

Sesión 1: Nutrientes esenciales

Función y síntomas de deficiencia

Objetivo: conocer los elementos nutricionales críticos para el crecimiento vegetal

Aeres

Objetivos de aprendizaje

- Reconocer los criterios de 'esencialidad' y el rol de cada nutriente.
- Distinguir macronutrientes y micronutrientes.
- Relacionar movilidad en planta con la expresión de síntomas.
- Identificar síntomas visuales típicos y causas frecuentes en hidroponía.
- Aplicar un protocolo básico de diagnóstico y corrección.

¿Qué es un nutriente esencial?

Criterios de esencialidad en nutrición vegetal (clásicos de Arnon y Stout):

- **Indispensable para el ciclo de vida**
Sin el elemento, la planta **no puede completar** su ciclo (crecer, florecer y producir semillas).
- **Insustituible**
La deficiencia **solo se corrige** aportando **ese elemento**; **ningún otro** lo reemplaza.
- **Función directa y específica**
El elemento interviene **directamente** en una función **fisiológica o estructural** esencial (p. ej., parte de una molécula clave, cofactor enzimático, estabilidad de membranas), no solo como estimulante general.

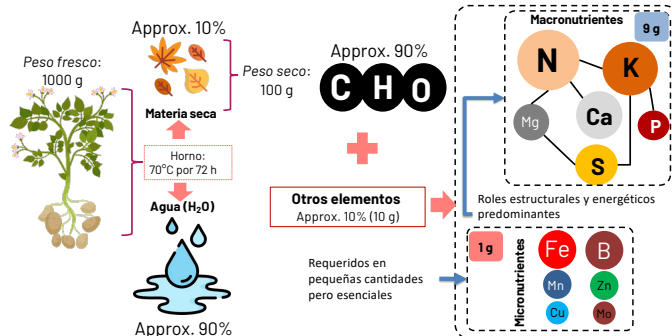
Nitrógeno (N)

- **Es esencial:** sin N la planta no completa su ciclo; no hay sustituto.
- **Funciones:** componente de aminoácidos, proteínas, clorofila y ácidos nucleicos; impulsa el crecimiento vegetativo.
- **Síntomas de deficiencia:** **clorosis general** comenzando en **hojas viejas** (nutriente móvil), tallos delgados y bajo vigor.
- **FVH:** en forraje verde hidropónico se ve como plántulas pálidas y menor biomasa; se corrige ajustando la dosis (sobre todo NO_3^-), CE y la relación $\text{NH}_4^+/\text{NO}_3^-$.

Silicio (Si)

- **No es esencial:** la mayoría de especies pueden **completar su ciclo** sin Si
- **Beneficios:** fortalece tejidos y paredes celulares, mejora tolerancia a estrés biótico/abiótico (hongos, salinidad, metales) y a déficit hídrico.
- **Síntomas al no aportarlo:** no hay "deficiencia".
- **Nota FVH:** en gramíneas (p. ej., cebada/avena/maíz) puede ser útil añadir **silicato/ácido silícico** estabilizado en la solución para mejorar rusticidad

Clasificación general



Funciones fisiológicas y síntomas foliares de deficiencia de los macronutrientes

Nutriente y forma de absorción	Concentración de materia seca (%)	Nutriente de movilidad floemática	Estratificación
Nitrógeno NO_3^- , NH_4^+ , pectinas y aminoácidos	1-5 En plantas jóvenes es alto	↑	BASÍPETA ACRÓPETA
Funciones fisiológicas Constituyente principal de: *Macromoléculas (p. ej., proteínas, ácidos nucleicos, coenzimas, componentes de membranas, clorofila). *Metabolitos orgánicos (p. ej., aminoácidos, aminas, fitohormonas, metabolitos secundarios). *Iones o moléculas de señalización (p. ej., NO_3^- , NH_4^+ , NO)	Síntomas de deficiencia *Clorosis general en las hojas más viejas. *Crecimiento atrofiado, hojas pequeñas, disminución del amigado de los brotes y floración temprana. *Con frecuencia se presenta antocianosis en hojas y tallos.	Imagen	

Estratificación: BASÍPETA, los síntomas aparecen primero en las hojas más jóvenes; ACRÓPETA, los síntomas aparecen primero en las hojas más viejas.

