



Manejo de fuentes de nitrógeno para una mayor productividad y fitosanidad en el cultivo

Dr. Joel Pineda Pineda
Departamento de Suelos, UACH
jpinedap@chapingo.mx



LAS SUSTANCIAS PARA LA NUTRICIÓN VEGETAL

1. NUTRIMENTOS ESENCIALES

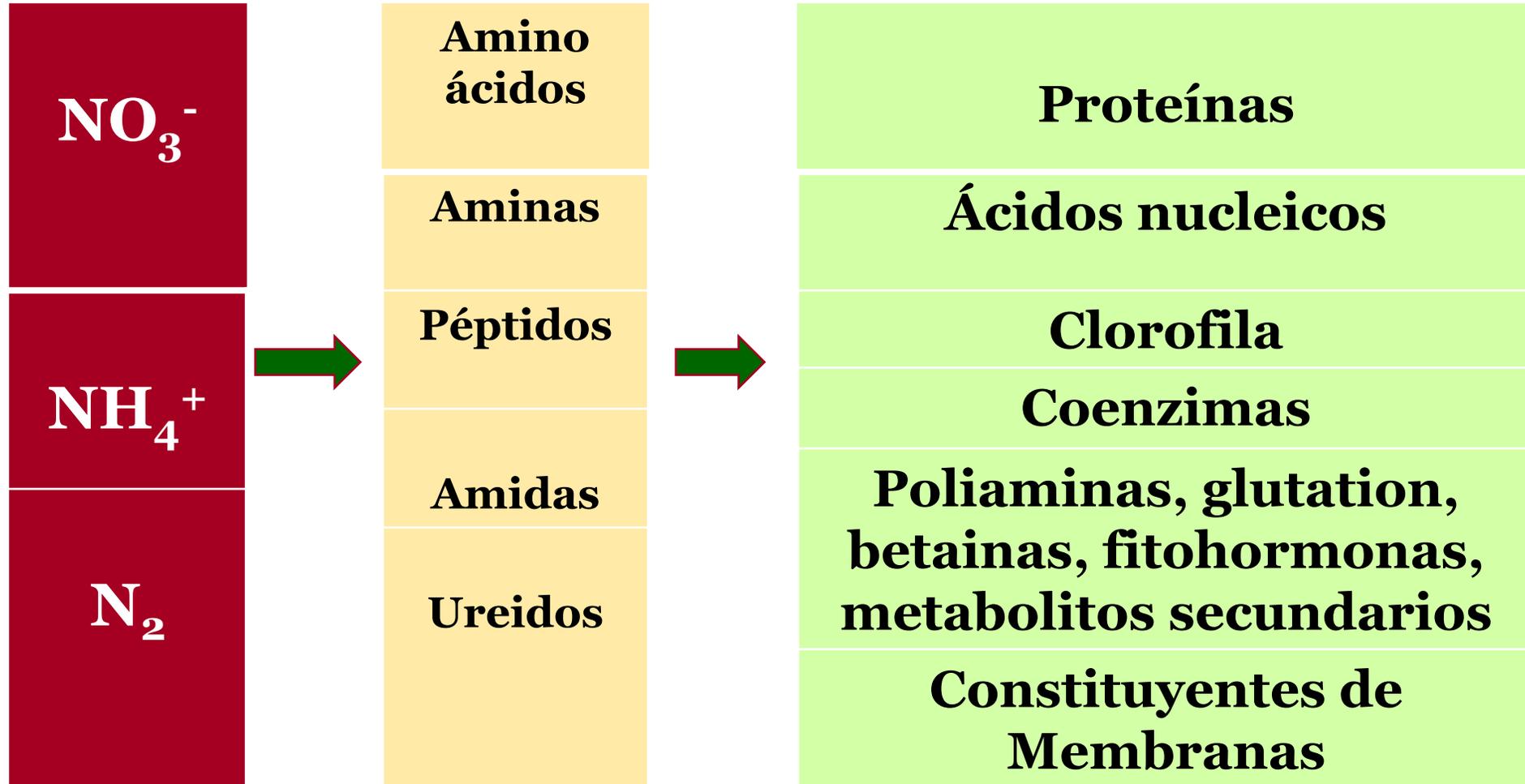
(C, O, H, N, K, P, Ca Mg, S, Cl, Fe, Mn, Zn, B, Cu, Mo, Ni).

2. ELEMENTOS BENEFICOS (Si, Se, Co,...Na, Ti, La, Ce)

3. SUSTANCIAS ORGÁNICAS FISIOLÓGICAMENTE

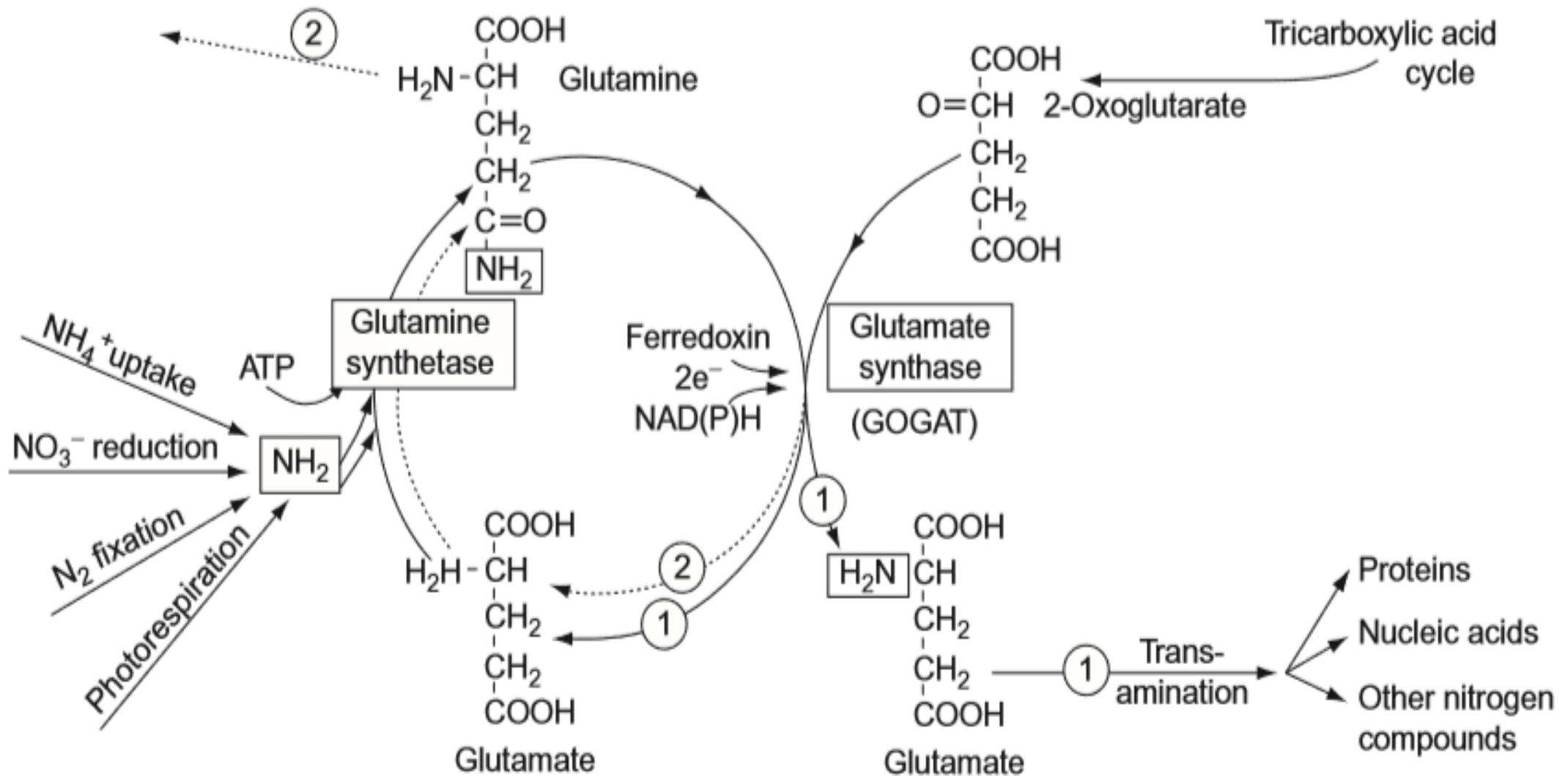
ACTIVAS (Aminoácidos, sustancias húmicas, azúcares, vitaminas, reguladores del crecimiento,...,)

Compuestos de N en plantas



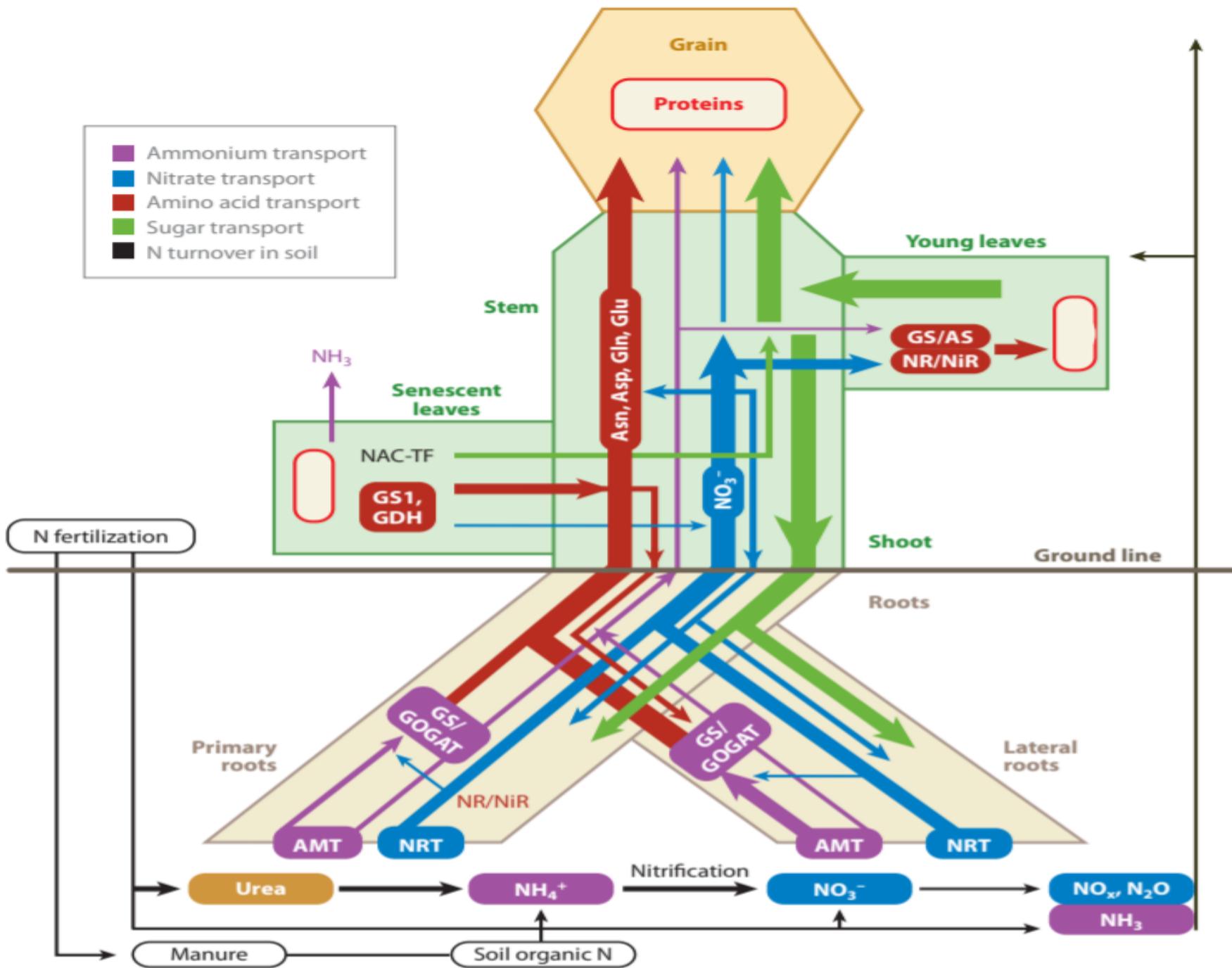
Principales Funciones del N

- **Constituye de 2 – 4 % de la m.s, nutrimento móvil en la planta**
- **Parte esencial de las proteínas (estructurales y enzimas) (80%)**
- **Esencial en síntesis de ácidos nucleicos (código genético) (10%)**
- **Parte estructural de las clorofilas**
- **Importante en la formación de coenzimas**
- **Importante en formación de glutatión, betaínas, poliaminas y fitohormonas**
- **Promueve color verde, crecimiento rápido de hojas y tallos**
- **Incrementa contenido de proteínas en granos y semillas**
- **En deficiencia de N, las proteínas de cloroplasto son las primeras en degradarse**
- **El exceso incrementa susceptibilidad a plagas y enfermedades**



Modelo de asimilación de amonio via ciclo de la glutamina synthetasa-glutamato synthasa. Ruta de bajo (1) y alto (2) suministro de amonio

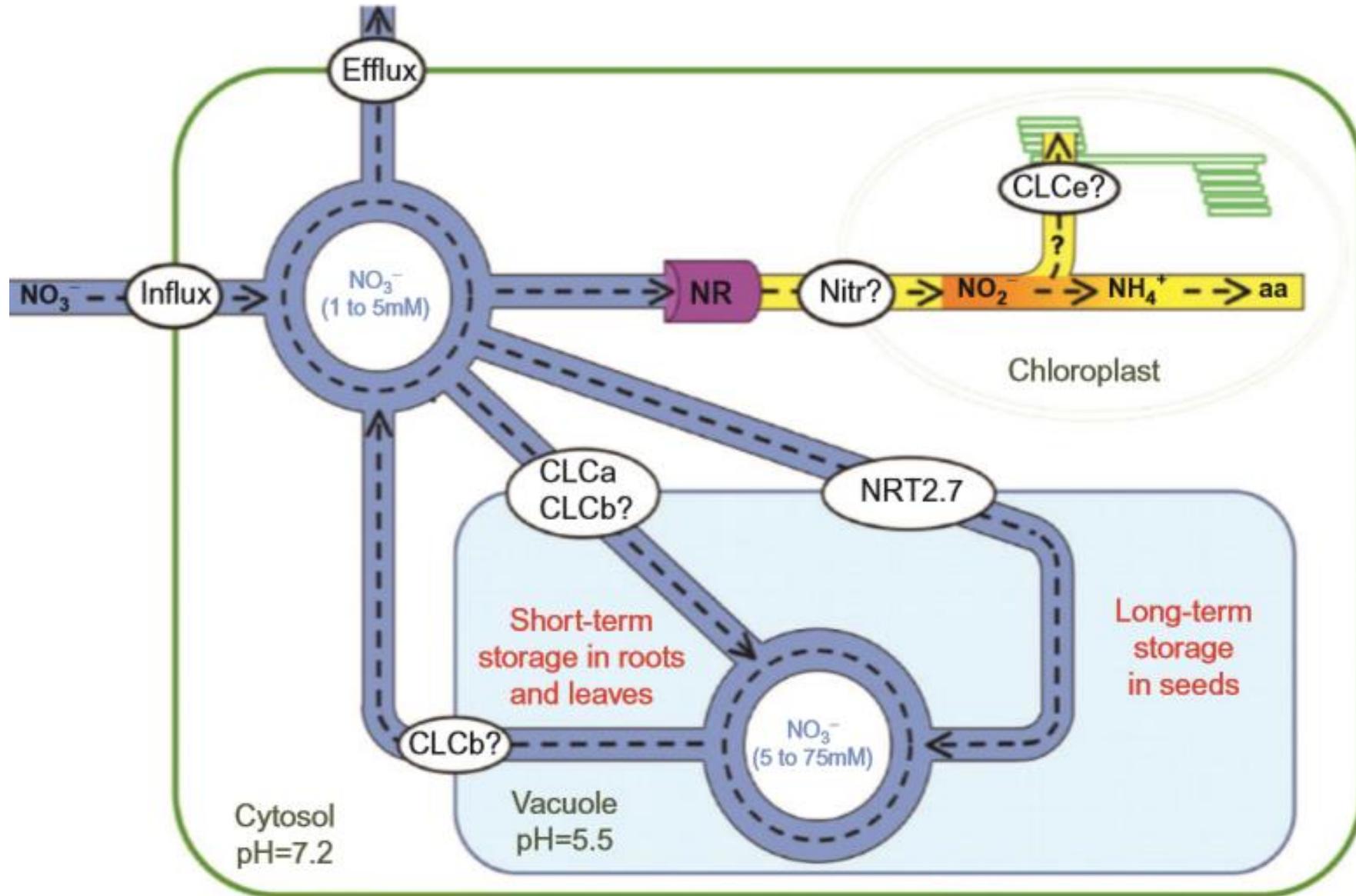
Absorción, transporte, asimilación y re-movilización de N en la planta



El espesor de las líneas representa la cantidad relativa de cada compuesto.

