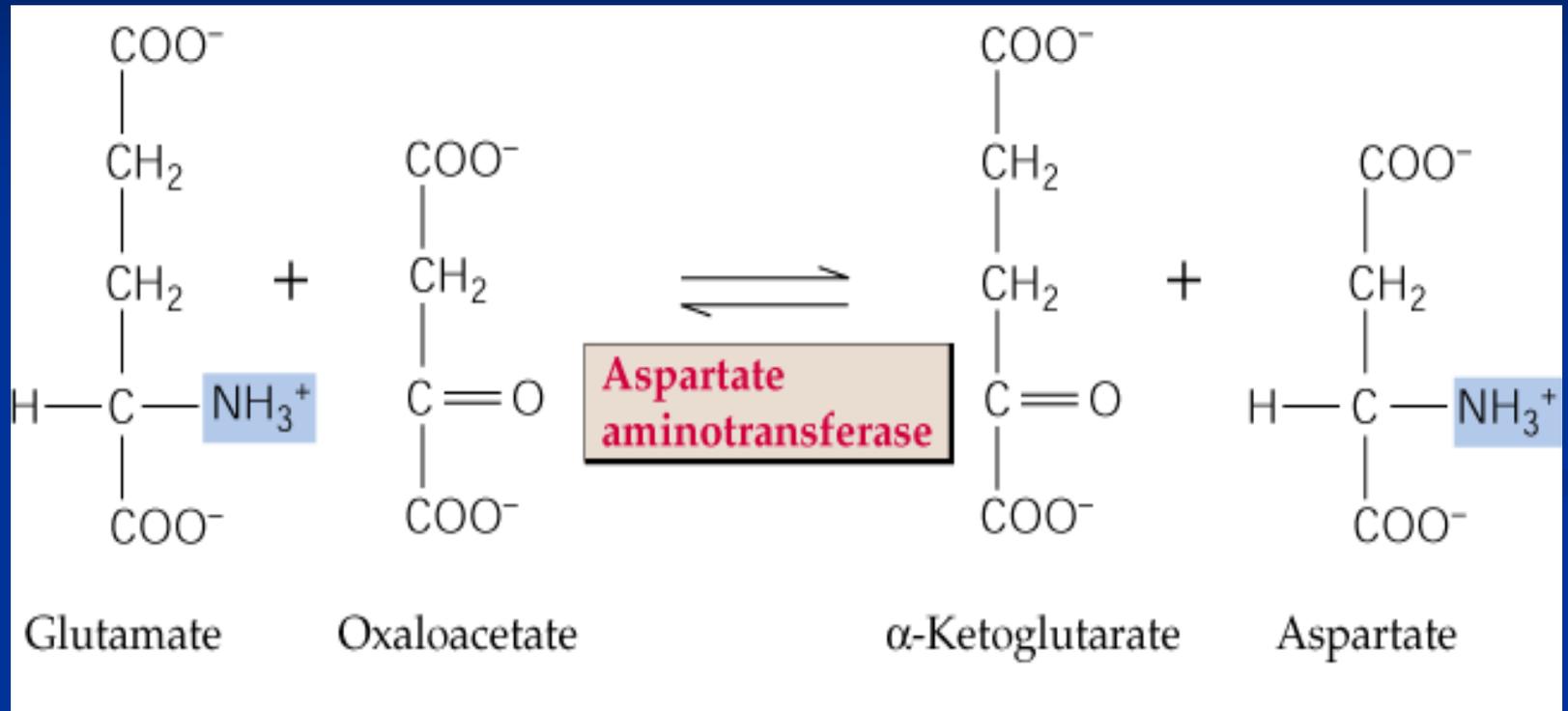


Rota alternativa de assimilação do amônio

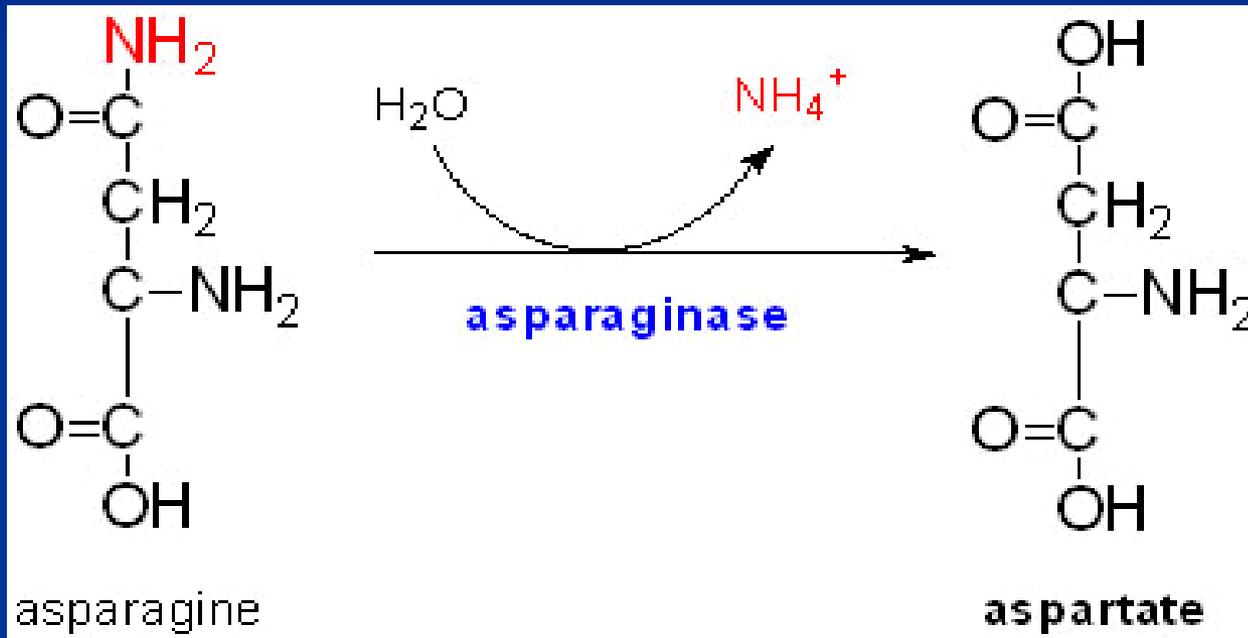