Funciones fisiológicas y síntomas foliares de deficiencia de los macronutrientes

Nutriente y forma de absorción	Concentración de materia seca (%)	Nutriente de movilidad floemática	Estratificación
Potasio K^+	1-6	↑	BASÍPETA ACRÓPETA
Funciones fisiológicas *Regulación osmótica y mantenimiento de la turgencia necesaria para el crecimiento celular. *Control de la apertura de los estomas y de los movimientos de la planta. *Equilibrio entre cationes y aniones, mantenimiento de la neutralidad eléctrica y del pH interno. *Estabiliza las uniones entre diferentes biomoléculas.	Síntomas de deficiencia *Clorosis en la punta de las hojas más viejas que avanza hacia necrosis en los bordes. *Tonalidad bronceada en el follaje. *Aspecto marchito por pérdida de turgencia y mal funcionamiento estomático.	Imagen	

Estratificación: BASÍPETA, los síntomas aparecen primero en las hojas más jóvenes; ACRÓPETA, los síntomas aparecen primero en las hojas más viejas.

Nutriente y forma de absorción

Calcio

Ca⁺²

Concentración de materia seca (%)

0.2–2

En plantas adultas es alto

Nutriente de movilidad floemática

Estratificación

BASÍPETA

ACRÓPETA

Funciones fisiológicas

- *Elemento estructural.
- *Contribuye a la estabilidad de las membranas, paredes celulares y del citoesqueleto.
- *Participa en procesos de señalización (Ca²⁺).
- *Refuerza la estructura celular, señala la presencia de patógenos y limita la degradación de las paredes por enzimas microbianas, siendo clave en la resistencia mecánica y bioquímica de las plantas.

Síntomas de deficiencia

- *Desintegración de los tejidos radiculares.
- *Manchas secas o necróticas en los bordes y puntas de las hojas.
- *Muerte de los puntos de crecimiento.
- *Aparición de manchas oscuras o hundidas en frutos y hortalizas.

Imagen

Estratificación: BASÍPETA, los síntomas aparecen primero en las hojas más jóvenes; ACRÓPETA, los síntomas aparecen primero en las hojas más viejas.

Nutriente y forma de absorción

Magnesio

Mg⁺²

Concentración de materia seca (%)

0.1–1

Nutriente de movilidad floemática

Estratificación

BASÍPETA

ACRÓPETA

Funciones fisiológicas

- *Elemento principal de la clorofila.
- *Interviene en las interacciones eléctricas y en la formación de complejos con enzimas y sustratos; por ejemplo, activa el ATP al unirse como Mg-ATP, lo cual es clave para los procesos de transporte que demandan energía.

Síntomas de deficiencia

- *Amarillamiento entre las nervaduras de las hojas más viejas, que con el tiempo se seca y forma zonas muertas.
- *Acumulación de azúcares y almidón dentro de los cloroplastos.

Imagen

Estratificación: BASÍPETA, los síntomas aparecen primero en las hojas más jóvenes; ACRÓPETA, los síntomas aparecen primero en las hojas más viejas.

Nutriente y forma de absorción

Fosforo

HPO₄²⁻ (suelos neutros a alcalinos)
H₂PO₄⁻ (suelos ácidos)

Concentración de materia seca (%)

0.3 – 0.5

Nutriente de movilidad floemática

Estratificación

BASÍPETA

ACRÓPETA

Funciones fisiológicas

- *Elemento estructural de los ácidos nucleicos y los fosfolípidos.
- *Participa en el metabolismo energético (ATP y NADPH).
- *Interviene en la señalización y activación enzimática mediante fosforilación.
- desfosforilación.
- [añade un grupo fosfato (PO₄⁺) a una molécula]

Síntomas de deficiencia

- *Antocianosis. [coloración roja, púrpura o violácea debida a la acumulación de pigmentos llamados antocianinas]
- *Hojas de color verde oscuro y/o púrpura.

Imagen

Estratificación: BASÍPETA, los síntomas aparecen primero en las hojas más jóvenes; ACRÓPETA, los síntomas aparecen primero en las hojas más viejas.

Nutriente y forma de absorción

Azufre

SO₄⁻²

Concentración de materia seca (%)

0.1–0.5

Nutriente de movilidad floemática

Estratificación

BASÍPETA

ACRÓPETA

Funciones fisiológicas

- *Constituyente de metabolitos orgánicos y componentes celulares (p. ej., cisteína, metionina, glutatión, ferredoxina y metabolitos secundarios como glucosinolatos y aliinas).
- *Los compuestos reducidos de S principalmente glutatión, se exportan desde las hojas a través del floema a los sitios de demanda para la síntesis de proteínas.