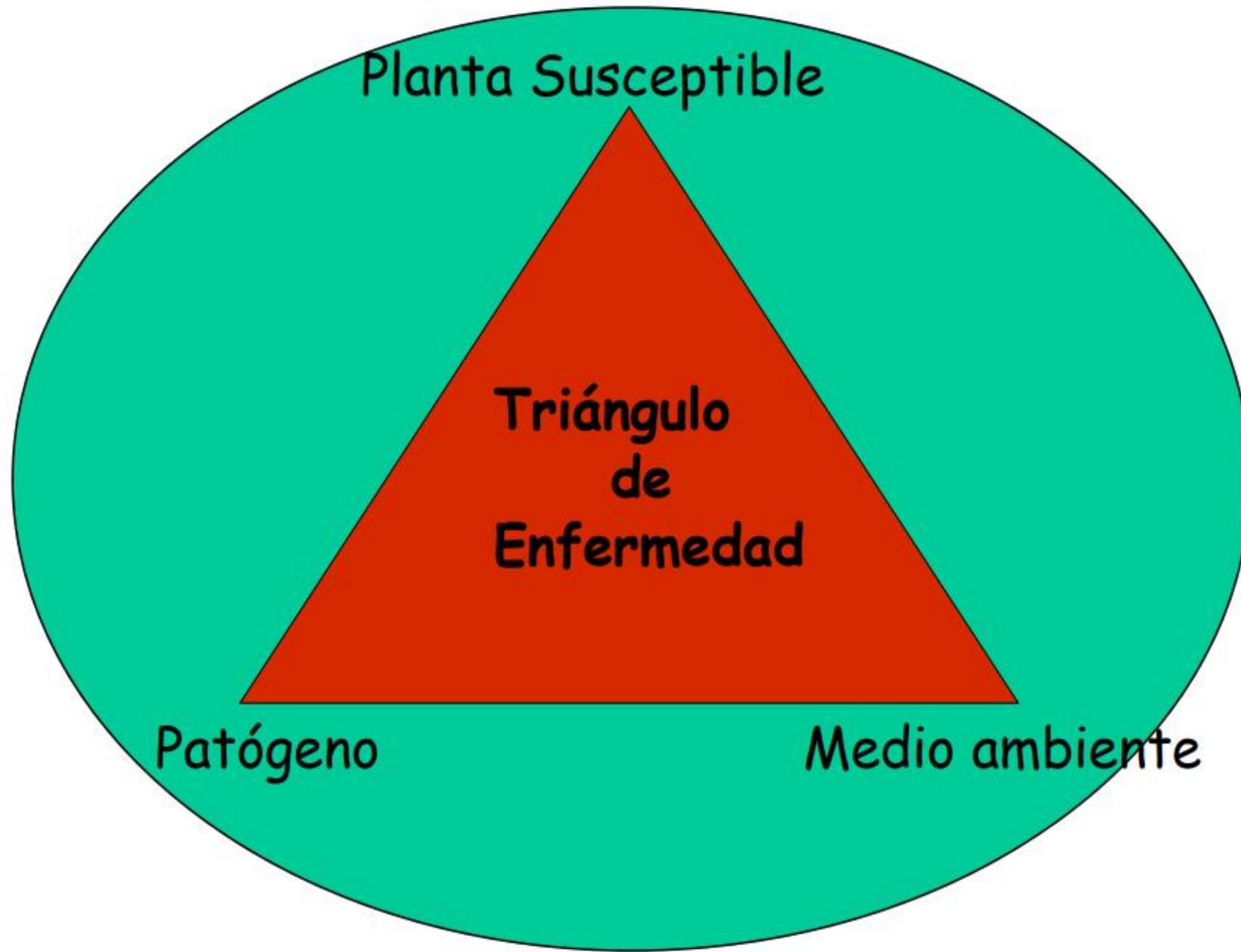
AMT: transportador de amonio;
 NRT: transportador de nitrato;
 AS: asparagina sintetasa;
 Asn: asparagina;
 Asp: aspartato;
 GDH: glutamato dehidrogenasa;
 Gln, glutamina;
 Glu, glutamato;
 GOGAT: glutamina-2-oxoglutarato aminotransferasa;
 GS: glutamina sintetasa;
 NAC-TF: factores de transcripción de la familia NAC;
 NiR: nitrito reductasa;
 NR: nitrato reductasa.

Transporte de nitratos a nivel celular



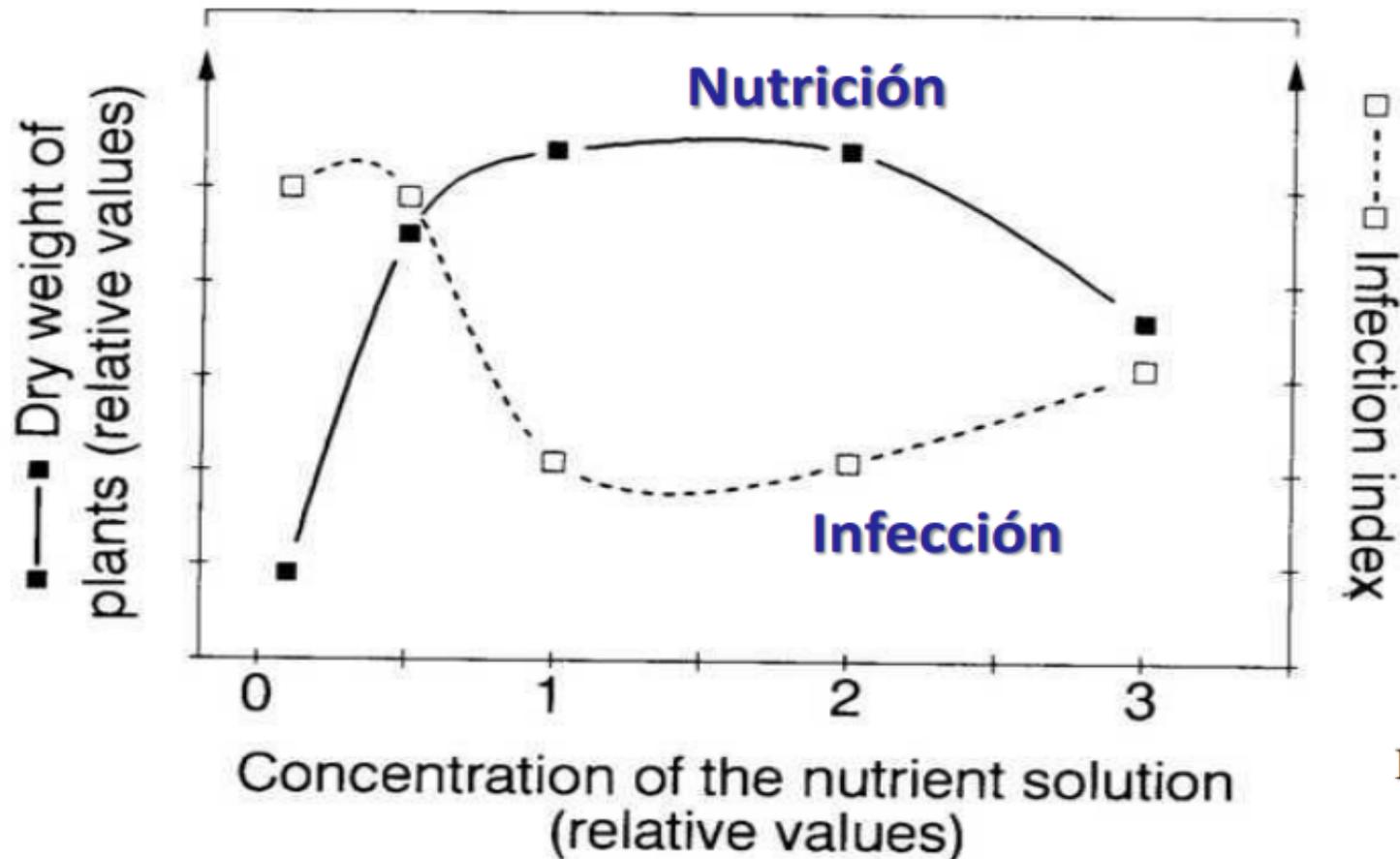
Nitrógeno

- Puede ser absorbido en su forma reducida (NH_4) o en su forma oxidada (NO_3).
- La forma en la que se encuentra el nitrógeno afecta la enfermedad



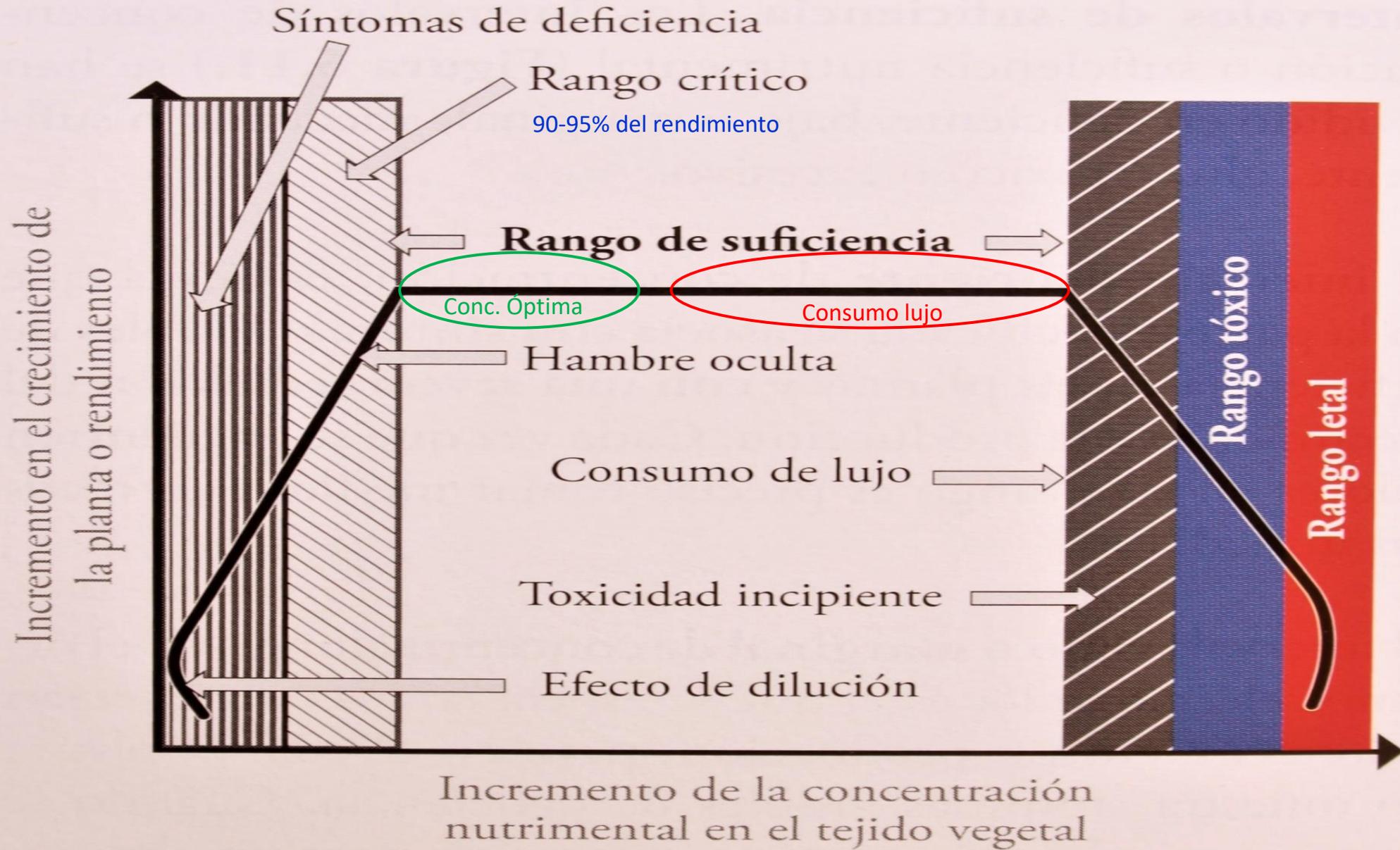
La susceptibilidad de los cultivos se ve afectada en gran medida por la condición nutricional de las plantas

Efecto de la concentración de nutrientes sobre el crecimiento y el grado de bacteriosis en las plantas



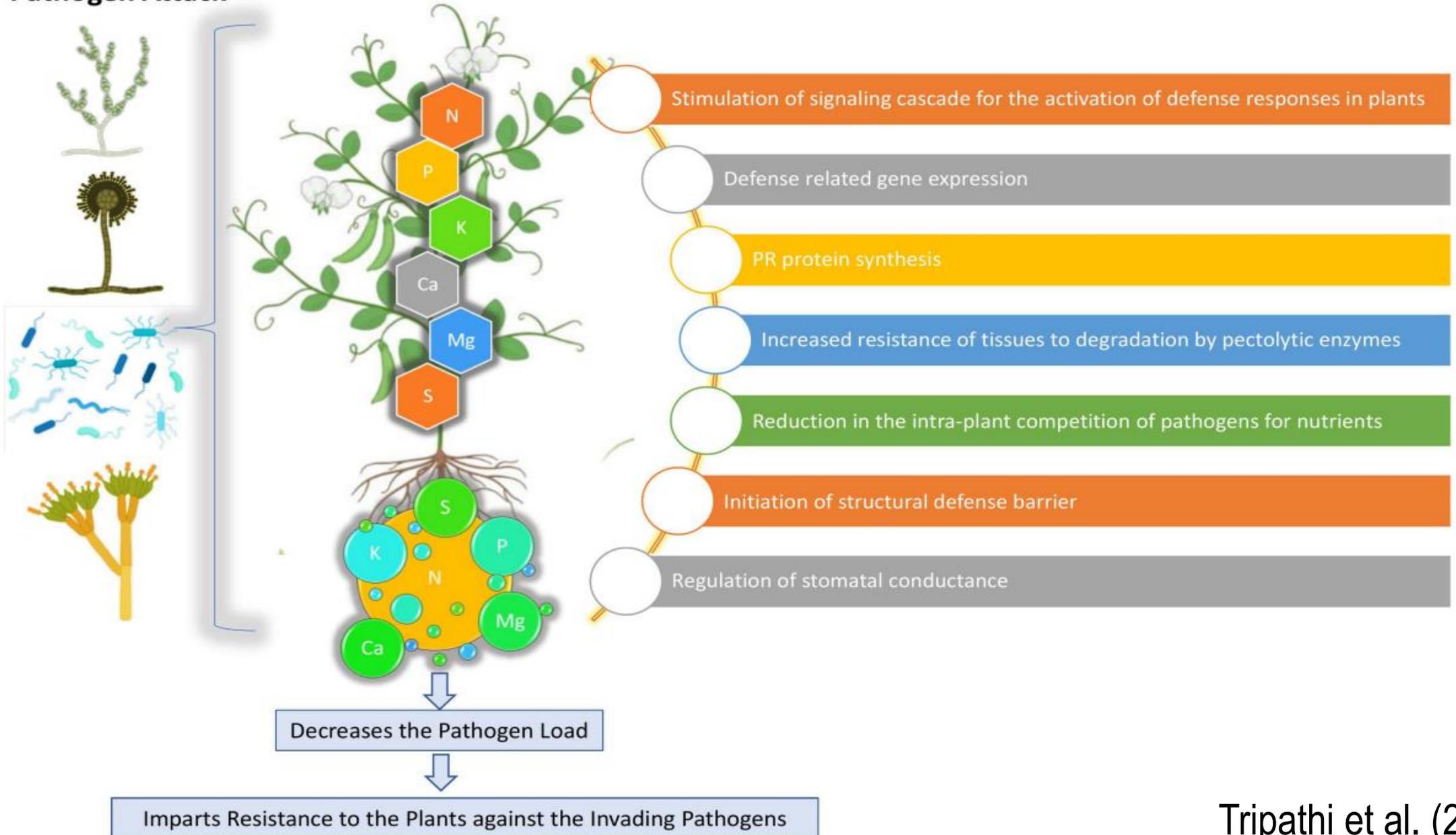
From Marschner 1995

- La nutrición adecuada es la primera línea de defensa.
- La deficiencia o exceso de cualquier nutriente aumentará la susceptibilidad de la planta a las enfermedades.
- Los nutrientes conocidos por influir en las enfermedades en ciertas plantas son: N en sus formas, K, Ca, Cl, S, Mn, Ni, y Si.

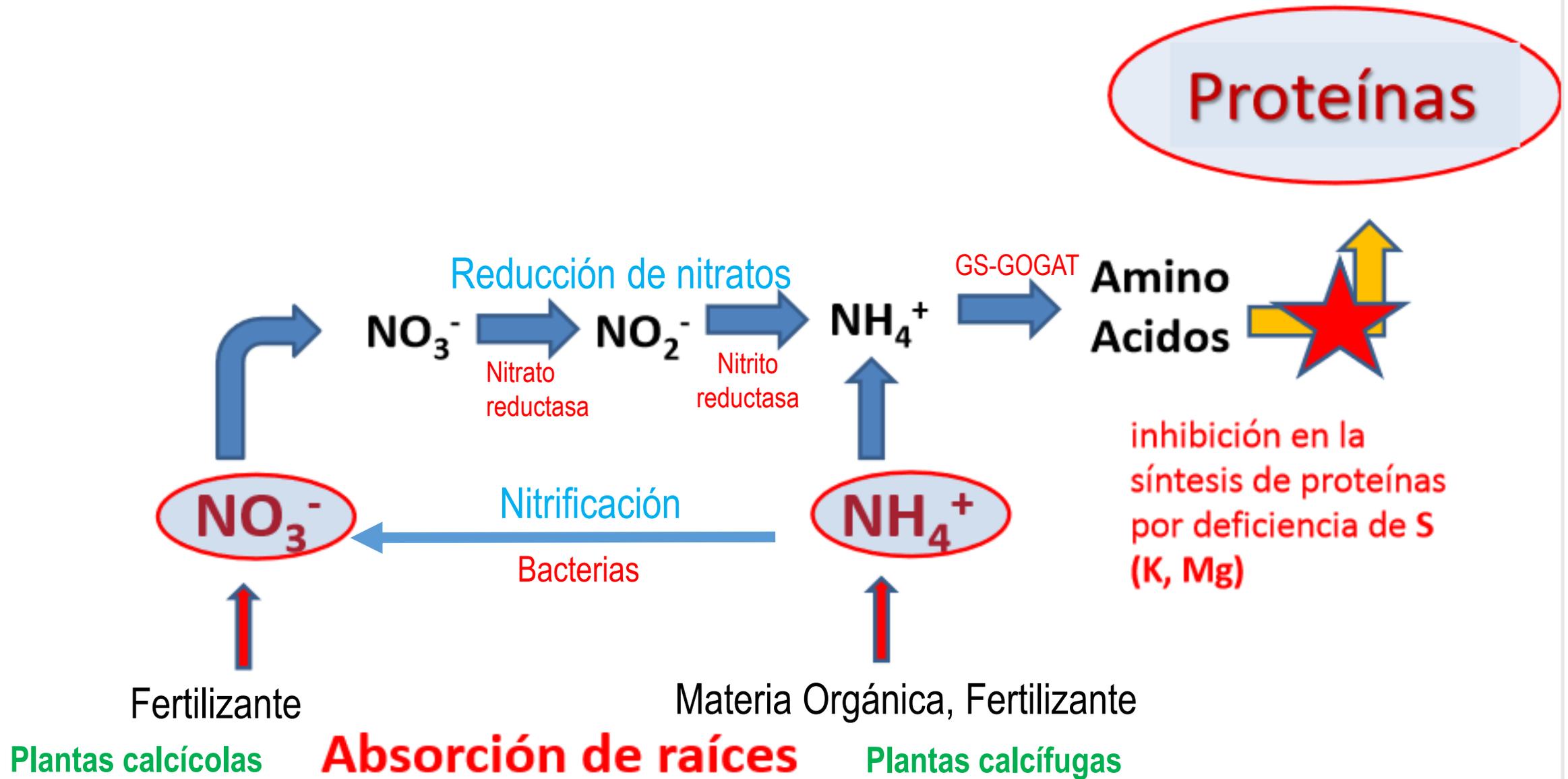


Visión general de las funciones bioquímicas y fisiológicas de los macronutrientes