BUCHANAN , 2000

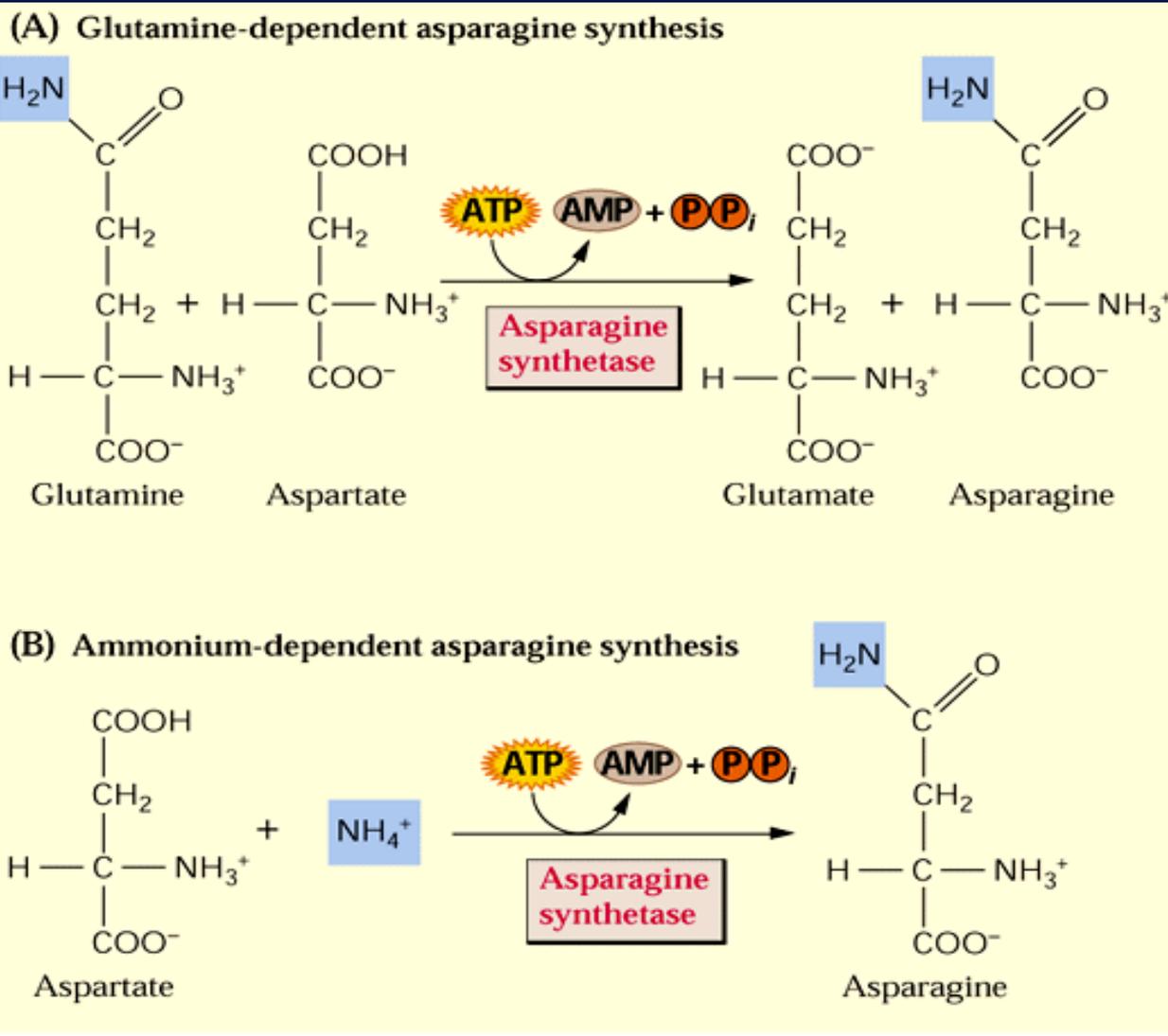
Transferencia de N via reacciones de transaminación