Síntomas de deficiencia

- *Clorosis en las hojas jóvenes.
- *Crecimiento atrofiado.
- *Antocianosis.
- *El crecimiento de los brotes disminuye más que las raíces.
- *La disminución en la concentración de cisteína, disminuye la calidad nutricional.

Imagen

Estratificación: BASÍPETA, los síntomas aparecen primero en las hojas más jóvenes; ACRÓPETA, los síntomas aparecen primero en las hojas más viejas.

Funciones clave – Micronutrientes
Hierro (Fe): síntesis de clorofila; transporte electrónico.
Manganeso (Mn): fotólisis del agua; enzimas de defensa.
Zinc (Zn): auxinas, síntesis de triptófano, elongación.
Cobre (Cu): lignificación; enzimas redox.
Boro (B): pared celular y meristemas; polinización.
Molibdeno (Mo): reducción de nitratos; fijación simbiótica.
Cloro (Cl), Níquel (Ni): osmorregulación/ureasa (trazas).

Movilidad y expresión de síntomas			
Nutriente	Movilidad	Dónde inicia	Rasgos típicos
N	Móvil	Hojas viejas	Clorosis general; vigor bajo
P	Móvil	Hojas viejas	Oscurecimiento/antocianinas
K	Móvil	Hojas viejas	Bordes necróticos/quemados
Mg	Móvil	Hojas viejas	Clorosis internerval con venas verdes
Mo	Móvil	Hojas viejas	Similar a N; mal uso de NO ₃ ⁻
Ca	Inmóvil	Brote nuevo	Necrosis apical; BER
B	Inmóvil	Brote nuevo	Deformación/muerte apical
Fe	Inmóvil	Hojas jóvenes	Clorosis internerval en hojas nuevas
Mn	Poco móvil	Hojas jóvenes	Moteado fino
Zn	Poco móvil	Hojas jóvenes	Hojas pequeñas; entrenudos cortos
Cu	Poco móvil	Hojas jóvenes	Marchitez apical

Diagnóstico visual rápido

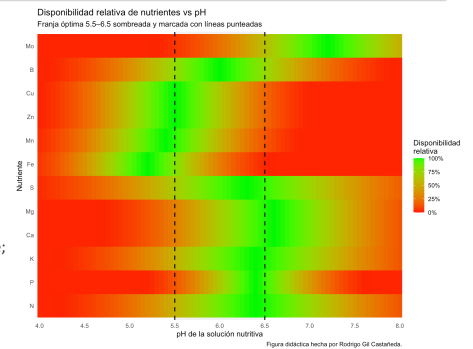
Hallazgo	Posibles causas nutricionales	Verificar antes de corregir
Clorosis en hojas nuevas	Fe, Zn, Mn, B, Cu	pH alto (>6.5), raíces, oxigenación
Clorosis internerval en viejas	Mg, K	CE adecuada, antagonismo K/Mg
Bordes quemados	K, Ca	Transpiración/ventilación, uniformidad riego
Necrosis en brotes	Ca, B	Riego irregular, calor, pH 5.5–6.5
Crecimiento lento/morado	P	Temperatura de raíz, oxigenación
Amarilleo general	N	Dosis total vs crecimiento, pérdida por lixiviación

pH y disponibilidad

Óptimo general en hidroponía:
5.5–6.5 para máxima
disponibilidad.

Micros (Fe, Mn, Zn, Cu)
sensibles a pH alto; Mo mejora
con pH más alto.

Medir y ajustar pH diariamente;
evitar oscilaciones bruscas.



Interacciones y antagonismos (Cornelis Mulder (1953))

Transportadores catiónicos de membrana (poco selectivos)

Exceso de NH_4^+ agrava deficiencia de Ca^{2+}

Desplaza Ca^{2+} en suelos sódicos

El exceso de Ca^{2+} en suelos secos y alcalinos
dificulta la absorción de B.