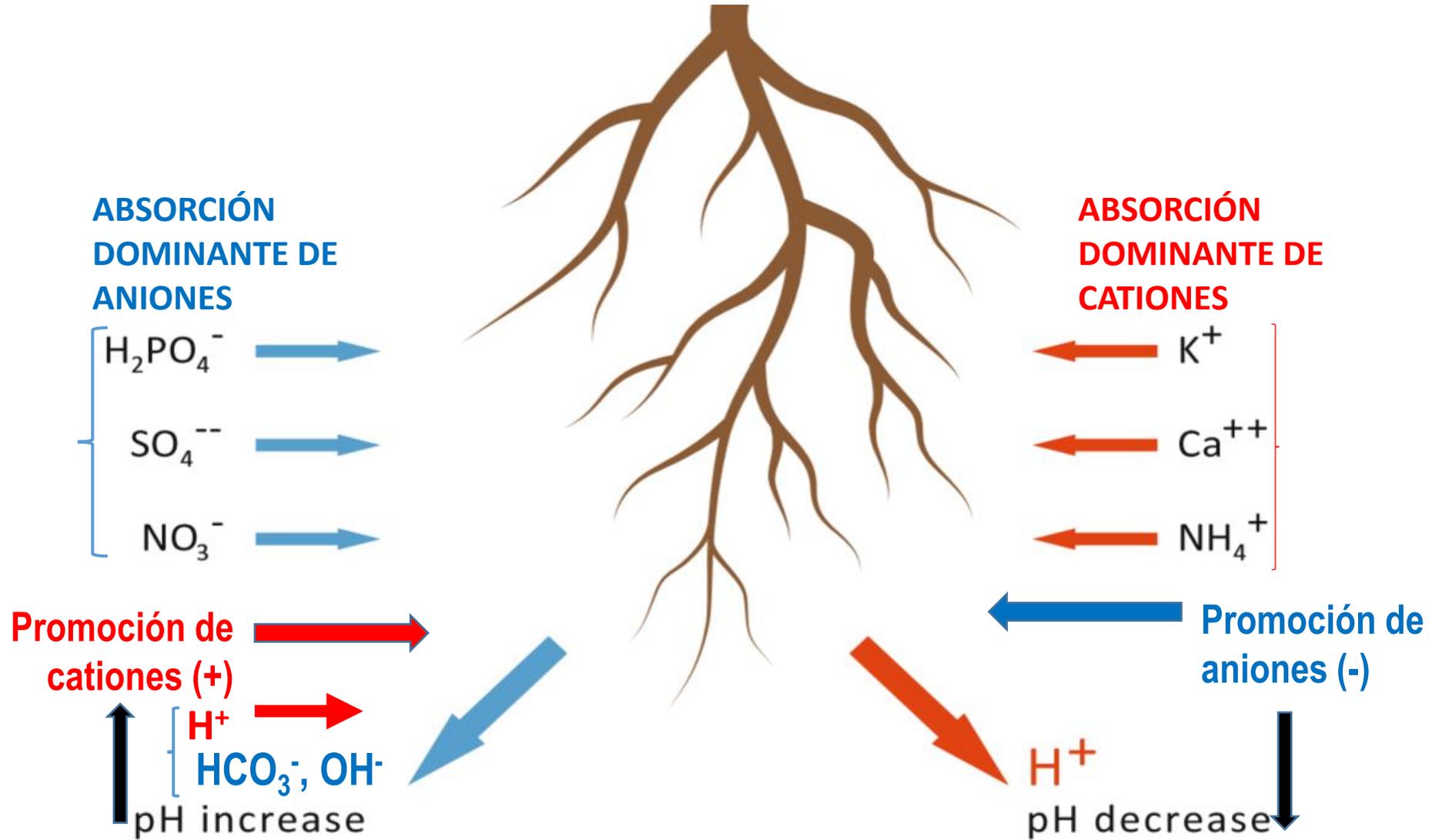
Pathogen Attack



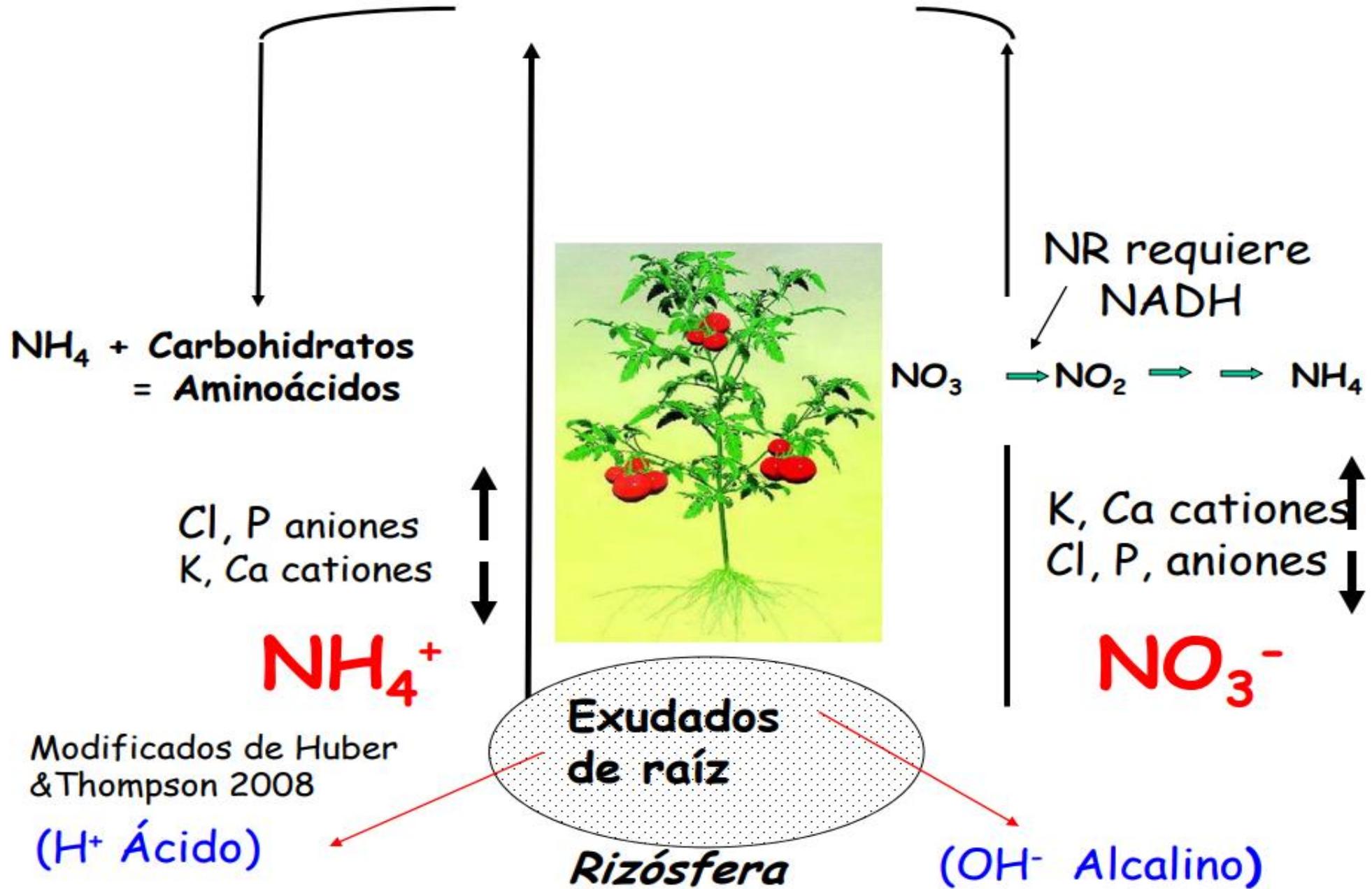
Absorción y asimilación de N



Absorción de Iones y su Interacción en la Zona de Rizósfera



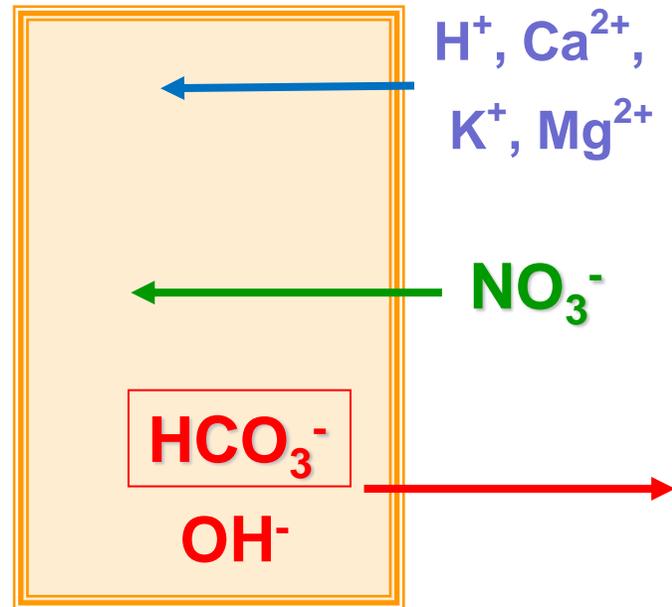
Pineda (2023); modificado a partir de Marschner (2012) y Mauciere et al. (2019)



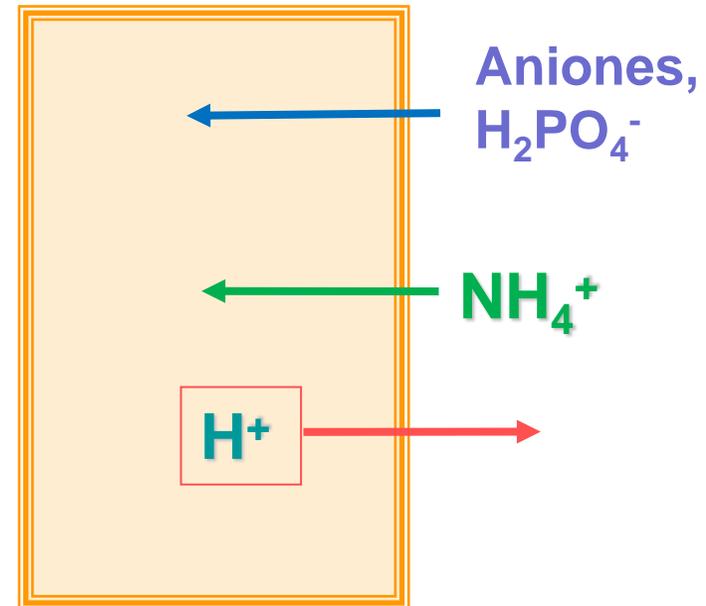
Modificados de Huber & Thompson 2008

Efecto de la absorción de N en el pH del sustrato, debido al balance eléctrico que mantiene la planta