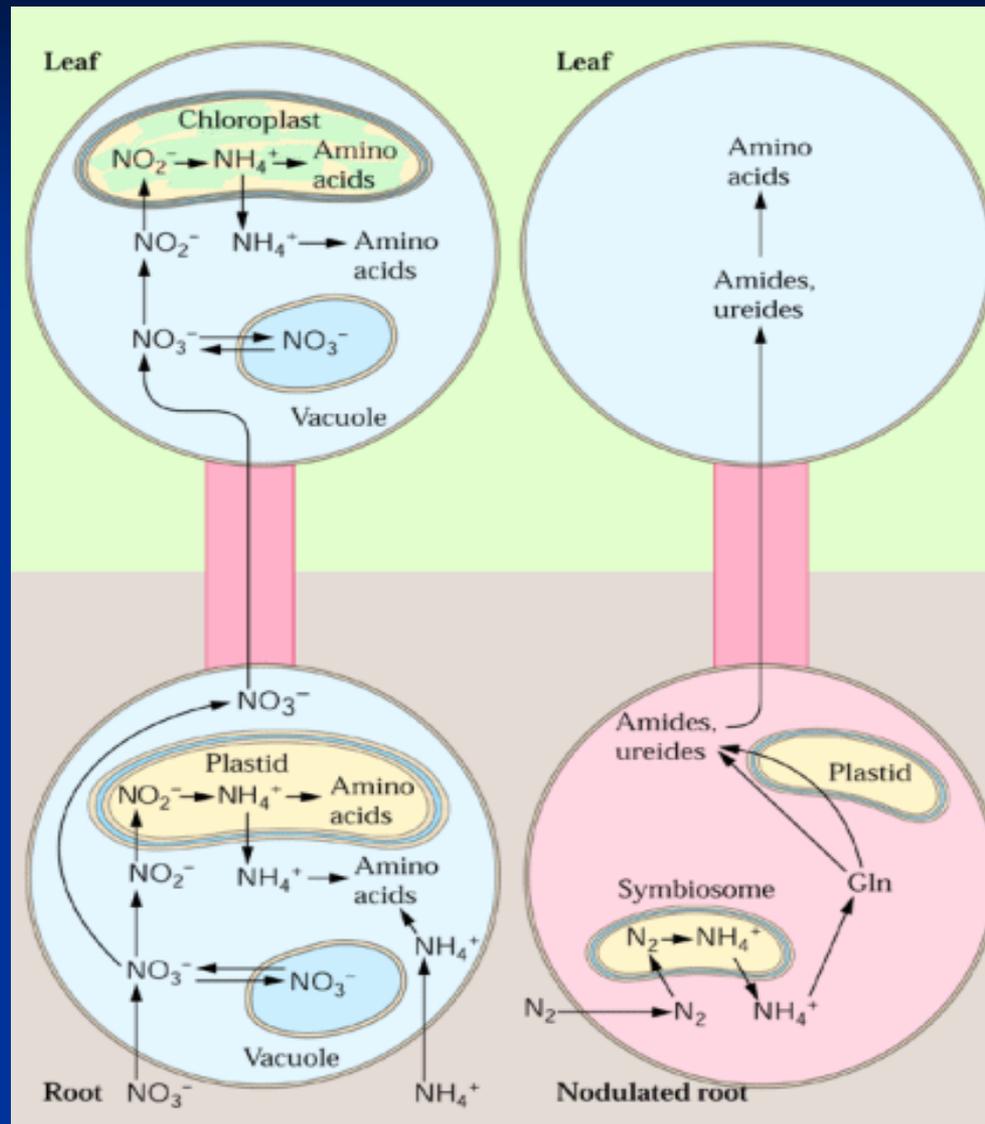
ASPARAGINASE



Reacciones catalizadas por las isoformas de la asparagina sintetasa



Formas de transporte de N em plantas





SEMINARIO TALLER

MANEJO INTEGRADO DEL

Cultivo de CACAO

Temas :

Agronomía, fisiología, metabolismo
nutricional y post cosecha.

Compuestos fenólicos (flavanoles,
flavonoles, antocianinas) y los
beneficios en la salud humana.



26 de Julio
10am - 18pm

Cupos limitados

Costo:

