

**MANUAL DE PRÁCTICAS DE
FISIOLOGÍA VEGETAL**

Víctor Hugo Lallana

María del Carmen Lallana

570	Lallana, Víctor Hugo
CDD	Manual de prácticas de fisiología vegetal / Víctor Hugo Lallana ; María del Carmen Lallana. - 1a ed. 1a reimp. - Paraná : Universidad Nacional de Entre Ríos. UNER, 2017. 226 p. ; 27 x 19 cm. - (Serie Cátedra ; 3)
	ISBN 978-950-698-329-1
	1. Fisiología Vegetal. I. Lallana, María del Carmen II. Título

Primera edición, 300 ejemplares, 2014.

Directora de EDUNER: María Elena Lothringer

Coordinación de la edición: Gustavo Esteban Martínez

Corrección: Ana Lía Pujato

Diseño gráfico: Gabriela Resett

Foto de tapa: *Bletilla striata* en cultivo *in vitro*. Víctor Hugo Lallana, 2012

© LALLANA, Víctor Hugo; LALLANA, María del Carmen

© EDUNER. Editorial de la Universidad Nacional de Entre Ríos

Entre Ríos, Argentina, 2017.

Facultad de Ciencias Agropecuarias, Resolución C.D. N° 6.794/12

Queda hecho el depósito que marca la ley 11 723.

No se permite la reproducción parcial o total, el almacenamiento, el alquiler, la transmisión o la transformación de este libro, en cualquier forma o por cualquier medio, sea electrónico o mecánico, mediante fotocopias, digitalización u otros métodos, sin el permiso previo y escrito del editor.

Su infracción está penada por las leyes 11 723 y 25 446.

Eva Perón 24, E3260FIB

Concepción del Uruguay, Entre Ríos, Argentina

eduner@uner.edu.ar

Editado e impreso en Argentina

Colección Cátedra

ISBN 978-950-698-329-1

Nutrición vegetal

A. Análisis foliar. Evaluación de la concentración de fósforo

B. Diagnóstico visual de deficiencias minerales en plantas

C. Sistemas de cultivo hidropónicos

NUTRICIÓN VEGETAL

Se entiende por Nutrición Vegetal, la parte de la Fisiología Vegetal que estudia los procesos relacionados con la absorción, metabolismo y transporte de los elementos minerales y el papel que éstos desempeñan en la vida de las plantas.

La casi totalidad del organismo vegetal se compone de tres elementos C, H y O. El C procede del CO₂ atmosférico que es incorporado en el proceso de fotosíntesis y el H tiene su origen en el agua absorbida por las raíces. El O₂ proviene en parte de esa agua y en parte de los gases atmosféricos (CO₂ y O₂).

Las plantas no pueden vivir y desarrollarse sobre la base de estos tres elementos solamente sino que contienen y necesitan otros elementos minerales proporcionados por el suelo y absorbidos a través del sistema radical. La planta secreta sustancias químicas a través de los pelos absorbentes, producto de su metabolismo, que le permiten el intercambio catiónico y aniónico en la interfase suelo-planta. Estos elementos se toman en forma iónica y se incorporan al citoplasma o se almacenan en la vacuola. Deben ser tomados por la planta en una cantidad suficiente y además en una proporción adecuada para que tenga lugar un metabolismo regulado, una buena producción y un buen desarrollo.

Datan de antiguo los estudios realizados desarrollando diversas técnicas para conocer el comportamiento de los vegetales ante la carencia de un elemento dado. El cultivo en soluciones nutritivas sin suelo (hidroponia) permitió el control eficiente de los elementos puestos a disposición de la planta y sus resultados condujeron a establecer ciertos principios que rigen la nutrición vegetal. De esta manera se demostró la esencialidad de algunos elementos, y son dos los principales criterios para establecerla:

- **Criterio directo:** un elemento es esencial cuando puede identificárselo formando parte de una molécula vital, sin la cual la planta no podrá continuar viviendo o completar su ciclo biológico (por ej: Fe en los citocromos, Mg en la clorofila).