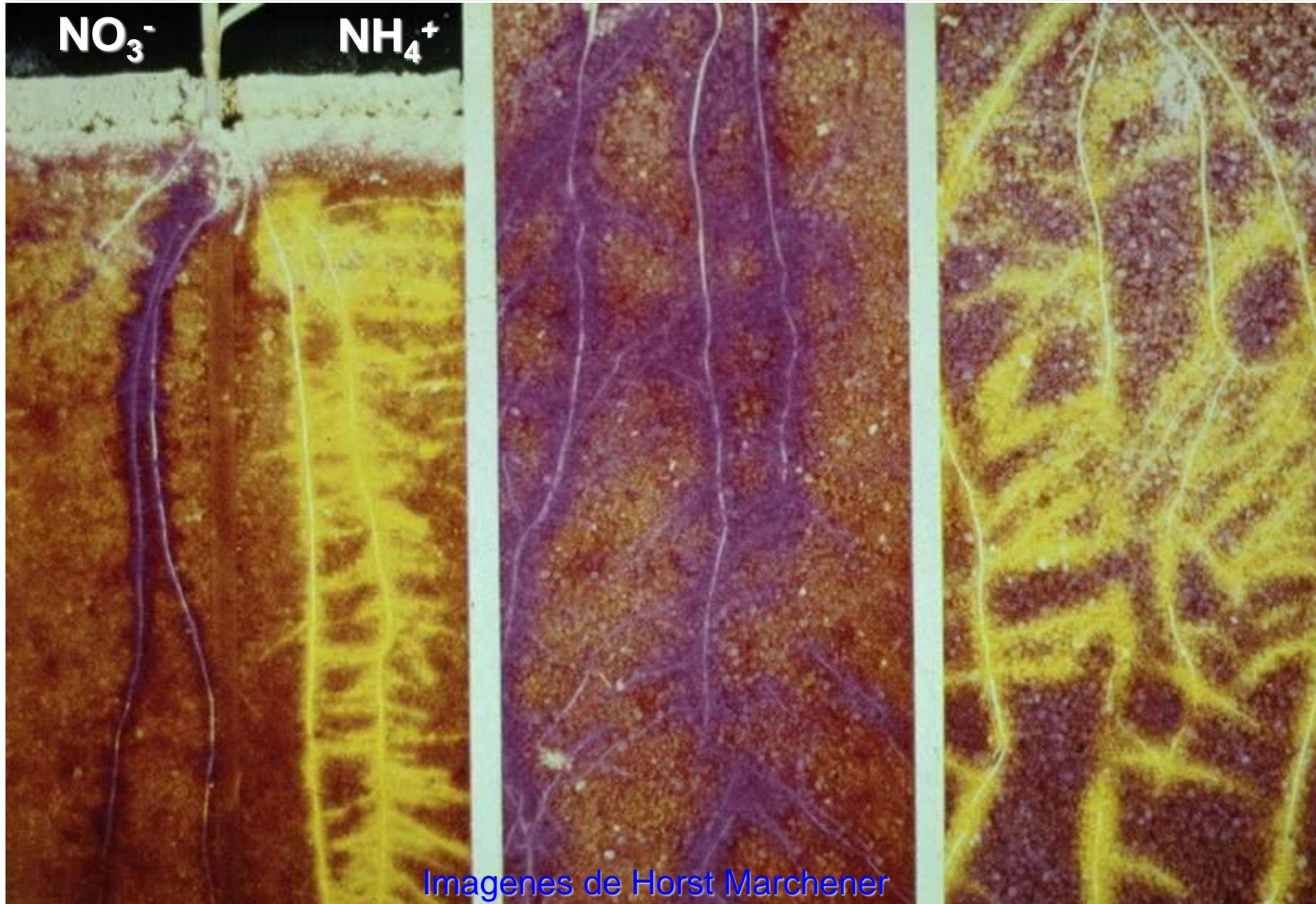
Célula radical



Célula radical

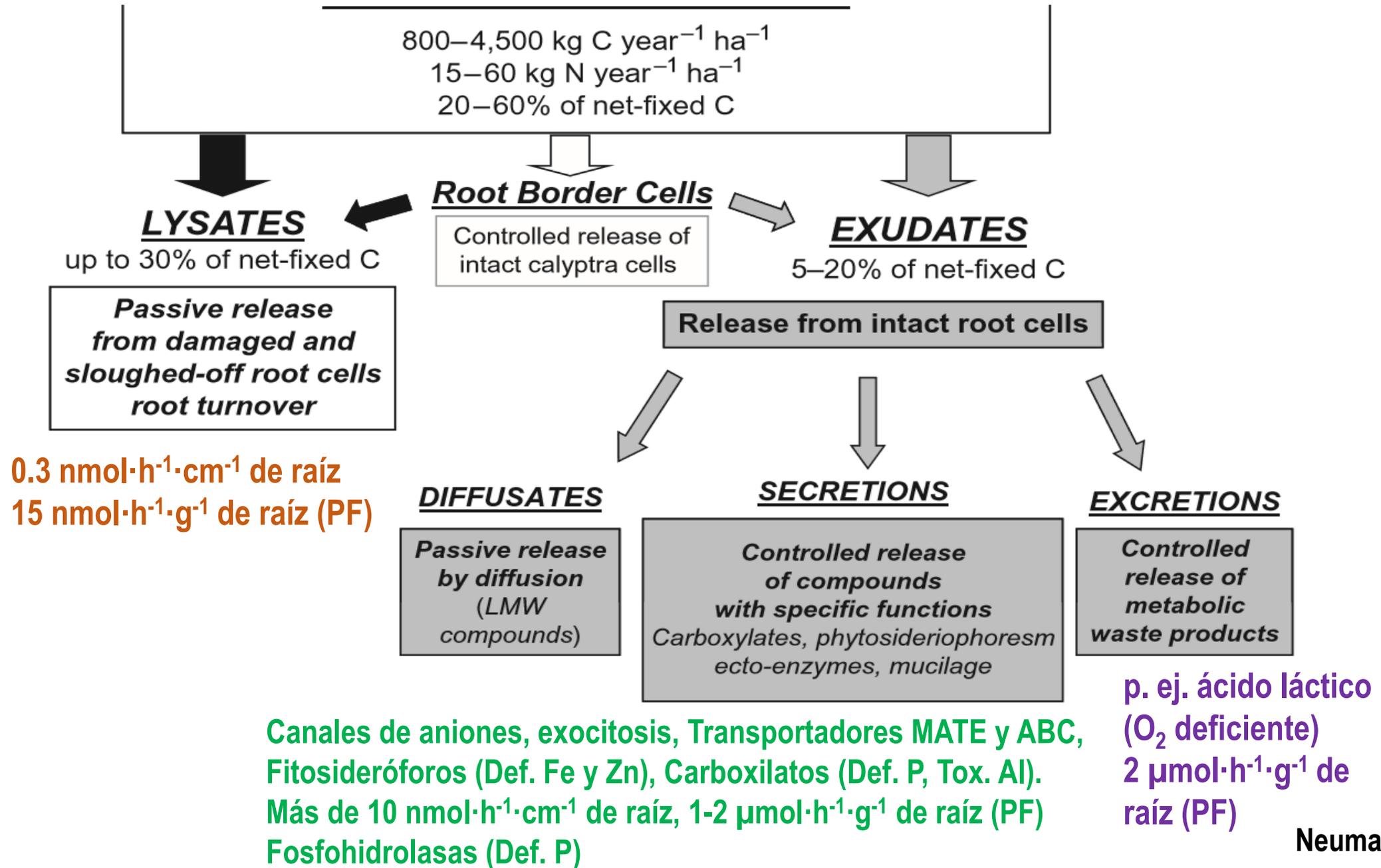


Nutrición Nitrogenada y pH de Rizósfera

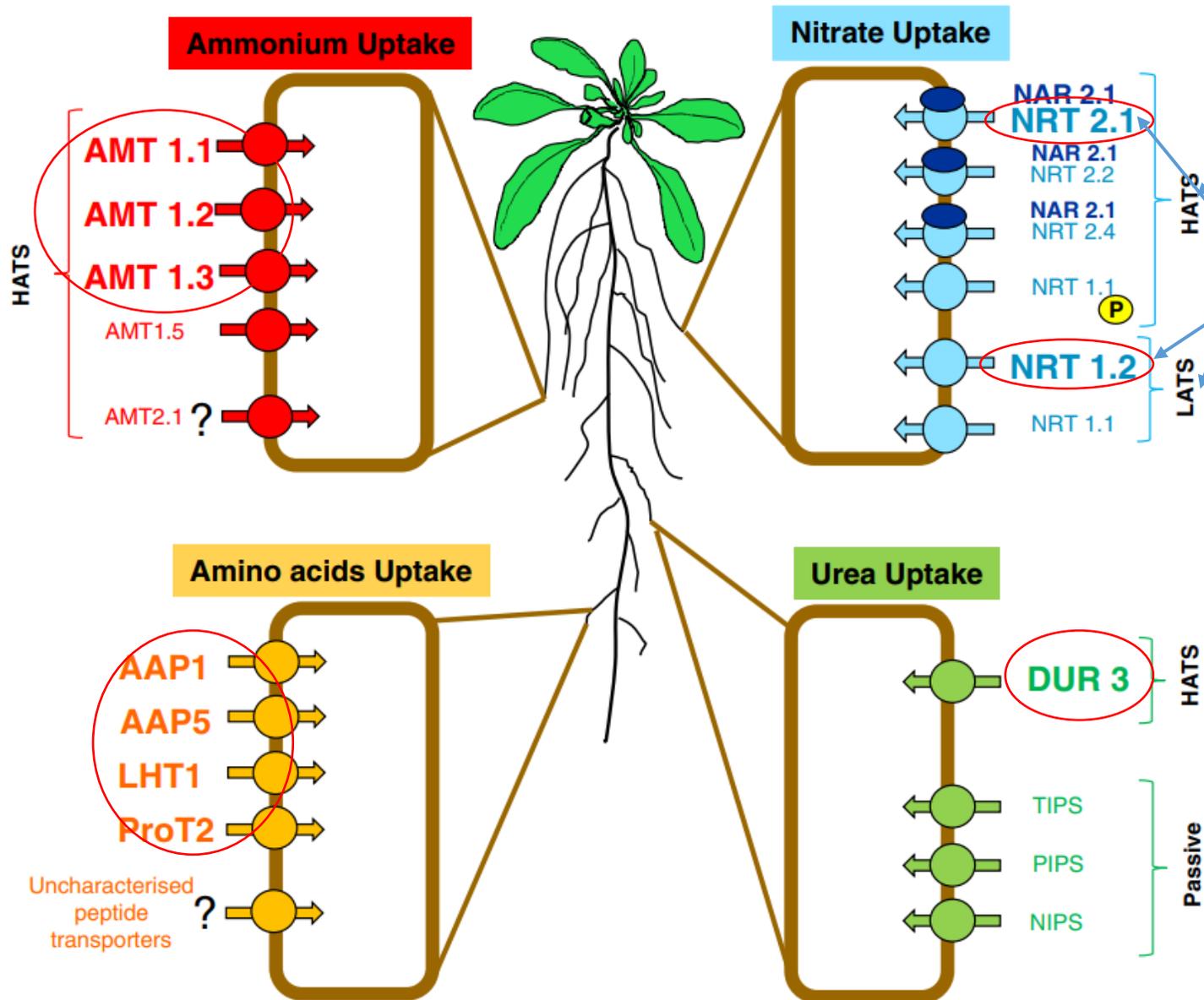


Imágenes de Horst Marchener

Clasificación y cantidades de rizodeposiciones orgánicas



Transportadores de membrana implicados en la absorción radical de las cuatro principales fuentes de nitrógeno



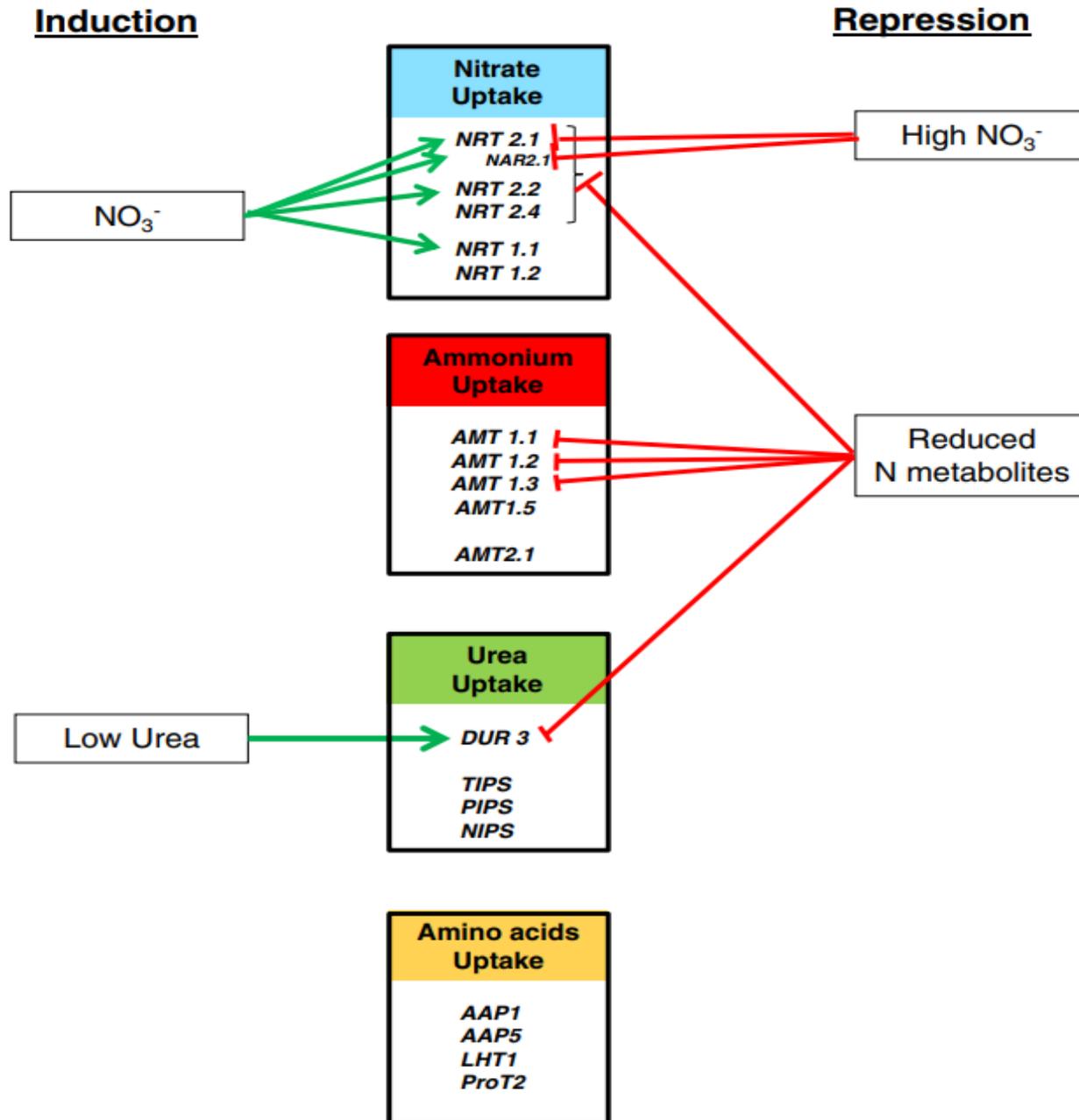
Las proteínas se agrupan según su afinidad por el sustrato (transportadores de **alta afinidad HATS** y transportadores de **baja afinidad LATS**).

Los transportadores resaltados con letras grandes son aquellos que juegan un papel importante en la absorción de nutrientes. Los signos de interrogación representan resultados no confirmados.

Se han identificado varios transportadores de aminoácidos y péptidos en el sistema, pero aún no se ha caracterizado la función de la planta.

NRT1-1 es tanto un LATS como un HATS dependiendo de la fosforilación del residuo treonina.

NAR2.1 es una proteína de función desconocida que es obligatoria para garantizar el transporte de nitrato por los transportadores de NRT2.



Regulación nitrogenada de los genes en transportadores implicados en la absorción radical de las cuatro principales fuentes de nitrógeno en plantas.

Las líneas verde y roja representan efectos positivos y negativos, respectivamente.

Estos efectos se refieren a cambios en la actividad transcripcional y/o en la acumulación de transcripto en las raíces.

Efecto del pH alcalino en el crecimiento de las plantas

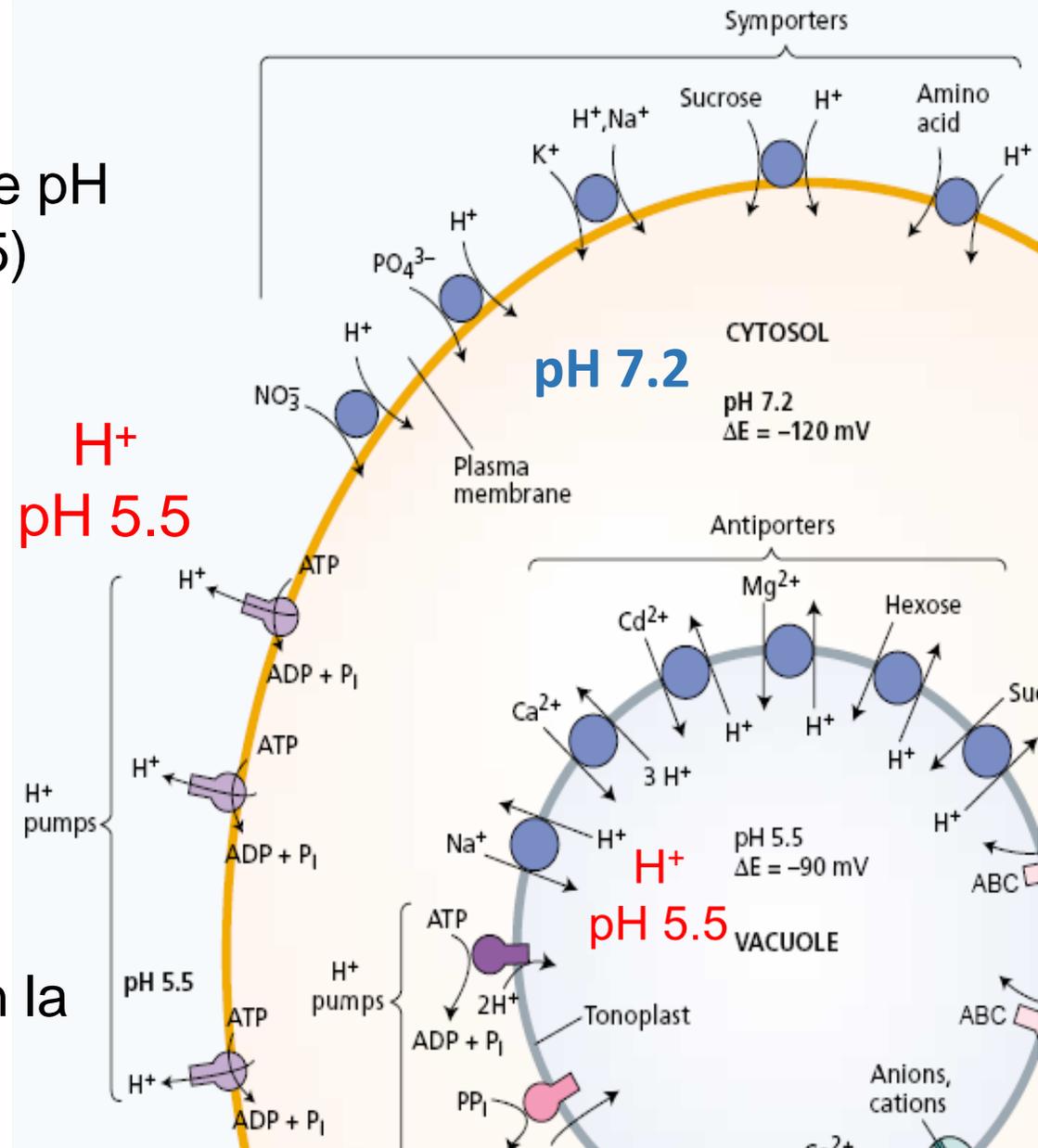
Dificultad para mantener el gradiente transmembranal de pH (citoplasma 7.2, rizósfera 5.5)



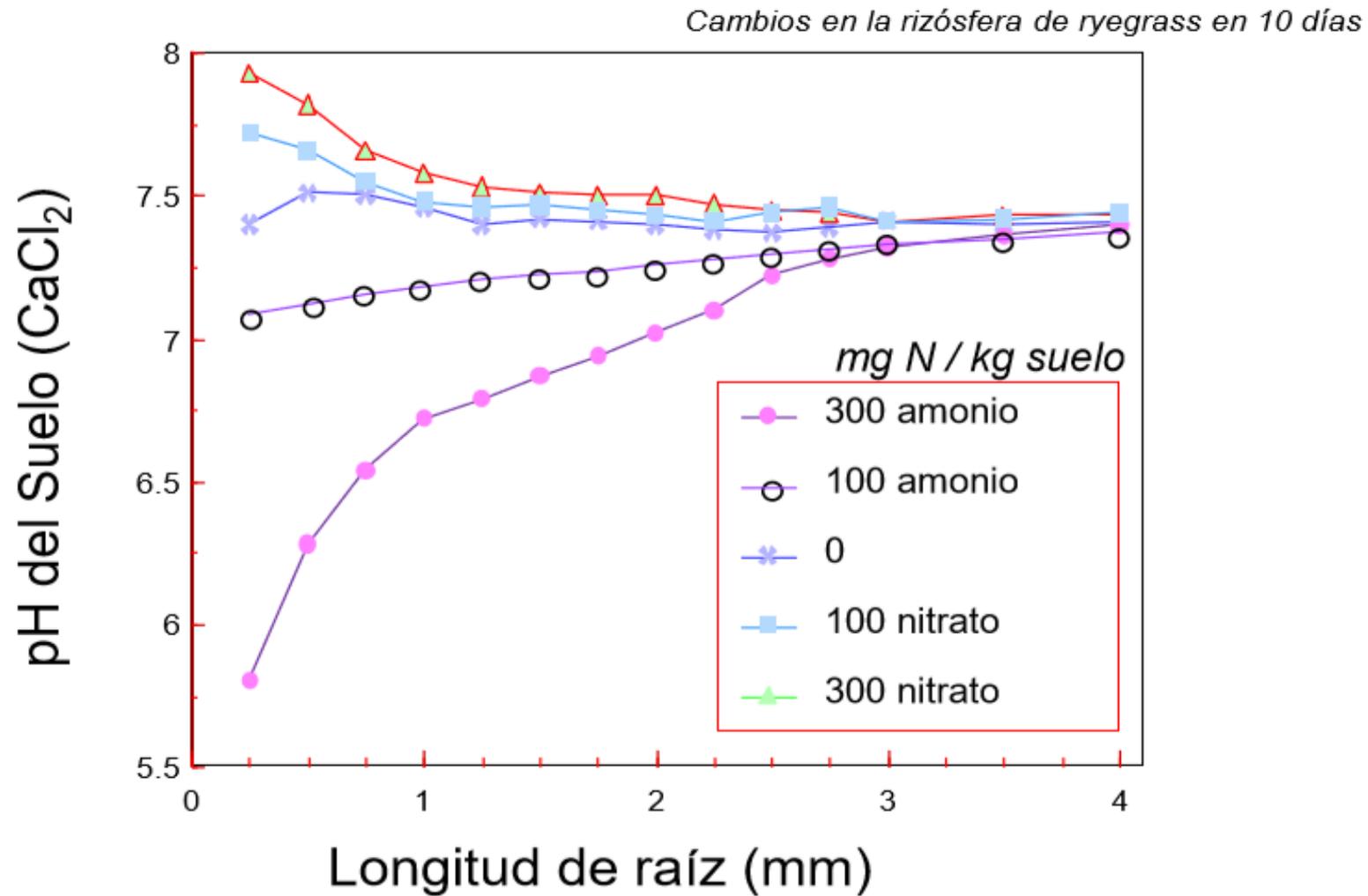
Dificultad para mantener gradientes electroquímicos