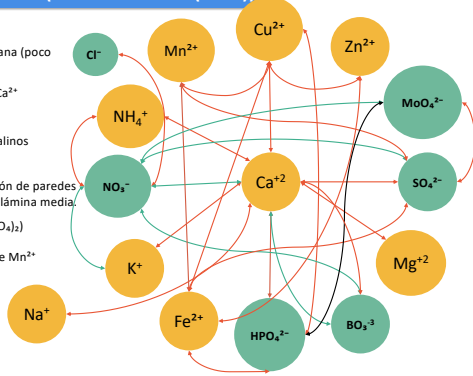
Ca^{2+} y B participan juntos en la formación de paredes
celulares y estabilidad de la pectina en lámina media.

pH > 6.5 (precipitación alcalina: $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$)

Sulfatos acidificantes ↑ disponibilidad de Mn^{2+}

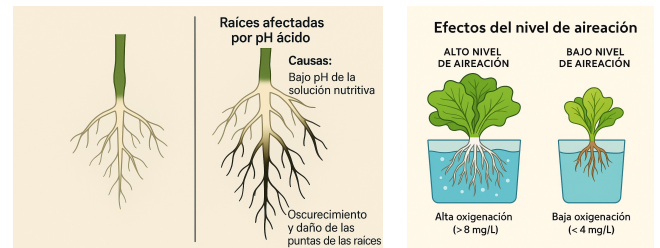
Ambos nutrientes son imprescindibles
para **síntesis proteica**

Competencia por transportadores de
cationes metálicos

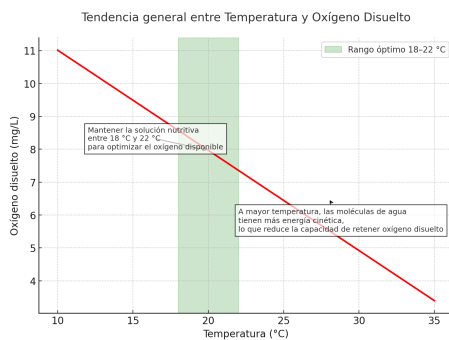


Relaciones planta - solución de fertiriego

Interacción entre raíces y la solución nutritiva.



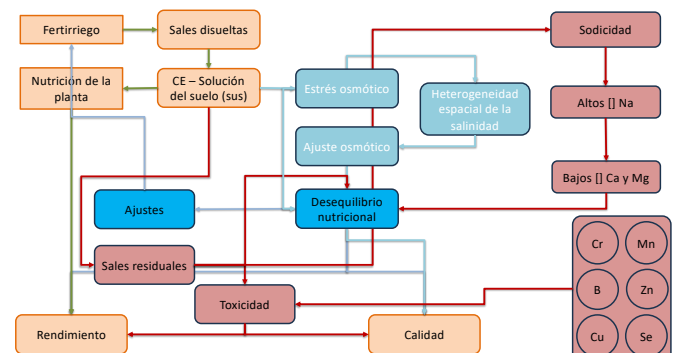
Monitoreo y medición



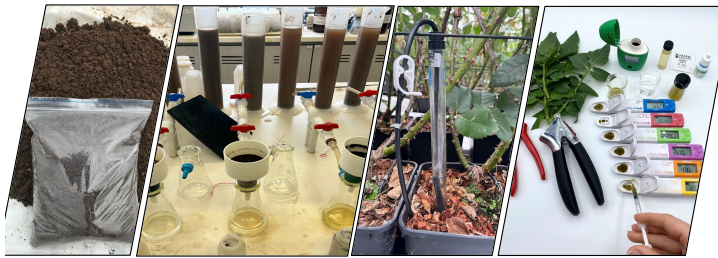
Factores que pueden modificar el pH de la solución nutritiva



La salinidad afecta de manera distinta a los cultivos de invernadero.



Evaluación nutricional



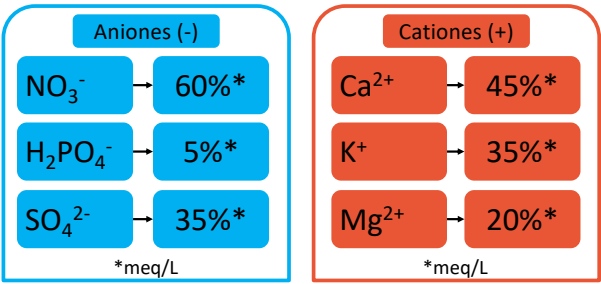
Análisis de suelos & aguas

Métodos estándar para suelos y sustratos bajo invernaderos

Seguimiento de propiedades de la solución del suelo (sustrato)

Seguimiento del estado nutricional de la planta.

Una solución universal



THE SELECTIVE CAPACITY OF PLANTS FOR IONS AND ITS IMPORTANCE FOR THE COMPOSITION AND TREATMENT OF THE NUTRIENT SOLUTION
Abram A. Steiner

Acta Horticulturae 98, 1980
Recirculating water culture