- **Criterios indirectos:** un elemento es esencial cuando:

a. Su deficiencia priva a la planta de completar su ciclo vital, o provoca graves anormalidades en su crecimiento.

b. Esta deficiencia es específica para un elemento dado, y es corregida solamente cuando el mismo es suministrado.

c. El elemento está directamente implicado en la nutrición vegetal, ya como constituyente de un metabolito esencial o que sea requerido para el funcionamiento de una enzima.

d. Es imprescindible para todas, o al menos para la mayoría de las especies cultivadas.

Según la cantidad utilizada por las plantas, los elementos se agrupan en **macronutrientes** (N, P, K, Ca, Mg, S), requeridos en concentraciones de gramos por litro en las soluciones nutritivas y **micronutrientes** (Fe, Cu, Zn, Mn, B, Cl, Mo, Ni), requeridos en concentraciones de miligramos por litro.

En general, la composición de una planta es un indicador de la respuesta al rendimiento, muchas veces más influenciado por los cambios ambientales, lo que dificulta su interpretación. Las interpretaciones por lo común se basan en el conocimiento de la composición mineral ideal para una determinada especie, la cual ha sido medida en las mejores condiciones de crecimiento, apuntando a rendimientos máximos. Si se varía en forma experimental el contenido de un solo elemento esencial en una planta, alterando su suministro y manteniendo constantes todos los demás, se obtienen efectos sobre el crecimiento de acuerdo con la curva de la Figura 1.

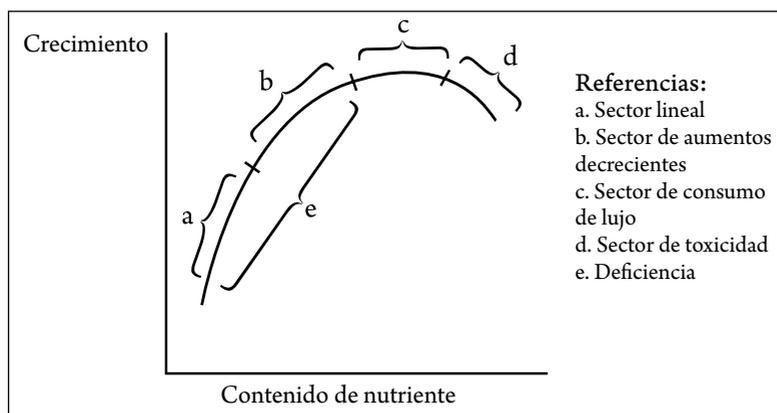


FIGURA 1. Relación entre el contenido de cierto elemento en la planta y el crecimiento. Curva generalizada en escala arbitraria (tomada de Sívori *et al.*, 1980)

Como se observa, con muy bajo contenido todo incremento resulta en un aumento proporcional del crecimiento (sector «a» de la curva). Los posteriores aumentos de contenidos traen aparejado un acrecentamiento, pero con

declinación progresiva (sector «b» de la curva). Los sectores «a» y «b» de la curva constituyen la «**zona de deficiencia**». Su límite superior está en el punto en que un aumento en el contenido de nutrientes ya no modifica el crecimiento de la planta (sector «c»). Allí es donde se acumula una cantidad mayor que la necesaria, por lo cual recibe el nombre de «**zona de consumo de lujo**». Si el contenido del elemento continúa incrementándose se llega a un punto en que el crecimiento disminuye por un efecto de toxicidad (sector «d»).

La composición de la planta puede variar mucho, en especial en el rango de consumo de lujo, sin tener ninguna influencia sobre el crecimiento y/o el rendimiento.

Se conoce que son numerosos los factores que intervienen en el contenido mineral de las plantas, entre ellos: especificidad o selección iónica (cultivo), disponibilidad hídrica y de nutrimentos en el medio de crecimiento, edad de la planta y órganos de la misma.

A. ANÁLISIS FOLIAR. EVALUACIÓN DE LA CONCENTRACIÓN DE FÓSFORO

INTRODUCCIÓN

Son conocidas las ventajas del análisis foliar para diagnosticar desórdenes nutricionales de los cultivos, sin embargo son escasos los trabajos que relacionan los contenidos minerales en las hojas y el rendimiento de los cultivos hortícolas.