Dificultad para que se de el cotransporte protón-anión en la plasmalema



Efecto de la forma de N en el pH de la rizósfera

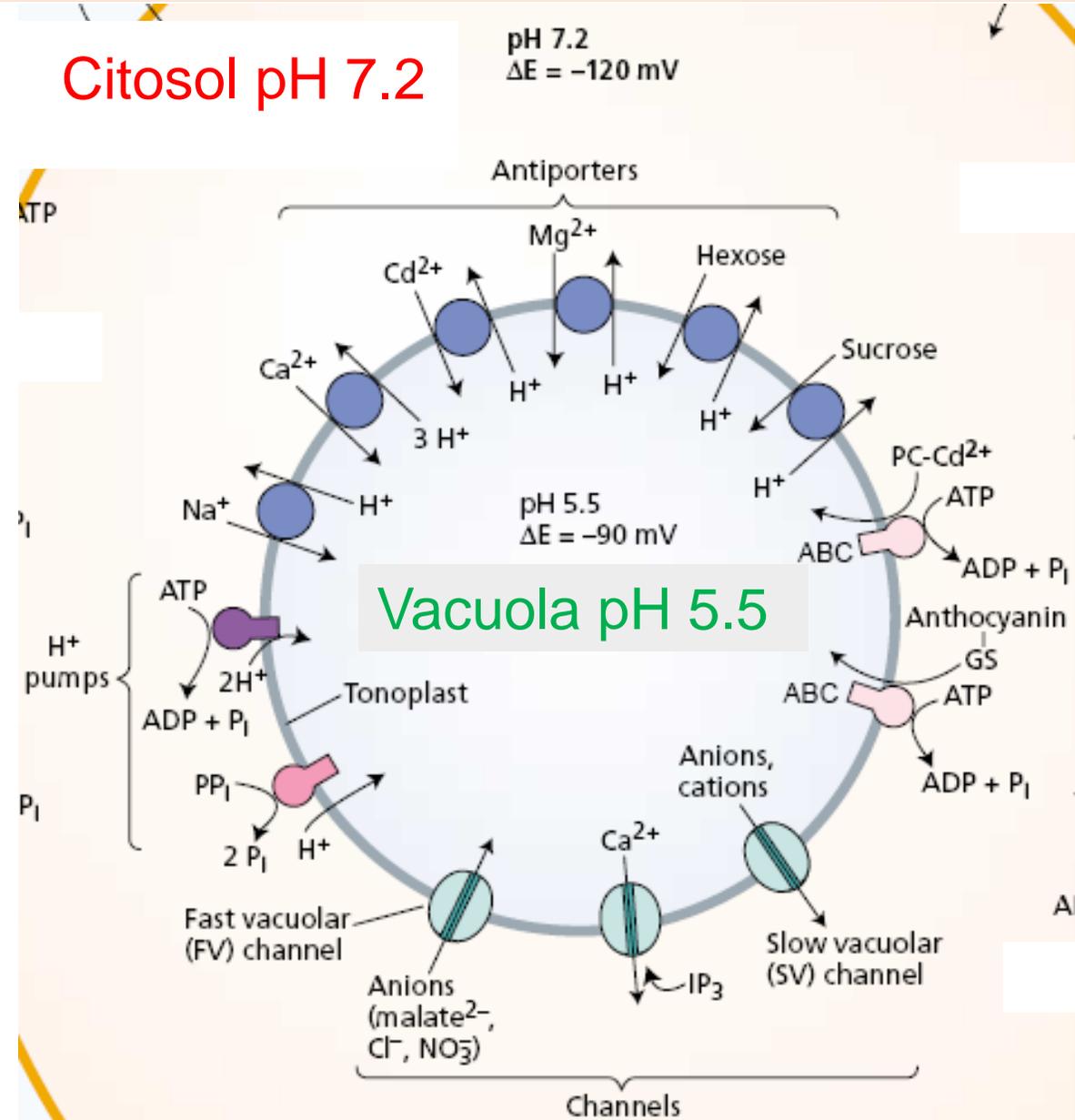


Efecto del pH alcalino en el crecimiento de las plantas

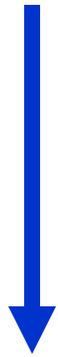
El NH_3 rompe gradientes de pH entre citoplasma y vacuola



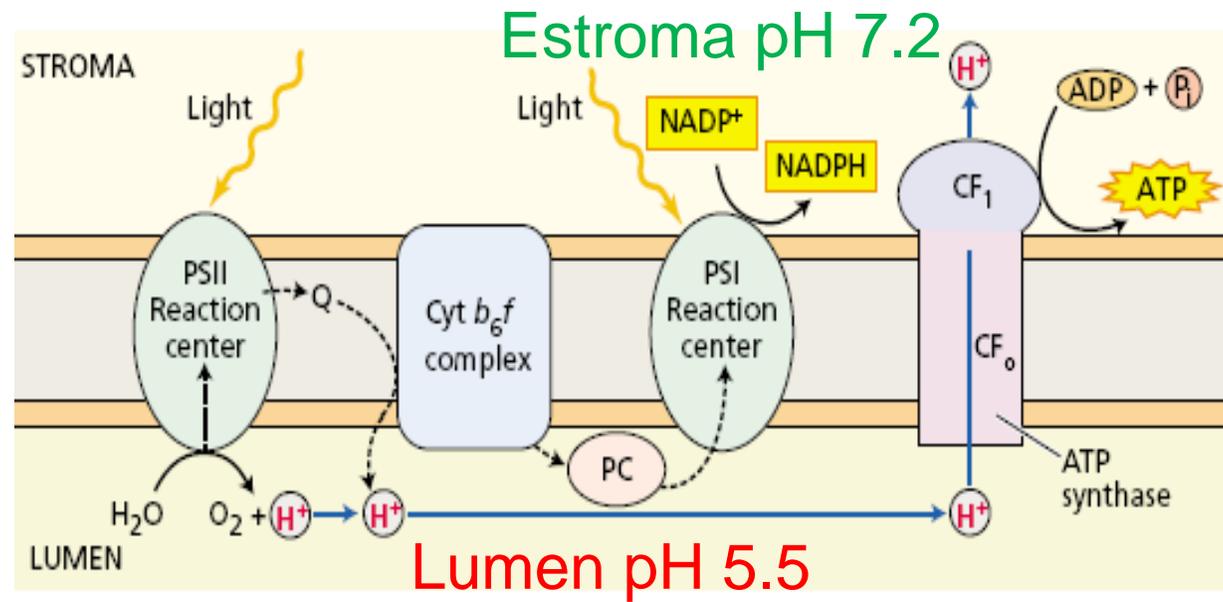
Altera el intercambio de solutos



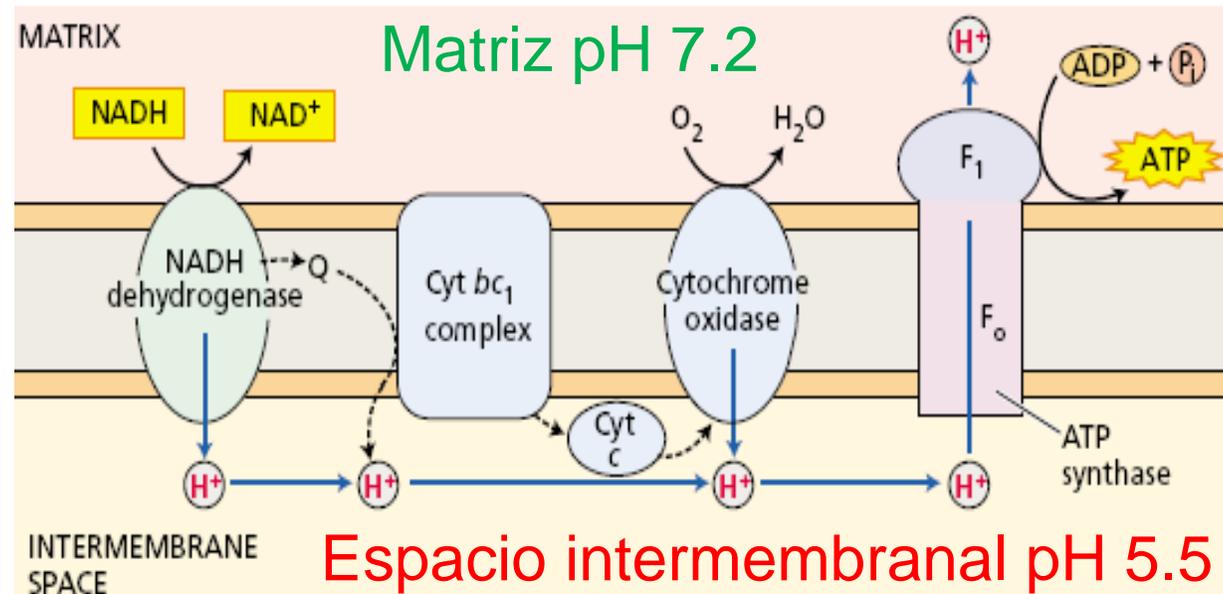
El NH_3 rompe gradientes de pH entre estroma y lumen en cloroplasto, entre matriz y espacio intermembranal en mitocondria



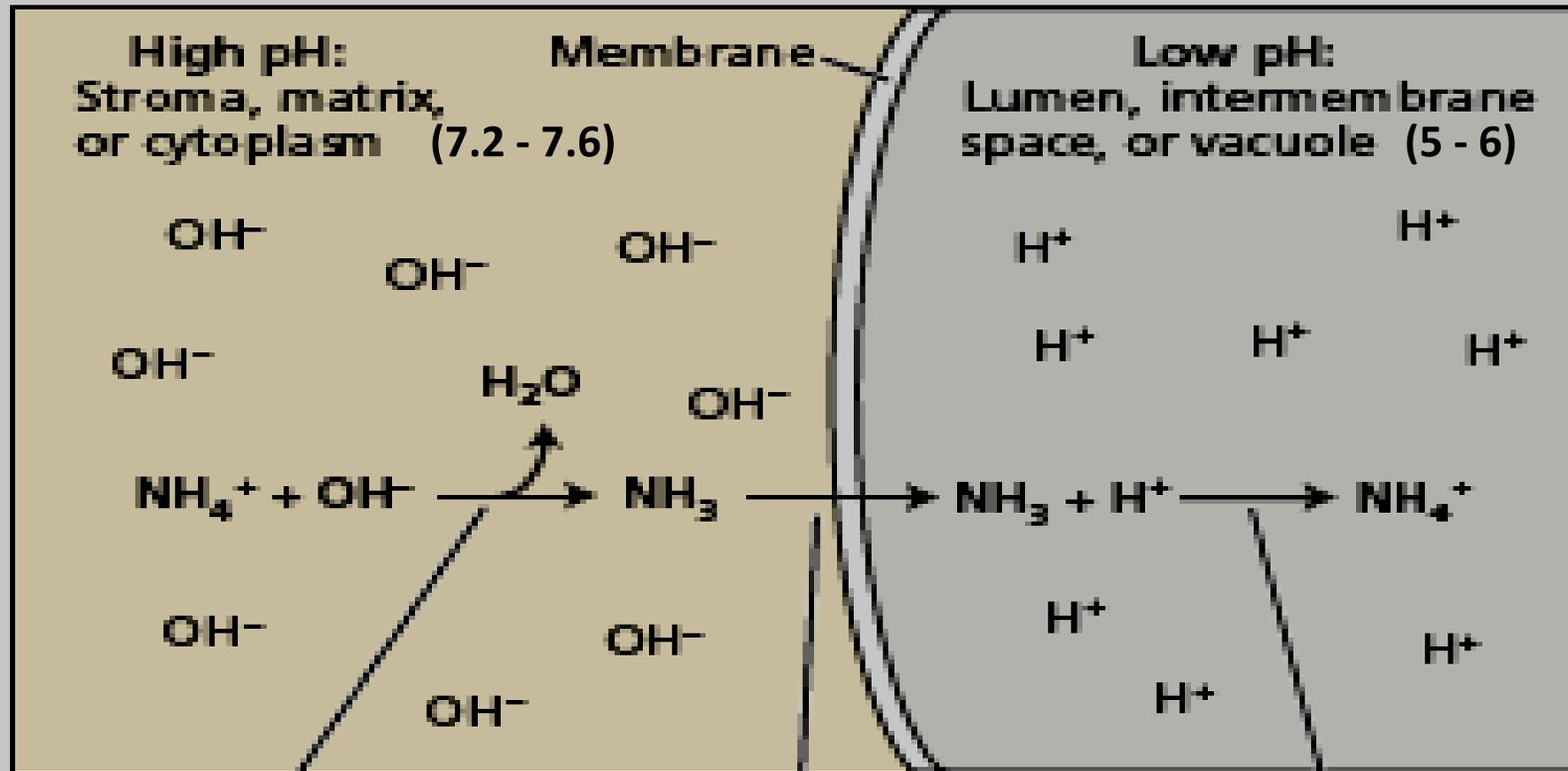
Desacopla la formación de ATP



(C) Mitochondria



El NH_3 rompe gradientes de pH (efecto tóxico)



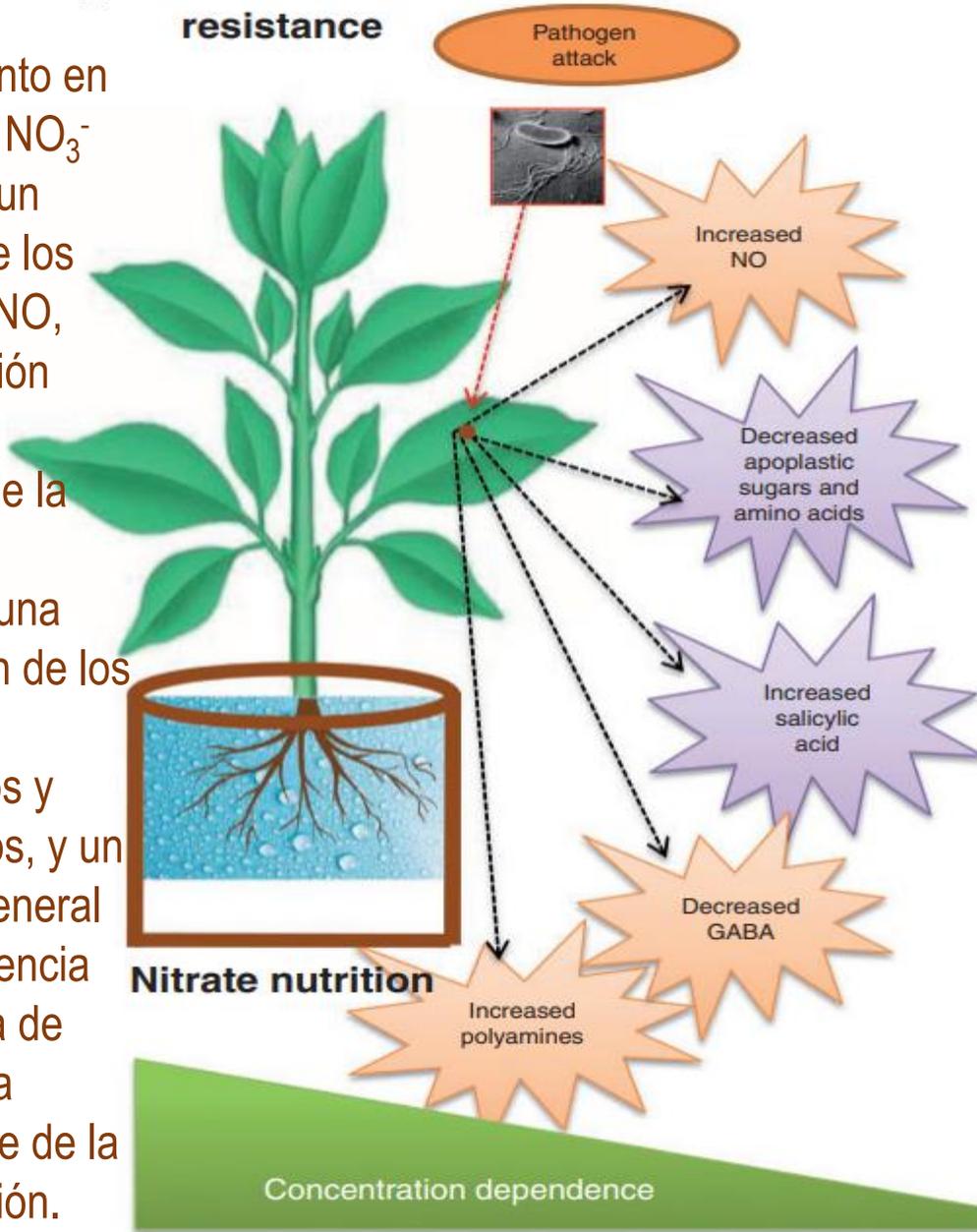
A pH alto el NH_4^+ reacciona con los OH^- para formar NH_3

La membrana es permeable al NH_3 el cual difunde al interior de cloroplastos, mitocondria o vacuola

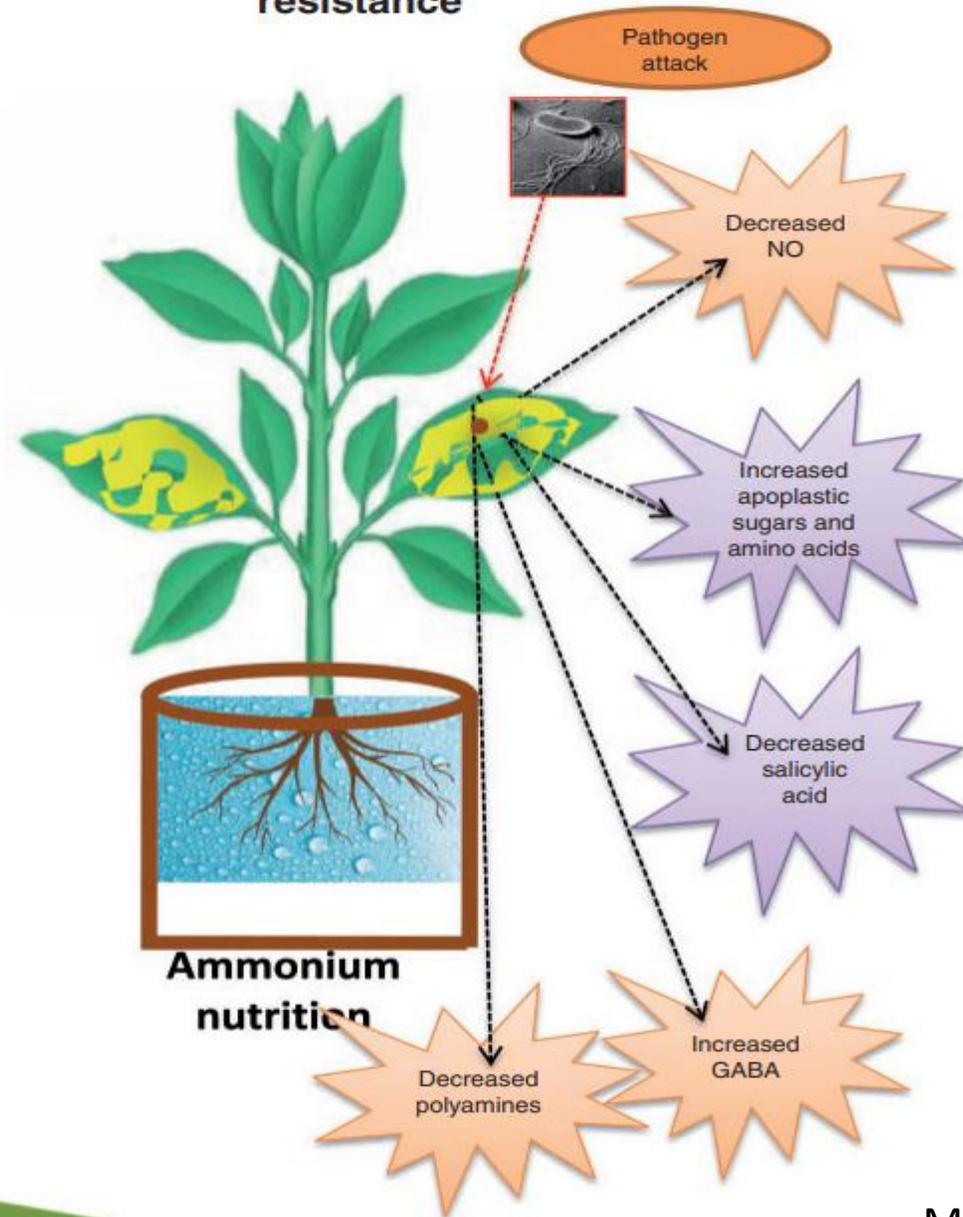
El NH_3 reacciona con el H^+ para formar NH_4^+

Efecto del NO_3^- vs NH_4^+ sobre la resistencia de las plantas a la infección por patógenos

A Maximal resistance



B Decreased resistance



El crecimiento en la nutrición NO_3^- conduce a un aumento de los niveles de NO, SA, expresión génica PR, inducción de la vía de la poliamina, una disminución de los azúcares apoplásticos y aminoácidos, y un aumento general de la resistencia de la planta de una manera dependiente de la concentración.