Estudiantes: \$ 30

Productores: \$30

Profesionales: \$ 60

10% de descuento
hasta el 20 de julio

Facilitador

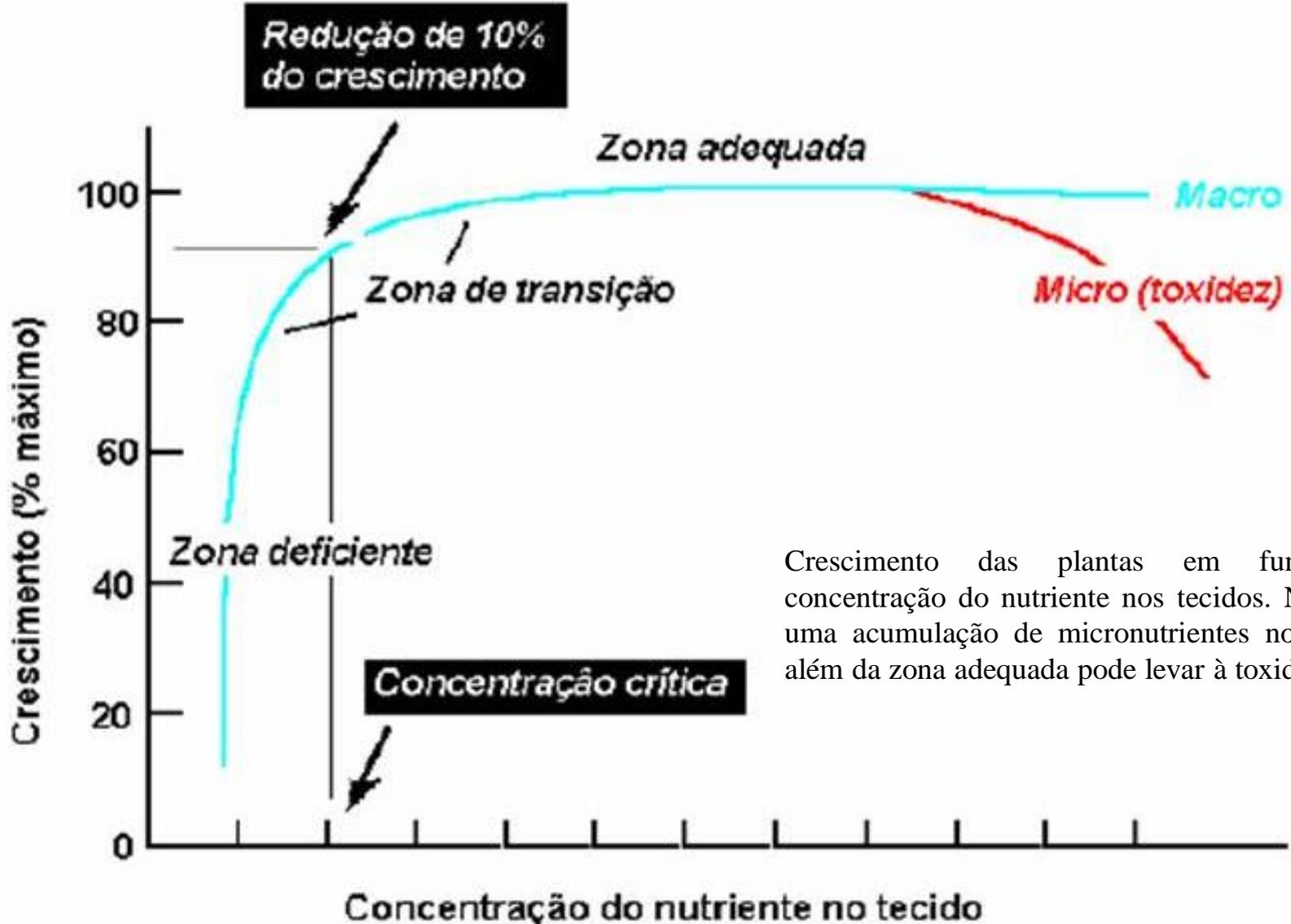
Alexis F. Matute

Ingeniero en Horticultura y
Fruticultura, M. Sc. en Fisiología Vegetal
y PhD (c) en Bioquímica y Biología Molecular
por la Universidad de Lieja- Bélgica
e-mail : alexismatute10@gmail.com



+32490190025

GRACIAS



Crescimento das plantas em função da concentração do nutriente nos tecidos. Notar que uma acumulação de micronutrientes nos tecidos além da zona adequada pode levar à toxidez.

Enquanto a planta possui deficiência de um certo nutriente (zona deficiente), há um crescimento exponencial proporcional à quantidade do nutriente presente nos tecidos (nutriente absorvido). Contudo, depois de um certo tempo o crescimento tende a desacelerar (zona de transição) e pode ficar estagnado (zona adequada). No caso de macronutrientes, a zona adequada corresponde a uma sobra de nutriente absorvido, o qual pode se acumular no vacúolo sem provocar resposta no crescimento. No caso de micronutrientes, essa sobra pode provocar toxidez nos tecidos e reduzir o crescimento da planta.

- **Conseqüências da absorção inadequada de nutrientes do solo**

1. Falta → sintomas de deficiência nutricional
2. Excesso → toxidez

- **Deficiência nutricional** → “Suprimento inadequado de um elemento essencial resulta em um distúrbio nutricional que se manifesta por **sintomas de deficiência nutricional** característicos”



Relacionado com as funções dos nutrientes no metabolismo e no funcionamento das plantas

- ✓ A maioria dos sintomas observados são relacionados com a parte aérea;
- ✓ A maioria dos elementos essenciais tem múltiplas funções no metabolismo vegetal;



- ✓ Fatores que influenciam nos sintomas de deficiência:

- **Específicos:**

1. Espécie;
2. Grau de deficiência do nutriente;
3. Fase de desenvolvimento;
4. Múltipla deficiência nutricional
5. Doenças → podem induzir sintomas semelhantes às deficiências nutricionais

- **Genéricos:**

- Função do nutriente mineral;
- Mobilidade do nutriente na planta



Relacionado com a reciclagem interna de nutrientes na planta