El cultivo de tomate en invernadero difiere de otros cultivos en que por lo general existe un programa continuo de fertilización a través de todo el ciclo de la planta. El análisis de tejido foliar podría adecuarse bien, como una guía para controlar y regular ese programa de fertilizaciones.

La interpretación del contenido de nutrimentos en la planta es compleja y existen varias formas de realizarla. Una de las más usadas es el **diagnóstico foliar basado en el nivel crítico**.

Se define como nivel crítico o concentración límite el contenido de un nutriente en el tejido vegetal, por debajo del cual se afecta el crecimiento. Éste es el valor clave para la ponderación del análisis de nutrimentos y posible aplicación de fertilizantes.

Este tipo de diagnóstico requiere que la composición de la planta se compare con valores estándares para un determinado estado fenológico o de crecimiento y para un órgano establecido. Sin embargo, la metodología sustentada en el valor crítico o rango de nutriente crítico para diagnosticar problemas de nutrición vegetal en plantas está severamente limitada por la variación en el contenido de los nutrimentos en relación con los factores antes mencionados, y por eso resulta muy difícil establecer el requerimiento absoluto de las plantas.

Con frecuencia estos rangos son muy amplios y además el método tiene en cuenta cada nutriente en particular, sin establecer el orden de importancia o de balance

El nivel crítico interpretado bajo la forma de un fertigrama, constituido por círculos concéntricos con divisiones radiales para cada nutriente analizado, y su correlación con la producción del cultivo en estudio presenta mayores ventajas que la interpretación tradicional del nivel crítico.



A. ANÁLISIS FOLIAR. EVALUACIÓN DE LA CONCENTRACIÓN DE FÓSFORO

El objetivo del trabajo será evaluar la concentración de fósforo en hojas de tomate mediante la técnica de mineralización húmeda (digestión nitroperclórica) y de valoraciones colorimétricas.

TÉCNICA OPERATORIA

Se utilizan muestras compuestas y cada una está formada por 20 hojas de tomate. La hoja seleccionada es la 5ª desde el ápice sobre el tallo principal, que en general es la primera totalmente desarrollada y no presenta las grandes variaciones de las apicales ni la inercia fisiológica de las basales.

Para el análisis de nutrimentos totales en tejido, el material muestreado se lava y se seca (48 h a 70 °C) y es finamente molido. El fósforo se obtendrá del extracto de la mineralización seca y de valoraciones colorimétricas.

De la muestra, ya envasada adecuadamente molida y seca, se extrae homogeneizando bien una cantidad determinada y se lleva a estufa por 24 horas. De esta muestra, secada a 70 °C, se pesan 500 mg y se colocan en cápsula de porcelana.

Calcinación: la cápsula se coloca en mufla a 500 °C durante 4 h. Se deja enfriar dentro de la mufla hasta el día siguiente.

Extracto: a las cenizas obtenidas por calcinación se les agrega en este orden: 3 mL de agua destilada y 1 mL de ácido clorhídrico. Homogeneizar, filtrar sobre un balón de 100 mL con embudo y papel de filtro. En forma paralela realizar un blanco. Enrasar a 100 mL, extraer una alícuota de 1 mL y colocarla en un balón de 50 mL.

Determinación del color: a la alícuota del extracto, en el balón de 50 mL, añadirle con jeringa 8 mL del reactivo color. Enrasar con agua destilada. Dejar desarrollar color por 20 minutos, dependiendo de la temperatura del ambiente (con bajas temperaturas dejar más tiempo).

Cuantificación de P: leer en el espectrofotómetro a una longitud de onda de 670 nm. Previamente se realiza el calibrado del equipo con una solución patrón de $\text{PO}_4\text{H}_2\text{K}$ de 5 ppm (se prepara un blanco, patrón a 0,4 ppm y patrón a 0,8 ppm). Registrar la lectura obtenida.

Cálculos:

$$\%P = \frac{100 \text{ mL} \times 50 \text{ mL} \times 0,00001 \times \text{ppm curva}}{0,05 \text{ g} \times 1 \text{ mL}} = 1 \times \text{ppm curva}$$

100 mL = volumen del extracto

50 mL = volumen de lectura

0,00001 = factor para llevar las ppm a %

0,05 g = peso de la muestra

1 mL = alícuota

Soluciones: se proveerán ya preparadas para agilizar la realización del trabajo práctico.