El crecimiento en la nutrición NH_4^+ conduce a un aumento de los niveles de azúcares apoplásticos y aminoácidos, niveles reducidos SA y de expresión génica PR, inducción de la biosíntesis de GABA y respuesta de defensa de la planta reducida

Ejemplos

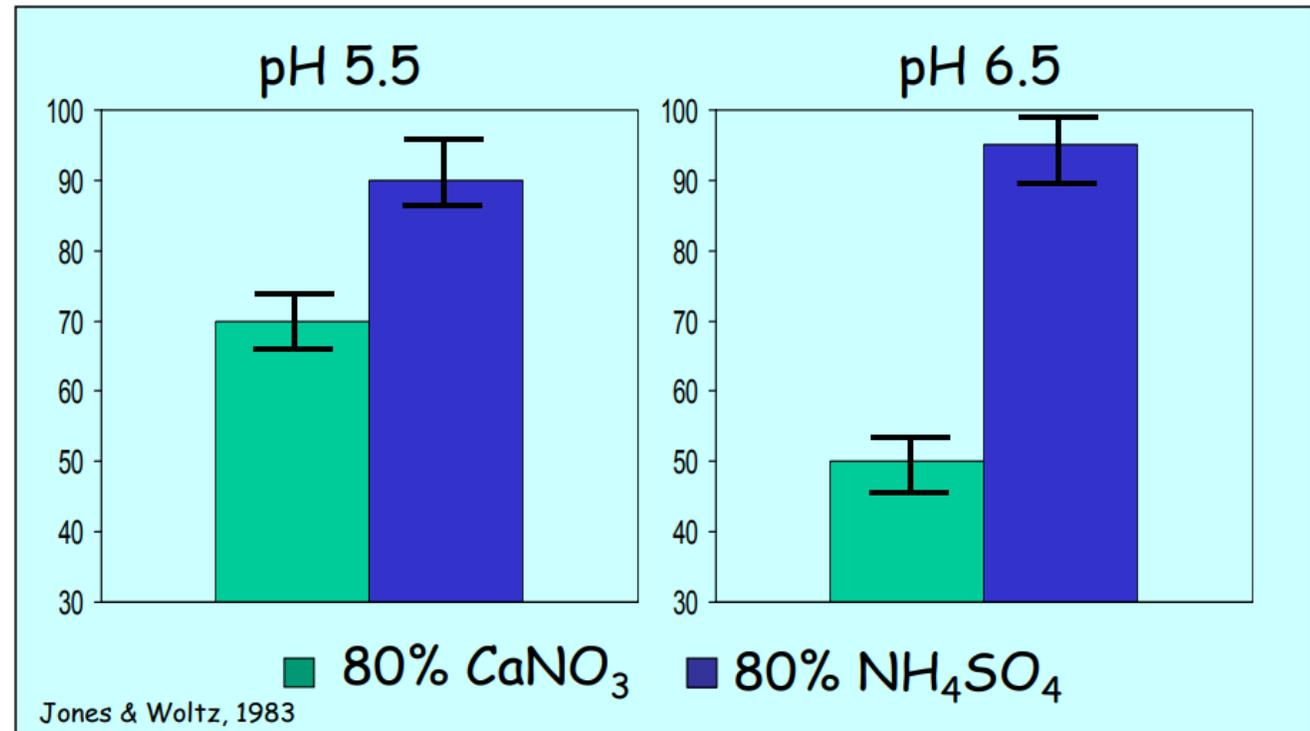
		Suprimidas por
Tomate	Marchitez por Fusarium	NO_3
Betabel	Pudrición de raíz por Rizoctonia	NO_3
Papa	Marchitez por Verticillium	NH_4
Fresas	Pudrición negra de raíz	NH_4

Marchitez por Fusarium en el tomate

NO_3 vs. NH_4



Efecto de la Forma del N y pH del suelo en el % de tomates con marchitez por Fusarium.



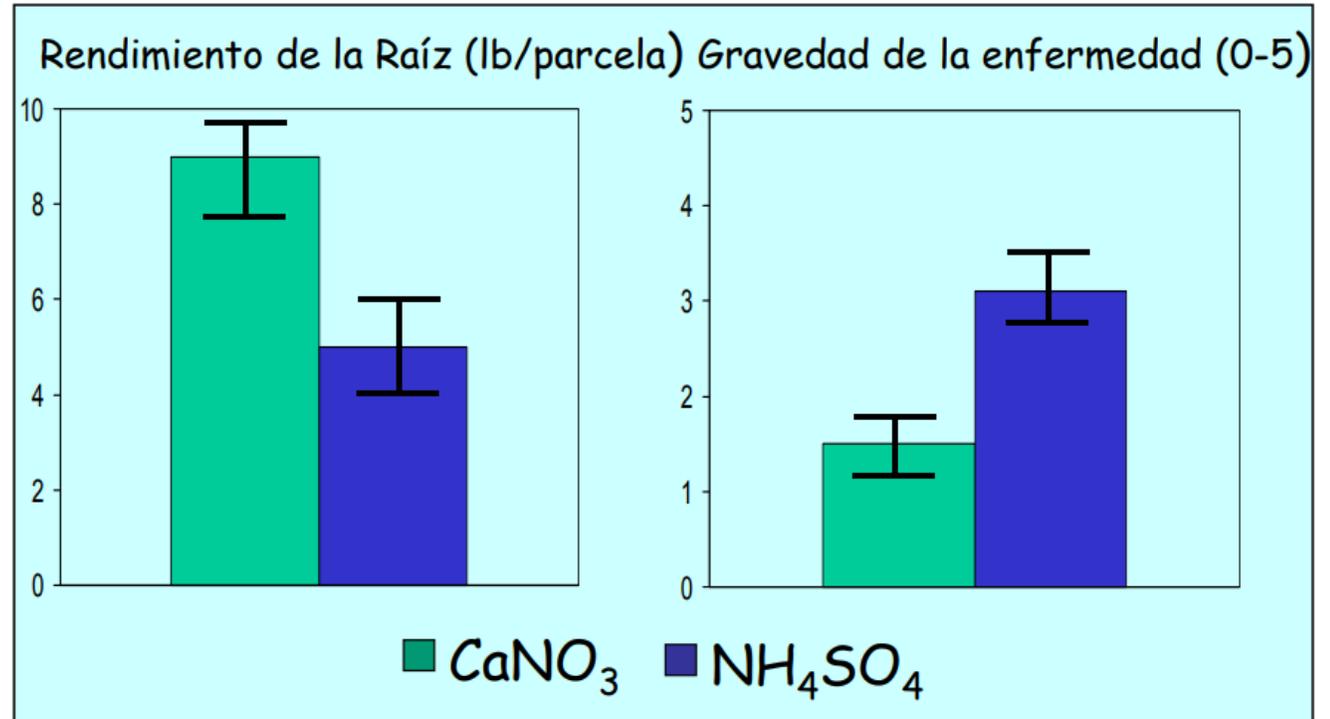
Pudrición de Raíz por Rizoctonia en Betabel



Control

Infestada

Efecto de la Forma de N en los rendimientos del Betabel y la gravedad de la enfermedad

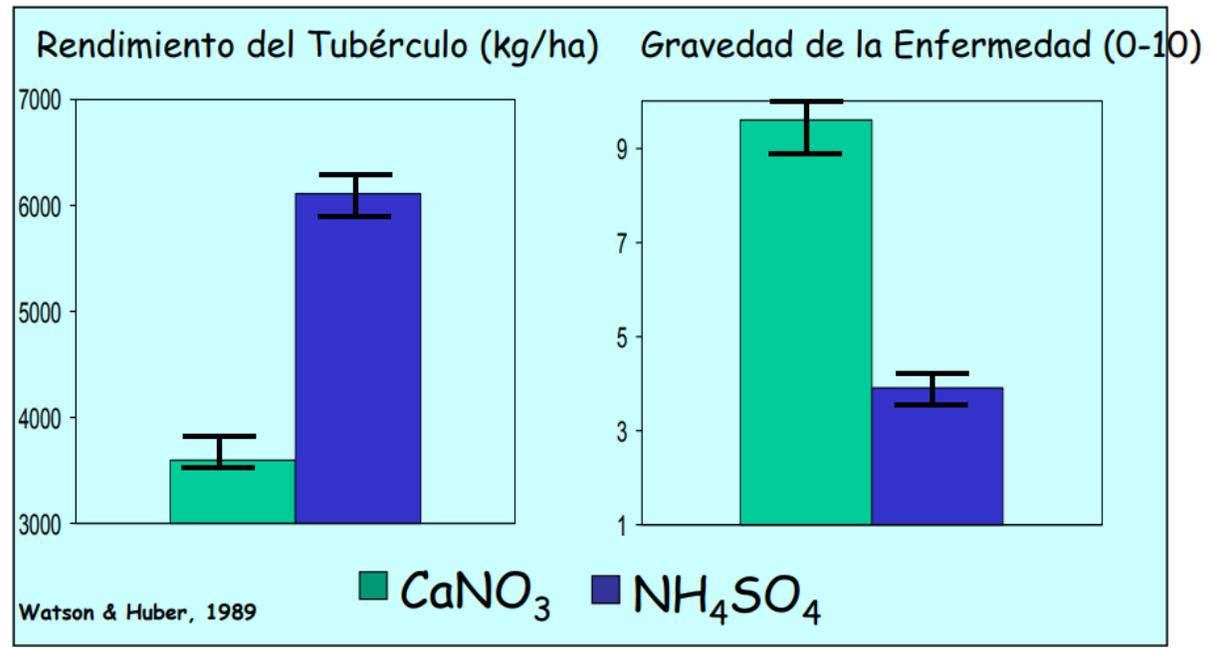


Marchitez por Verticillium en la papa

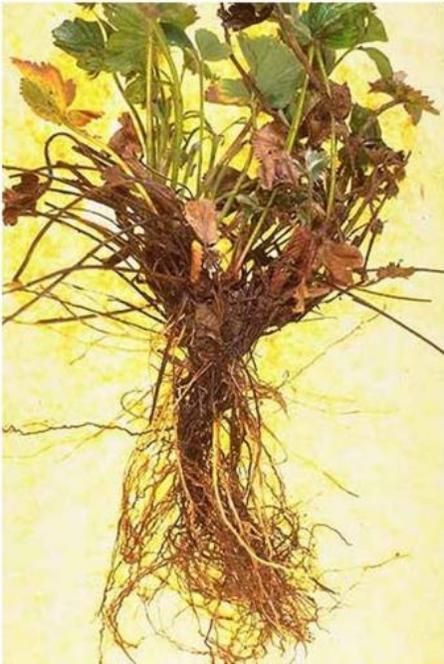
NH_4 vs NO_3



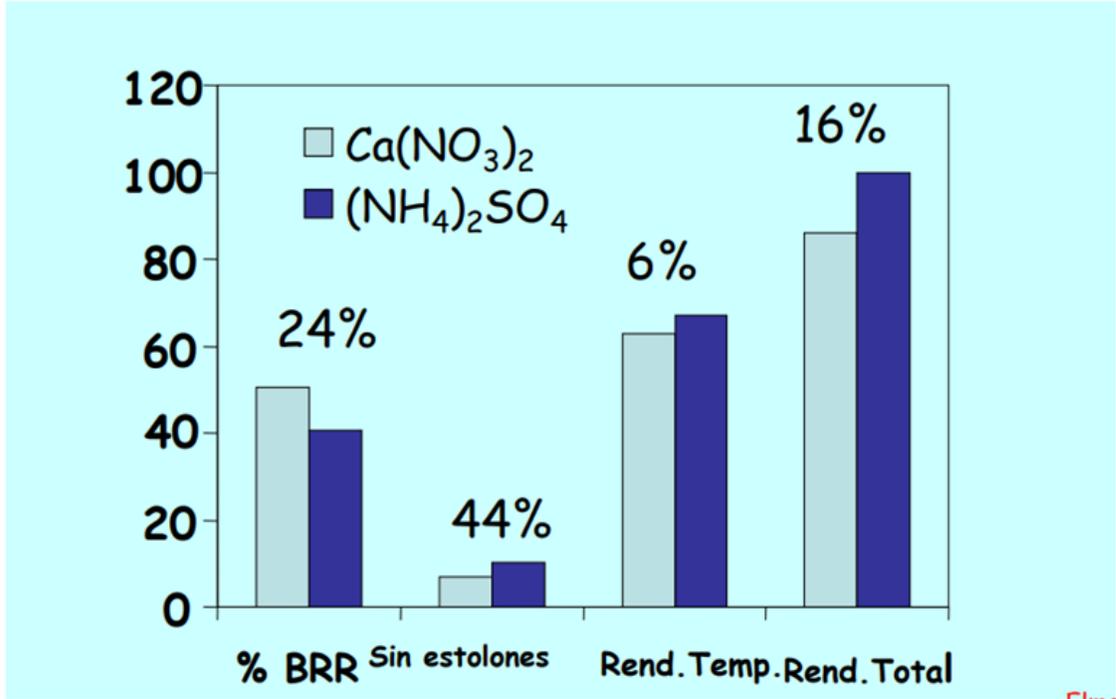
Efecto de la Forma del N en la Marchitez por Verticillium de la papa



Pudrición Negra de la Raíz en Fresa (BRR), (Fusarium, Rhizoctonia, Pythium...)
 NH_4 vs NO_3



Efecto de la Forma del N en la pudrición negra de raíz (BRR), los estolones, el rendimiento temprano y el total de bayas



Elmer, 2009

Las formas de N actúan de manera distinta en las plantas.

- Las enfermedades pueden reaccionar de manera distinta a cada forma de N
- $\text{NH}_4\text{-N}$ está asociado con reducción en el pH, mientras que $\text{NO}_3\text{-N}$ aumenta el pH.
- $\text{NO}_3\text{-N}$ suprime las Fusariosis
- $\text{NH}_4\text{-N}$ suprime la mayor parte de las otras enfermedades transmitidas por el suelo

Efecto del aumento en el aporte de N sobre la concentración de N en plantas de cebada y densidad de población de los áfidos (Cortesía del Dr. Volker Römheld, Hohenheim Univ.)

Suministro de N (% relativo)	Contenido de amino ácidos	Contenido de Nitrato en tallos (ppm) (NO ₃ prueba rápida)	Núm. de áfidos por planta después de		
			0	7	21d
deficiente	58	10	5	45	470
óptimo	81	1100	5	86	2434
exceso	100	5000	5	77	8360

En muchas fungosis el aumento en el suministro de N aumenta la incidencia de la enfermedad

El suministro de fertilizante nitrogenado y la incidencia de la mancha foliar (*Rynchosporium secalis*) en **3 cultivares de cebada de primavera** (Jenkyn, 1976; ver Marschner, 1995)

Aporte de N kg/ha	Área de la hoja bandera infectada por mancha foliar (%)		
	Proctor*	Cambrinus	Deba Abed
0	0.4	15.4	3.6
66	1.3	21.3	20.5
132	4.5	30.5	57.3

* Variedad resistente

Este efecto negativo del N se expresa en los cultivares no resistentes como regla general

Efecto del NO_3^- vs NH_4^+ sobre la por patógenos

- La disponibilidad de N puede restringir el crecimiento de patógenos mediante diferentes mecanismos de defensa de las plantas, las diferentes formas de N (forma NH_4 y NO_3) tienen diversos efectos sobre la resistencia a las enfermedades de las plantas.
- En general, La fertilización con N aumenta la incidencia de enfermedades como, mildiú vellosa, mildiú polvoriento, roya de la hoja, podredumbre del tallo y enfermedades del carbon del arroz, mientras que puede disminuir enfermedades como moho gris y mancha foliar.
- El uso excesivo de fertilización con N promueve el crecimiento de tejido succulento, incrementa la concentración de aminoácidos apoplásticos y aumenta el dosel de la planta, lo que en última instancia favorece el crecimiento de esporas patógenas.

Efecto del NO_3^- vs NH_4^+ sobre la por patógenos

- Las enzimas de defensa también son un arsenal importante que poseen las plantas en la lucha contra el patógeno invasor, el N está involucrado en la estimulación de estas enzimas durante la interacción huésped-patógeno.
- Los genes que codifican las enzimas reguladoras clave de la vía de defensa, como la fenil amoníaco liasa (PAL), la cinamato-4-hidroxilasa (C_4H) y la 4-cumarato: CoA ligasa (4CL), están regulados al alza por la deficiencia de N, mientras que se ha observado una reducción en la actividad de PAL con la fertilización con N.
- La relación entre la fertilización con N y las enfermedades de las plantas aún no está clara, se requiere la comprensión del mecanismo fundamental para mejorar la producción de cultivos.