Para desarrollo de color usar mezcla sulfomolibdica: 136 mL de SO_4H_2 concentrado. Enrasar a 1000 mL con agua destilada. Molibdato de amonio al 4 %: tomar 20 g de molibdato de amonio, disolver con 250 mL de agua caliente a 60 °C. Enrasar a 500 mL. La mezcla sulfomolibdica se prepara en una proporción de 1000 mL de ácido sulfúrico y 300 mL del molibdato de amonio.

Acido ascórbico 0,1 M: colocar 0,8806 g de ácido ascórbico en 50 mL de agua destilada. Esta solución se debe preparar en el momento de usarla, ya que es muy inestable.

Tartrato de antimonio y potasio: mezclar 0,2743 g de tartrato en 100 mL de agua destilada (ó 0,1371 g de tartrato de antimonio y potasio en 50 mL de agua destilada).

Proporción de **mezcla a utilizar para 30 muestras***:

162,5 mL de mezcla sulfomolibdica

75 mL de ácido ascórbico 0,1 M

12,5 mL de tartrato

*Para diferente cantidad de muestras calcular las proporciones por regla de tres.

Solución patrón: 0,4393 g de $\text{PO}_4\text{H}_2\text{K}$ en 1000 mL de agua destilada. De esta solución se toman 50 mL con una pipeta y se lleva a un volumen de 1000 mL. Ésta es la solución patrón de 5 ppm. Se le puede agregar unas gotas de tolueno para mantener la solución por más tiempo.

Patrón de 0,4 ppm: pipetear 4 mL de la solución de 5 ppm, añadirle 8 mL de reactivo color y enrasar a 50 mL.

B. DIAGNOSIS VISUAL DE DEFICIENCIAS MINERALES EN PLANTAS

INTRODUCCIÓN

Síntomas de deficiencias: son las anormalidades morfológicas y de color que presenta el vegetal cuando un elemento esencial está en deficiencia. El reconocimiento de los efectos particulares de cada elemento constituye la base del método de «**Diagnosis visual de deficiencias minerales**».

La aparición de los síntomas de deficiencias manifiesta situaciones extremas y tardías, por lo que agronómicamente no se debe esperar a que ocurra. Entre otros, el análisis de tejidos («análisis foliar») permite anticipar una corrección cuando aún no se ha afectado en forma considerable la producción.

La hidroponía es un excelente método para el estudio de los síntomas de deficiencias minerales, pero suele tener problemas de aireación de las soluciones y la formación de algas en los recipientes. Por lo tanto es frecuente colocar los plantines en medios inertes (perlita, vermiculita o mezcla de ambas) y regarlos con las soluciones nutritivas.

Solución nutritiva completa es aquella capaz de sostener todo el ciclo vital de la planta. Un cambio en la fórmula completa, de modo que un elemento esté ausente nos proporciona una solución con la que se puede estudiar los síntomas de deficiencia provocados por la falta de ese elemento.

Como es imposible eliminar un elemento de la solución sin alterar de alguna manera el balance iónico, se reemplaza el elemento en estudio por una cantidad equivalente de otro. Por ejemplo: si se está estudiando un catión se agrega una cantidad equivalente de Na; o de Cl, si lo que se estudia es un anión; a esta solución se la denomina **solución de reemplazo**.

Las soluciones nutritivas deben cumplir una serie de requisitos: a) tener el mismo potencial osmótico, en general no inferior a -2 bares; b) el pH debe mantenerse cercano a la neutralidad, pues se afecta la absorción de sales. Por ejemplo a pH alcalino los iones CO_3H^- se acumulan y pueden conducir a una disminución en la absorción de Cl^- y NO_3^- y a un aumento proporcional en la absorción de cationes; también se deprime la absorción de P porque la forma en

que mejor se absorbe PO_4H_2^- cambia a PO_4H^{-2} y PO_4H^{-3} . A pH muy ácidos se deprime la absorción de cationes. Por otra parte se debe tener en cuenta que las soluciones deben estar balanceadas, determinando precisamente la proporción en que deben agregarse las sales. Algunos iones inhiben la absorción de otros o bien contrarrestan su acción (antagonismo). Por ejemplo: Na^+ y Ca^{+2} actúan en forma antagónica sobre la permeabilidad de la membrana, el Ca^{+2} disminuye la permeabilidad, mientras que el Na^+ la aumenta.



B. DIAGNOSIS VISUAL DE DEFICIENCIAS MINERALES EN PLANTAS

El objetivo de este trabajo práctico será visualizar y diagnosticar las principales deficiencias minerales en plantas cultivadas en hidroponia, sobre sustrato inerte (perlita).

TÉCNICA OPERATORIA

1. Extraiga cuidadosamente plantines de la especie a utilizar y lávelos abundantemente hasta separar todo resto de tierra, vermiculita o perlita (según donde hayan crecido). Enjuague las raíces con agua destilada.
2. Coloque los plantines en vasitos de plástico y llénelos con perlita, vermiculita o mezcla de ambas.
3. Rotule cada recipiente con la denominación del elemento cuya carencia va a estudiar, el grupo, la comisión y la fecha.
4. Prepare un litro de la solución nutritiva que se le indique haciendo uso de la Tabla 1. En el caso de las soluciones nutritivas carentes en algún elemento se debe colocar la correspondiente «solución de reemplazo» (Tabla 1). Ello permite: a) equilibrar concentraciones en la solución carente, de tal manera que no varíe su potencial agua (en relación con la solución nutritiva completa); b) proveer del ión acompañante correspondiente: por ej. en la solución carente de calcio se elimina el $(\text{NO}_3)_2\text{Ca}$, pero se utiliza en su reemplazo NO_3K .
5. Riegue con una pipeta la cantidad necesaria para humedecer la perlita, cada vez que sea necesario o coloque el vasito en una bandeja conteniendo aproximadamente medio centímetro de la solución correspondiente.

6. A los quince días registrar los primeros síntomas y demás datos que sean de utilidad y a los treinta días finalizar la experiencia, registrando los síntomas definitivos, contrastándolos con las Tablas 2 y 3 (al final del protocolo) y fotografías que se le proveerán. Coseche las plantas, lávelas con cuidado con agua de grifo y observe el crecimiento de las raíces, luego determine el peso seco a 80 °C hasta peso constante de cada planta. Interprete y saque conclusiones; elabore el correspondiente informe.

TABLA 1. Cantidades en mL de soluciones madre para preparar un litro de solución nutritiva con agua destilada en base a la solución de Hoagland y Arnon (1938)

SOLUCIONES MADRE	COMPLETA (mL)	- Ca	- S	- Mg	- K	- N	- P
1 M (NO ₃) ₂ Ca 4 H ₂ O	4,5	-	4,5	4,5	4,5	-	4,5
1 M NO ₃ K	5	5	5	5	-	-	5
1 M SO ₄ Mg 7 H ₂ O	2,3	2,3	-	-	2,3	2,3	2,3
1 M PO ₄ H ₂ K	2,3	2,3	2,3	2,3	-	2,3	-
EDTA férrico	1	1	1	1	1	1	1
Micronutrientes	1	1	1	1	1	1	1

SOLUCIONES
DE REEMPLAZO

1 M NO ₃ Na	-	9	-	-	5	-	-
1 M ClMg 6 H ₂ O	-	-	2,3	-	-	-	-
1 M (SO ₄)Na ₂ (0,5 M)	-	-	-	4,6	-	-	-
1 M PO ₄ H ₂ Na (0,5 M)	-	-	-	-	2,3	-	-
1 M Cl ₂ Ca	-	-	-	-	-	4,5	-
1 M ClK	-	-	-	-	-	-	2,3

La solución de Fe contiene 500 mg de tartrato férrico y 500 mg de ácido acético por litro.

Composición de la solución de micronutrientes: ClMn₄H₂O = 1,81 g; BO₃H₃ = 2,86 g; Cl₂Zn = 0,11 g; Cl₂Cu₂H₂O = 0,05 g; Mo₄Na₂2H₂O = 0,025 g

El pH aproximado debe ser entre 6,8 y 7.