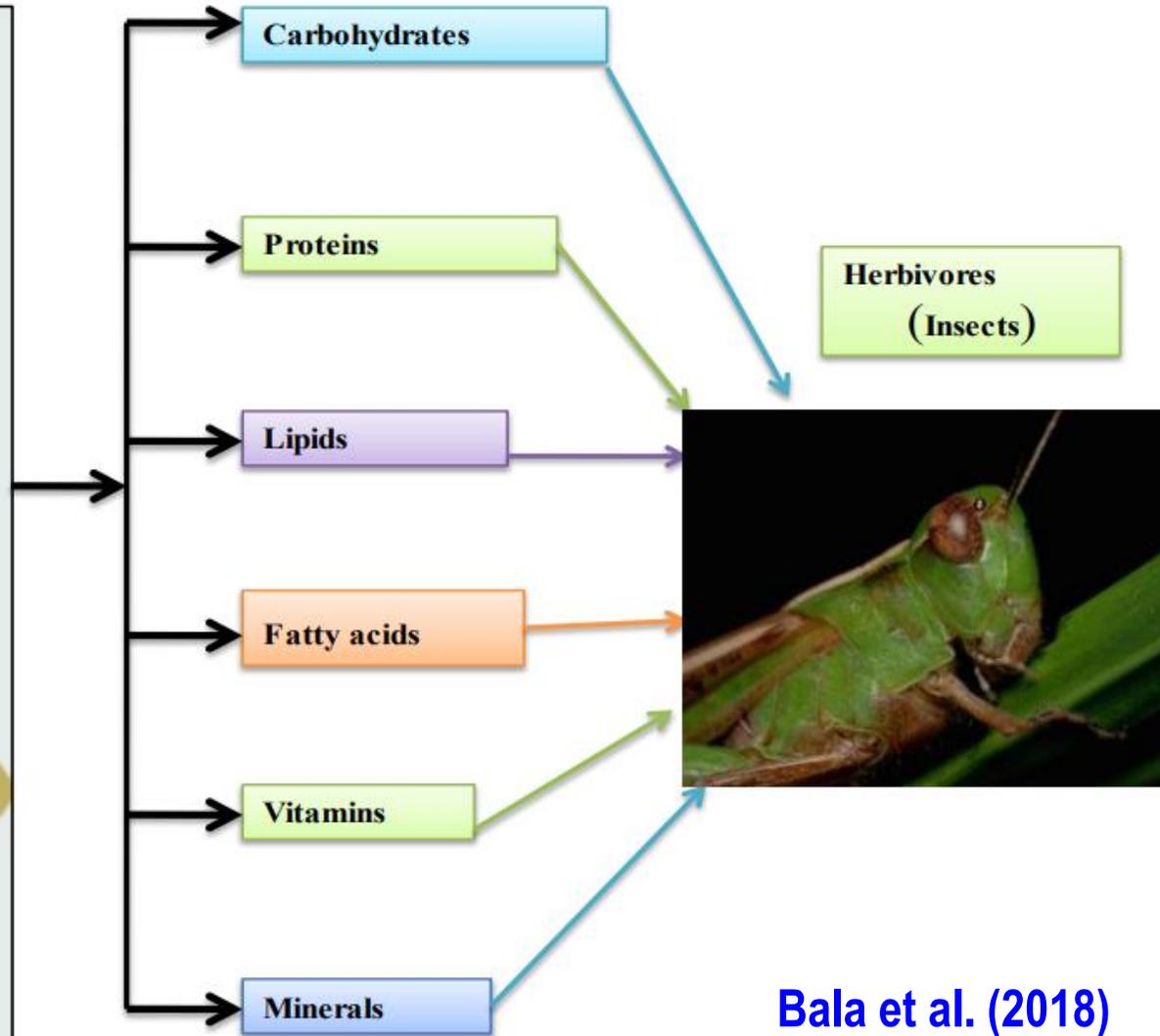
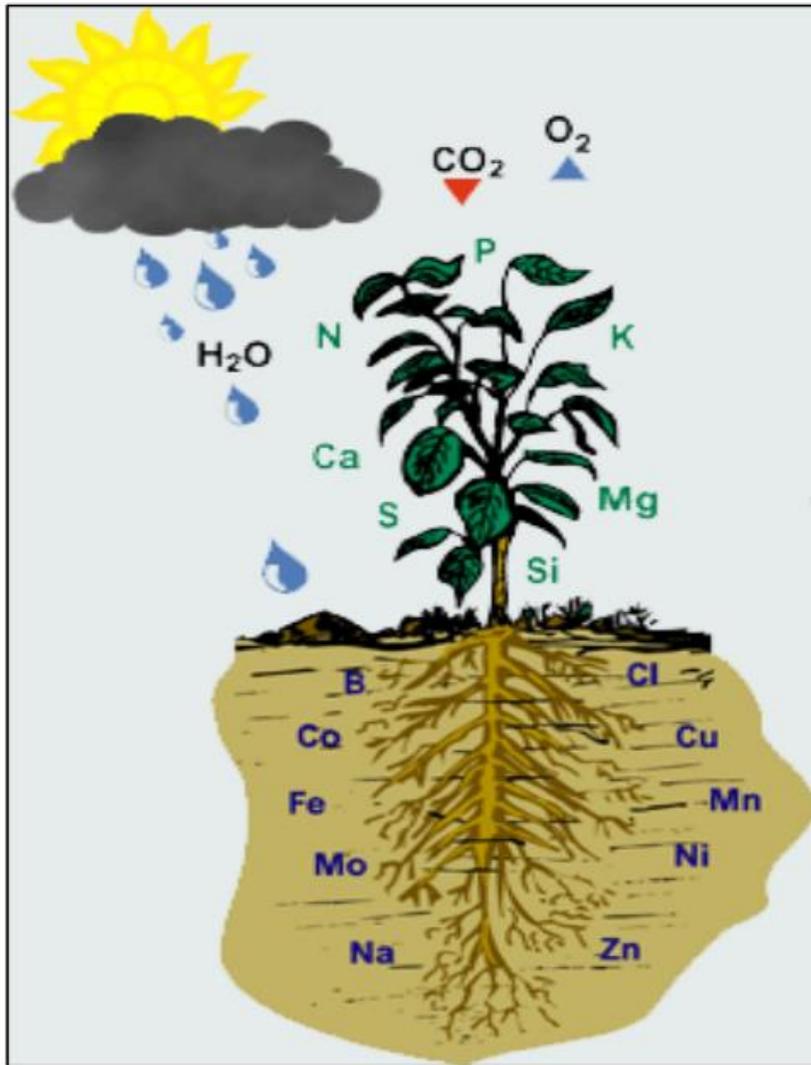
Efecto del NO_3^- vs NH_4^+ sobre la por patógenos

- Cuando un patógeno entra en contacto con un huésped, generalmente está hambriento de nutrientes, de modo que la rápida asimilación de los nutrientes del huésped es esencial para una patogénesis exitosa. Igualmente, el huésped puede reasignar sus nutrientes a las respuestas de defensa o moverlos lejos del sitio de la infección.
- La aplicación exógena de fertilizante N puede, por lo tanto, cambiar el equilibrio a favor del huésped o del patógeno. Por esto, el aumento de N aumenta o disminuye la resistencia de las plantas a los patógenos, lo que refleja las diferencias en las estrategias de infección de los patogénicos.

Efecto del NO_3^- vs NH_4^+ sobre la por patógenos

- Más allá de considerar solo el contenido de N, el uso de fertilizantes con NO_3^- o NH_4^+ afecta el resultado de las interacciones planta-patógeno. La alimentación con NO_3^- aumenta la resistencia mediada por la respuesta hipersensible (HR), mientras que la nutrición de amonio puede comprometer la defensa. Metabólicamente, el NO_3^- mejora la producción de poliaminas (espermina y espermidina), que son señalizadores de defensa establecidos, mientras que la nutrición de NH_4^+ que conduce a un aumento de los niveles de ácido γ -aminobutírico (GABA) que puede ser una fuente de nutrientes para el patógeno.
- Dentro de la economía defensiva del N, también se deben considerar los roles del óxido nítrico (NO). Esto se genera principalmente a partir de nitrito (NO_2^-) por la nitrato reductasa y es provocado tanto por patrones microbianos asociados a patógenos como por defensas mediadas gen por genes. La producción de óxido nítrico (NO) y las defensas asociadas son, por lo tanto, dependientes del NO_3^- y están comprometidas (disminuidas) por el NH_4^+ .

Flujo de nutrientes de las plantas a los herbívoros



Bala et al. (2018)

La disponibilidad relativa de varios nutrientes afecta el crecimiento y la aptitud de los herbívoros, cuya biomasa generalmente **contiene concentraciones mayores de elementos** en comparación con las plantas (Boswell et al. 2008)

Efectos del nitrógeno en varias especies de pulgones

Hemiptera			
Insect	Spp.	Effects	References
Aphids	<i>Aphis gossypii</i>	➤ Menor tiempo por generación, mayor incremento en la tasa de reproducción cuando se alimentó de crisantemo con un nivel de fertilizante del 150%.	Rostami <i>et al.</i> 2011
	<i>Macrosiphum euphorbiae</i>	➤ Relación positiva de fecundidad y supervivencia con aumento de la concentración de nitrógeno. ➤ El desarrollo del áfido fue significativamente menor en plantas no fertilizadas (bajo contenido de nitrógeno), lo que sugiere un efecto positivo del nitrógeno	Johanna <i>et al.</i> 2009
	Cereal Aphid (<i>Metopolophium dirhodum</i>)	➤ La longevidad no se vio afectada por el nivel de fertilización, pero la tasa intrínseca de incremento y fecundidad del áfido aumentó con cada nivel aplicado. ➤ Los áfidos criados en el invernadero vivieron más tiempo que los criados en el campo	Gash 2012
	<i>Myzus persicae</i>	➤ La población de áfidos aumentó con el tiempo en los niveles intermedios de N. Se mantuvo estable en el nivel más bajo de N y disminuyó en el nivel más alto de N. Cuatro semanas después del inicio de la infestación, el número de áfidos mostró una respuesta parabólica al nivel de N.	Sauge <i>et al.</i> 2010

Efecto del nitrógeno en los parámetros de crecimiento de la población de insectos:

- **Tasa de crecimiento y fecundidad potencial**
- **Tiempo de desarrollo y densidad de población**
- **Tasa intrínseca de aumento y esperanza de vida**
- **Tasa finita de aumento y tiempo medio de generación**

El nitrógeno es el principal nutriente requerido por los insectos y, en la mayoría de los casos, el principal factor limitante para su crecimiento óptimo (Rostami et al., 2012).

Normalmente la aplicación de fertilizantes nitrogenados aumenta:

- La preferencia de alimentación de los herbívoros
- El consumo de alimentos
- La supervivencia
- El crecimiento
- La reproducción y la densidad de población

Solo en algunos casos el nitrógeno reduce el rendimiento de los herbívoros

Efectos del nitrógeno en los thysanópteros, lepidópteros y coleópteros

Thysanoptera

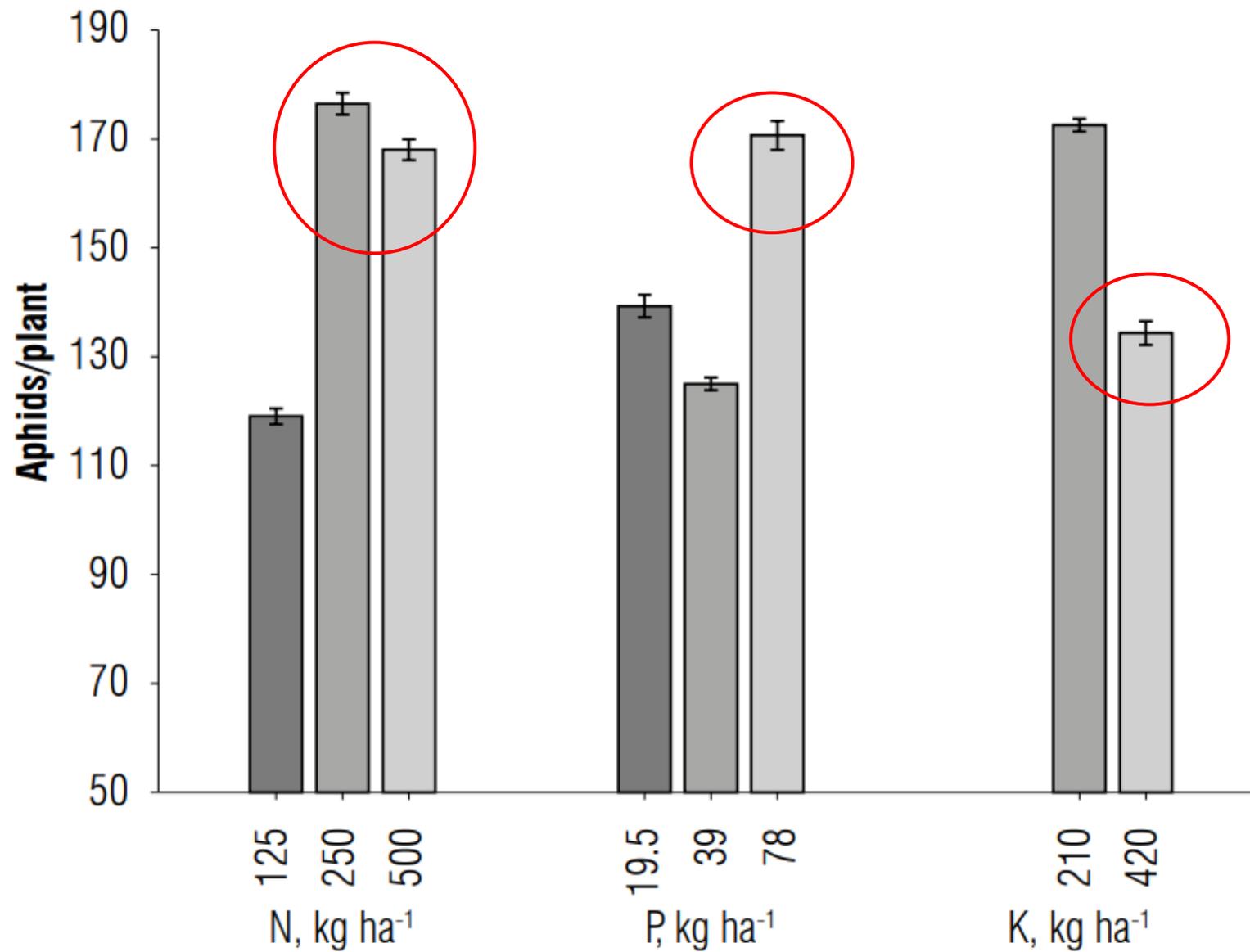
Insect	Species	Effects	References
Thrips	Western flower thrips (<i>Frankliniella occidentalis</i>)	La población aumentó en huéspedes que recibieron tasas más altas de fertilización nitrogenada. Las tasas de fertilización más altas produjeron flores que tenían mayor contenido de N, así como variaciones en los perfiles de aminoácidos durante el período de poblaciones máximas de trips. La abundancia de hembras adultas se correlacionó altamente con concentraciones florales de fenilalanina durante los picos de población.	Chen <i>et al.</i> 2004