TABLA 2. Forma de absorción, principales funciones, movilidad y síntomas de deficiencia de los **MACRONUTRIENTES** (obtenida y adaptada de las siguientes fuentes: Tizio *et al.*, 1995; Mazliak, 1976; Taig y Zeiger, 1998; Azcón Bieto y Talon, 2000)

ELEMENTO	CAPTACIÓN COMO	PRINCIPALES FUNCIONES	MOVILIDAD	PRINCIPALES SÍNTOMAS DE DEFICIENCIA
Nitrógeno	NO ³⁻ NH ⁴⁺ Urea	Forma parte de la estructura molecular de las proteínas y de otros compuestos fundamentales para el metabolismo como: - clorofilas (fotosíntesis) - enzimas –proteínas– del grupo de citocromos (respiración y fotosíntesis) - ácidos nucleicos: ADN y ARN (esenciales para la síntesis de proteínas)	Muy móvil	Clorosis (amarillamiento), debida a la disminución del contenido de clorofila. Por la movilidad del nitrógeno se manifiesta primero en hojas maduras . Plantas débiles raquílicas, de hojas pequeñas, amarillas. Por estar involucrado en procesos vitales afecta el crecimiento. Caída prematura de hojas, pedúnculos cortos y delgados.
Fósforo	PO ₄ H ⁻² PO ₄ H ⁻² PO ₄ ⁻³	Forma parte de la estructura molecular de: - ATP (metabolismo energético) - Ácidos nucleicos: ADN y ARN Fosfolípidos (membranas) - Coenzimas: NAD y NADP	Muy móvil	Las plantas generalmente presentan color verde o verde azulado . Plantas herbáceas, coloración rojiza en la base de los tallos y nervaduras. Retraso en los procesos reproductores (retraso de la floración).
Potasio	K ⁺	No forma parte de moléculas orgánicas. Cumple funciones de regulación y catálisis: - Activador de muchas enzimas (fundamentalmente de la respiración) - Interviene en la síntesis de proteínas - Actúa en el mecanismo de apertura y cierre estomático	Móvil	Típica clorosis moteada de las hojas , seguida del desarrollo de zonas necróticas en los bordes y puntas. Antes del moteado las hojas pueden tomar un brillo metálico (bronceado) y luego curvarse hacia abajo y enrollarse hacia adentro. Acortamiento de entrenudos, forma achaparrada.
Magnesio	Mg ⁺²	Forma parte de la molécula de clorofila (fotosíntesis) Activador del metabolismo glucídico	Móvil	Rigidez, clorosis interneruales que comienzan por zonas adultas. Pigmentación antociánica. Necrosis.

Continúa en página siguiente >>>

ELEMENTO	CAPTACIÓN COMO	PRINCIPALES FUNCIONES	MOVILIDAD	PRINCIPALES SÍNTOMAS DE DEFICIENCIA
Azufre	SO_4^{-2} SO_2 de la atmósfera	Forma parte de la estructura de: - proteínas con aminoácidos azufrados (cistina, cisteína, metionina) grupos -SH (como centros activos de enzimas) puente S-S (importantes en la estructura proteica) - Coenzima A - Vitaminas: biotina, tiamina	Relativamente móvil	Muy semejante al nitrógeno, pero el amarillamiento comienza por las hojas más jóvenes.
Calcio	Ca^{+2}	Actúa en el mantenimiento de la integridad celular: - pectatos de Ca (paredes celulares y laminilla media) - permeabilidad de membranas interviene en la regulación del pH celular (oxalato de Ca) - activa en forma específica la amilasa (hidrólisis de almidón)	Inmóvil	Muerte de los puntos apicales de crecimiento , exceso de brotes laterales, cuyos puntos de crecimiento mueren en breve plazo. Raíces muy afectadas, generalmente amarronadas. Deformación de hojas jóvenes que hace que las puntas se doblen hacia abajo. Clorosis marginal de hojas jóvenes que pueden necrosarse.

Necrosis: tejido muerto, de color marrón. - Clorosis: amarillamiento por falta de clorofila.