Lepidoptera

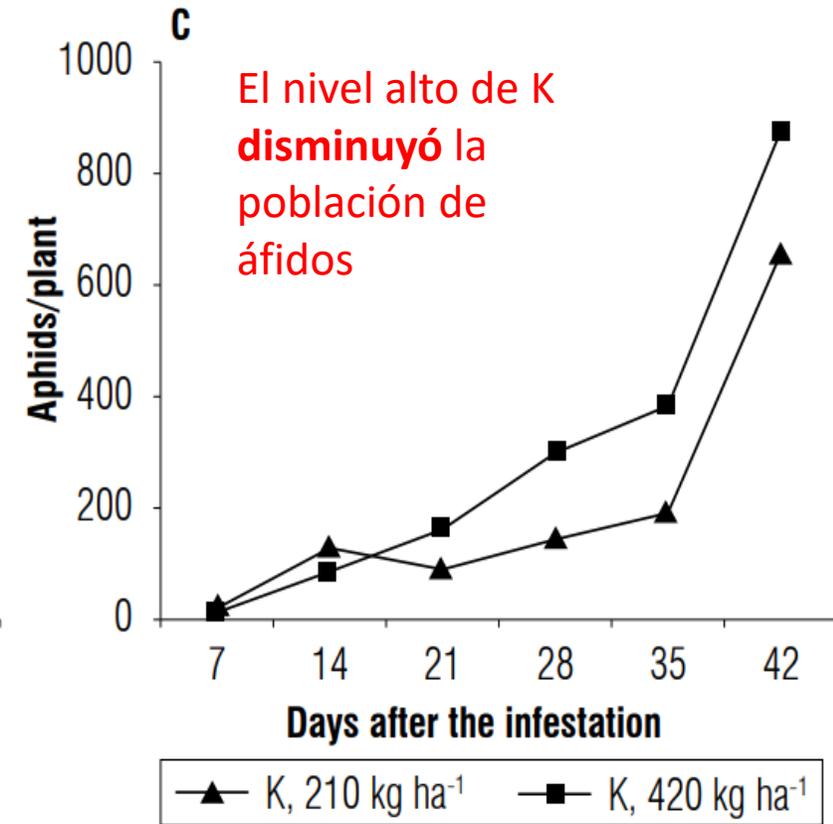
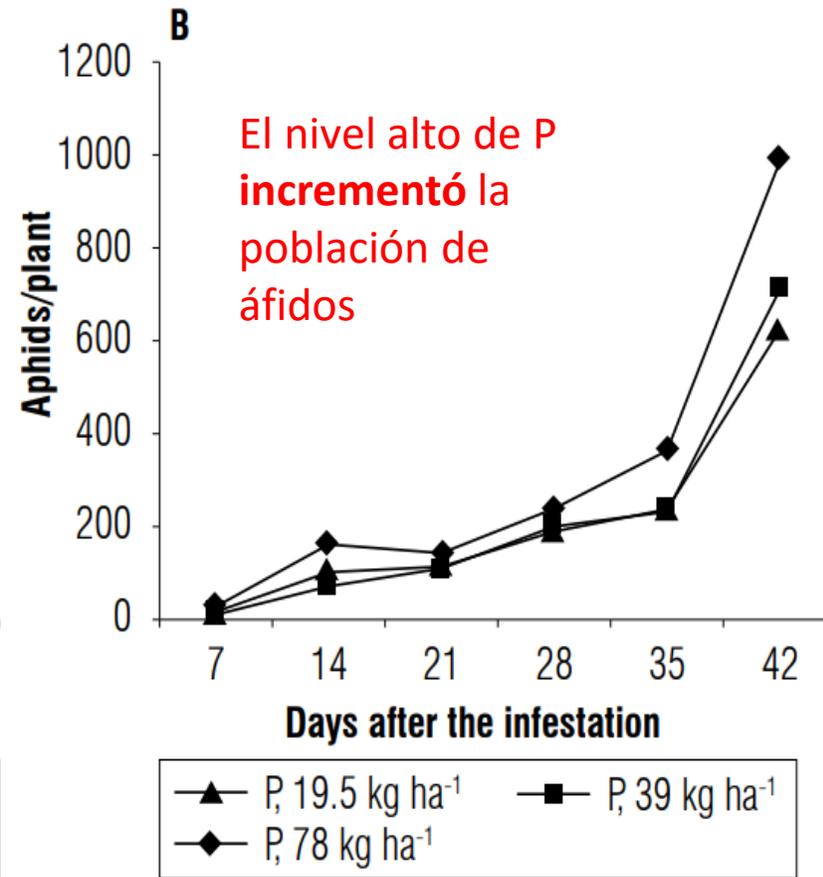
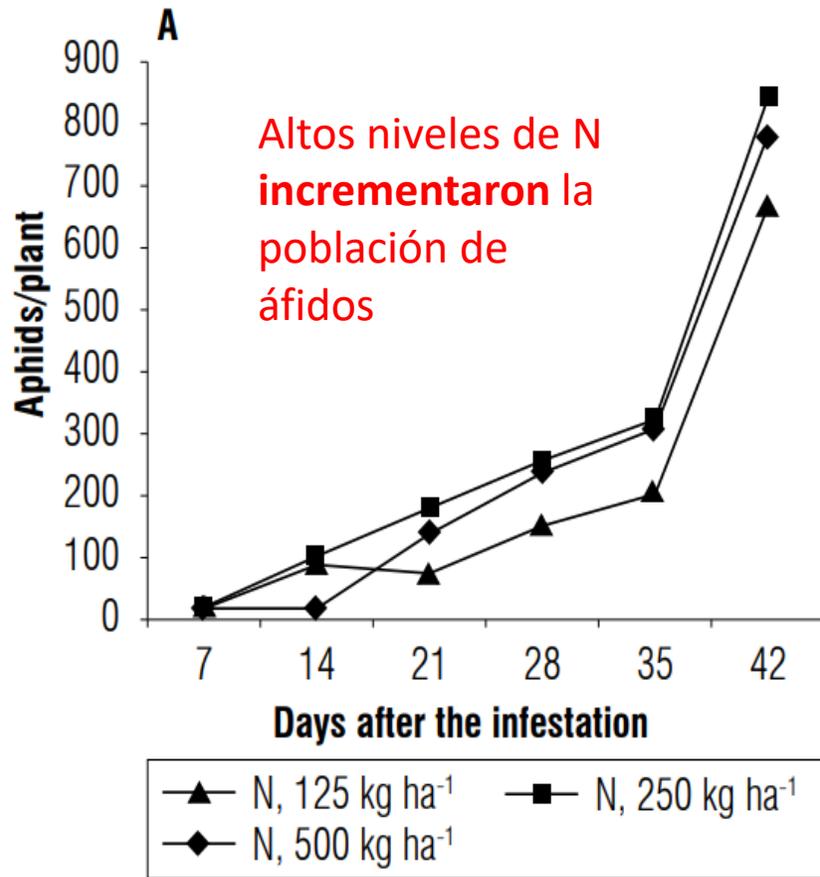
Insect	Spp.	Effects	References
Borers and leaf folders	<i>Scripophaga incertulas</i> and <i>Cnaphalocrocis medinalis</i>	La mayor incidencia se registró en arroz Bas-2 con un aumento en el nivel de nitrógeno. La incidencia de ambos insectos aumento en el mayor nivel de nitrógeno	Randhawa <i>et al.</i> 2013
Moths	Diamond back moth (<i>Plutella xylostella</i>)	La preferencia de alimentación en repollo aumentó debido a la dosis excesiva de nitrógeno	Altieri and Nicholas 2003

Coleoptera

Insect	Spp.	Effects	References
Beetle	<i>Lochmaea suturalis</i>	El efecto desestabilizador de la deposición de nitrógeno en las interacciones planta-herbívoro es la causa de un reciente aumento en la frecuencia de brotes periódicos	Brunsting <i>et al.</i> 1982



Relación entre la fertilización de N, P y K y la población de *M. sacchari/sorghhi*. Las barras indican el error estándar (SE)



Dinámica poblacional de *M. sacchari*/sorgho en respuesta a diferentes niveles de N, P y K

Efecto de N, P y K sobre componentes bioquímicos en la etapa vegetativa del sorgo

	Nitrogen (%)	Phosphorus (%)	Potassium (%)	Magnesium (%)	Total soluble proteins (%)	Total soluble sugars (g/100 g of fresh tissue)	Reducing sugars (mg of glucose/100 g of fresh tissue)
Fertilization levels							
Nitrogen levels							
125 kg ha ⁻¹	2.376	0.366	4.386	0.487	14.848	13.166	6.052
250 kg ha ⁻¹	2.600	0.382	4.331	0.597	16.251	12.195	6.215
500 kg ha ⁻¹	2.775	0.292	3.690	0.736	17.345	11.260	6.325
S. E. (±)	0.330	0.073	0.457	0.170	2.063	1.700	0.412
Phosphorus levels							
19.5 kg ha ⁻¹	2.559	0.284	4.119	0.490	15.993	10.667	6.361
39 kg ha ⁻¹	2.566	0.342	4.284	0.676	16.036	12.618	6.340
78 kg ha ⁻¹	2.644	0.417	4.056	0.586	16.528	12.925	6.803
S. E. (±)	0.330	0.073	0.457	0.170	2.063	1.700	0.412
Potassium levels							
210 kg ha ⁻¹	2.628	0.350	4.105	0.643	16.427	12.770	6.034
420 kg ha ⁻¹	2.450	0.336	4.229	0.798	15.313	10.618	6.903
S. E. (±)	0.330	0.073	0.457	0.170	2.063	1.700	0.412

S. E. = Standard Error of the mean.

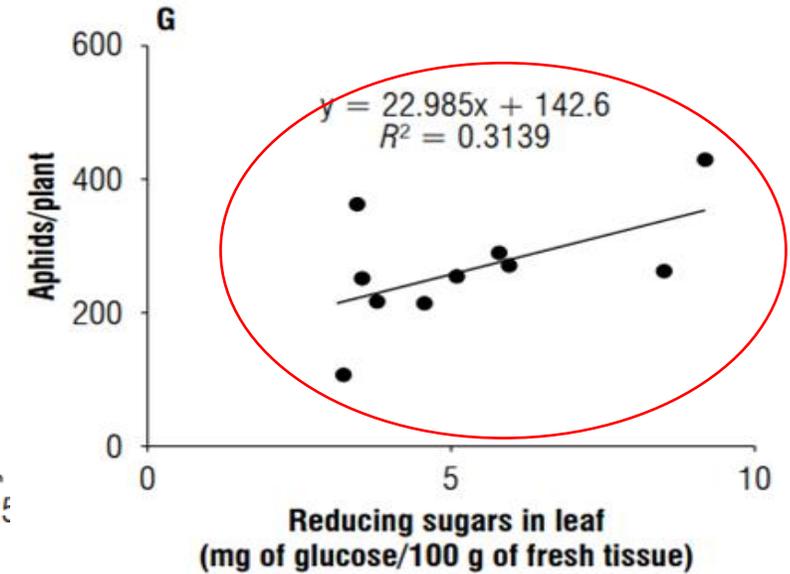
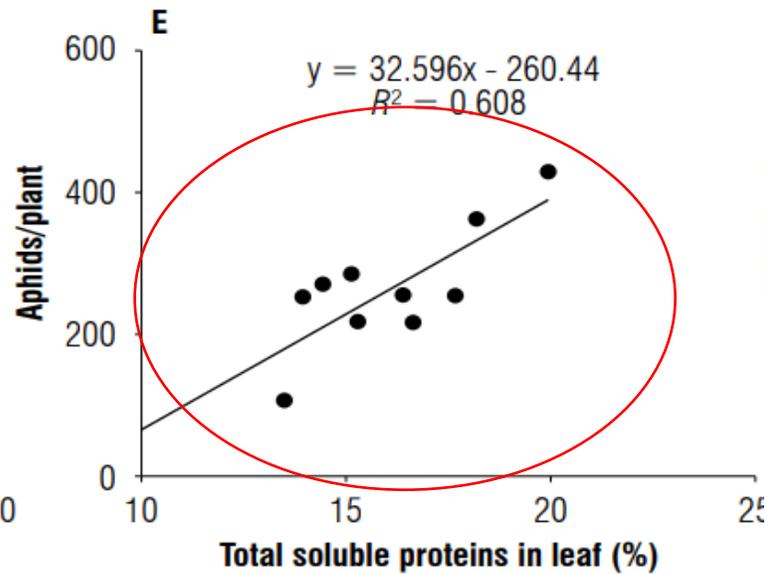
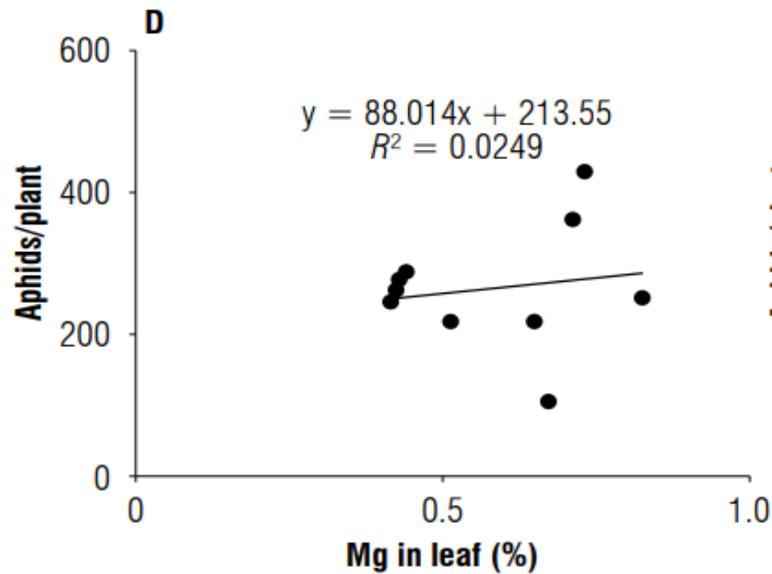
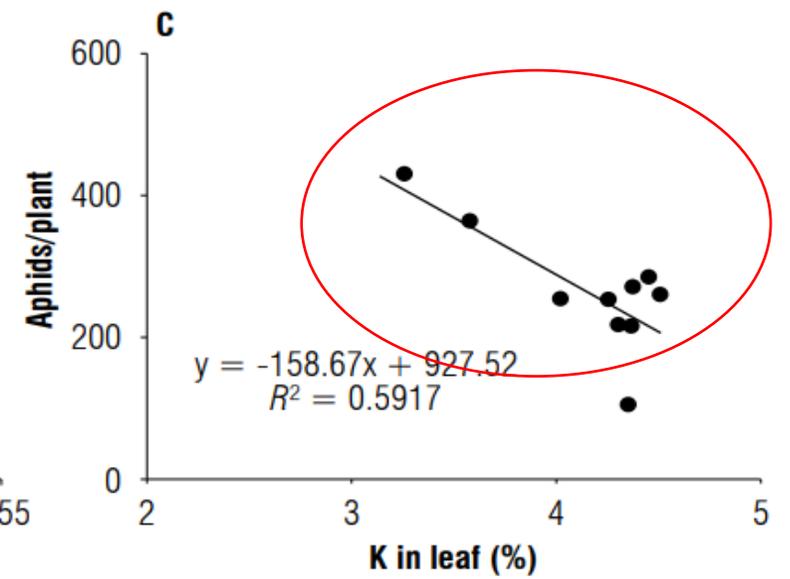
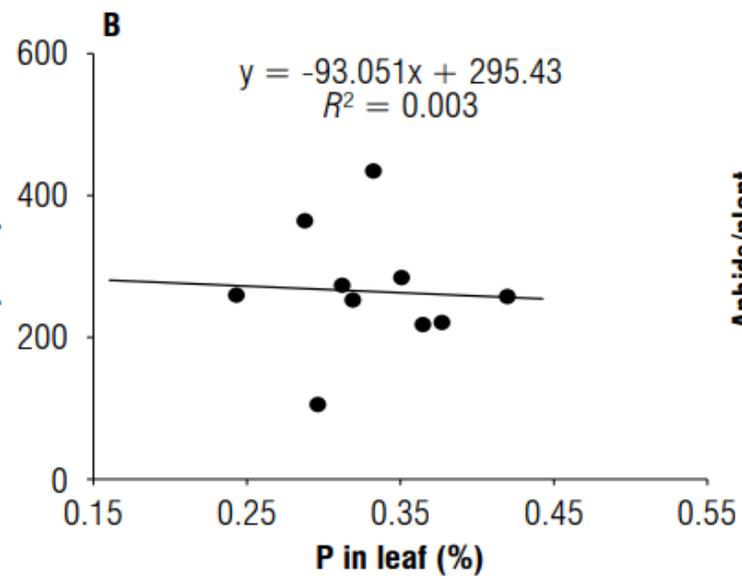
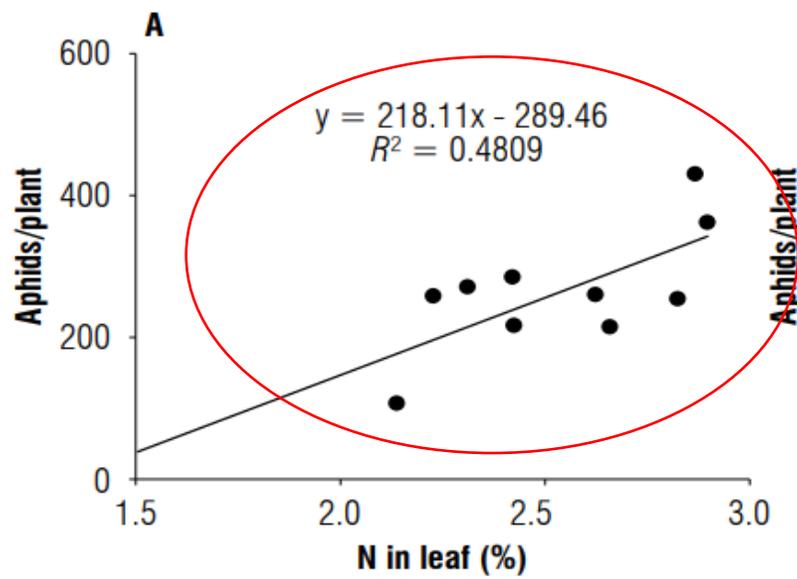
Schlickmann-Tank et al. (2020)

Efecto de N, P y K sobre componentes bioquímicos en la etapa reproductiva del sorgo

	Nitrogen (%)	Phosphorus (%)	Potassium (%)	Magnesium (%)	Total soluble proteins (%)	Total soluble sugars (g/100 g of fresh tissue)	Reducing sugars (mg of glucose/100 g of fresh tissue)
Fertilization levels							
Nitrogen levels							
125 kg ha ⁻¹	2.077	0.302	4.226	0.492	12.979	10.837	5.417
250 kg ha ⁻¹	2.689	0.309	3.942	0.495	16.807	8.681	5.525
500 kg ha ⁻¹	2.832	0.305	3.364	0.688	17.701	9.591	5.636
S. E. (±)	0.433	0.053	0.667	0.081	2.707	0.879	0.341
Phosphorus levels							
19.5 kg ha ⁻¹	2.399	0.234	3.874	0.478	14.997	9.519	6.281
39 kg ha ⁻¹	2.571	0.313	4.180	0.555	16.066	8.942	6.060
78 kg ha ⁻¹	2.590	0.362	4.141	0.646	16.188	11.410	6.504
S. E. (±)	0.433	0.053	0.667	0.081	2.707	0.879	0.341
Potassium levels							
210 kg ha ⁻¹	2.636	0.300	3.610	0.560	15.847	10.041	5.796
420 kg ha ⁻¹	2.524	0.320	4.547	0.552	15.774	8.688	3.517
S. E. (±)	0.433	0.053	0.667	0.081	2.707	0.879	0.341

S. E. = Standard Error of the mean.

Schlickmann-Tank et al. (2020)



Relaciones entre la población de *M. sacchari/sorghii* y los componentes bioquímicos: nitrógeno (N), fósforo (P), potasio (K), magnesio (Mg), proteínas solubles totales y contenido de azúcar reductor en plantas de sorgo. Schlickmann-Tank et al. (2020)

¿Por qué el nitrógeno aumenta la población de insectos?

- Las plantas que reciben fertilizante nitrogenado aumentan el peso seco de la planta, el área foliar, el contenido de clorofila de la hoja y el rendimiento del grano.
- Las dosis excesivas de fertilizante nitrogenado produce plantas verdes exuberantes, que atraerán a la población de plagas.
- El aumento de nitrógeno aumenta la biosíntesis o acumulación de proteínas, aminoácidos libres y azúcares que podrían atraer a los insectos.
- La aplicación de solo nitrógeno o una dosis alta de nitrógeno aumenta la población de áfidos, mientras que la aplicación de fósforo y potasio con o sin combinación de nitrógeno reduce la población de insectos.
- Las hembras de mosquita blanca se agregan y ovipositan más huevos en las hojas y en las plantas con mayor contenido de nitrógeno y agua.
- Dosis bajas de N aumentan el ácido clorogénico que actúa como un factor de resistencia en las plantas. Fenilpropanoides, ácido clorogénico y ácido feruloyl quínico están presentes en mayor cantidad en plantas resistentes a trips

CONCLUSIONES

- **El N influye en la estructuración de células y tejidos de la planta, haciéndola mas resistente o succulenta, lo que influirá en el ataque de plagas y enfermedades.**
- **La forma de absorción-asimilación del N influirá en el pH externo (medio de crecimiento) e interno (nivel celular) lo que influirá en el desarrollo de plagas y enfermedades.**
- **El metabolismo del N esta relacionado con la síntesis de diferentes compuestos orgánicos involucrados en los mecanismo de defensa o incidencia de las plagas y enfermedades.**



¡Gracias!

Preguntas y Respuestas

Dr. Joel Pineda Pineda
Departamento de Suelos, UACH
jpinedap@chapingo.mx