TABLA 3. Forma de absorción, principales funciones, movilidad y síntomas de deficiencia de los MICRONUTRIENTES (obtenida y adaptada de las siguientes fuentes: Tizio *et al.*, 1995; Mazliak, 1976; Taig y Zeiger, 1998; Azcon Bieto y Talon, 2000)

ELEMENTO	CAPTACIÓN COMO	PRINCIPALES FUNCIONES	MOVILIDAD	PRINCIPALES SÍNTOMAS DE DEFICIENCIA
Hierro	Fe^{+2} Quelatos de Fe	Forma parte de las moléculas de: - citocromos (fotosíntesis y respiración) - ferrodoxina (fotosíntesis y reducción de NO_3^-) Es activador esencial de una o más e enzimas que intervienen en la síntesis de clorofila .	<i>Inmóvil</i>	Clorosis internerval en hojas jóvenes (semejante al magnesio pero en hojas jóvenes). Inhibición de la producción de primordios de hojas.
Boro	BO_3H^{-2} BO_3H^{2-}	Transporte de hidratos de carbono.	Inmóvil	Necrosis meristemáticas, en tallos y raíces.

Continúa en página siguiente >>>

ELEMENTO	CAPTACIÓN COMO	PRINCIPALES FUNCIONES	MOVILIDAD	PRINCIPALES SÍNTOMAS DE DEFICIENCIA
Manganeso	Mn ⁺² Quelatos de Mn	Activador enzimático de la respiración . Coopera con el Fe en la síntesis de proteínas .	Poco móvil	Manchas cloróticas y necróticas en las zonas internervales. Inhibición del crecimiento.
Molibdeno	MoO ₄ ⁻²	Esencial para la fijación de N y asimilación de NO³⁻ . Activador de la nitrato reductasa .	Móvil	Clorosis internerval en hojas maduras, que progresa luego a las jóvenes. Posteriormente necrosis.
Zinc	Zn ⁺² Quelatos de Zn	Necesario para la síntesis de triptófano (aminoácido precursor de las auxinas).	Inmóvil	Crecimiento retardado. Acortamiento de entrenudos. Hojas pequeñas y a menudo cloróticas.
Cobre	Cu ⁺² Quelatos de Cu	Componente de enzimas metálicas (Ej. plastocianina). Aceptor de electrones en oxidación de sustratos.	Inmóvil	Enanismo. Malformación de hojas. Muerte del meristema terminal.
Cloro	Cl ⁻	Interviene en la fotólisis del agua .	Inmóvil	Marchitez. Bronceado en hojas, clorosis y necrosis.

C. SISTEMAS DE CULTIVO HIDROPÓNICOS

INTRODUCCIÓN

Las técnicas hidropónicas incluyen los cultivos sin suelo, sea sobre sustratos inertes o directamente en soluciones nutritivas. Las ventajas de estos sistemas son numerosas, por ejemplo, se obtienen cultivos libres de parásitos, bacterias, hongos y de contaminación; reducción de costos de producción, independencia de los fenómenos meteorológicos, menor espacio y capital para lograr una gran producción, mayor calidad de producto, mayor limpieza e higiene en el manejo del cultivo, recuperación más rápida de lo invertido, generación de empleo genuino urbano, suburbano y/o rural, entre otras.

Estas técnicas ancestrales fueron mejor desarrolladas en tiempos modernos y adquieren importancia en lugares con escasez de suelos o de agua. A partir de la década del cincuenta el uso comercial se extendió a países como Italia, España, Francia, Inglaterra, Alemania, Suecia, URSS y Medio Oriente. En América latina, en países como Venezuela, Perú, Chile, Ecuador, Paraguay, Brasil y Colombia es relevante el uso de la hidroponía y desde hace 25 años en casi todos los países del mundo los cultivos hidropónicos se han desarrollado junto con la tecnología de los invernaderos (Barbado, 2005). En Argentina el desarrollo no es tan notorio, hay algunos emprendimientos, casi todos destinados a la exportación o a producción propia para industria (Barbado, 2005).

Entre los sistemas hidropónicos más utilizados se encuentran los cultivos en agua, que pueden ser en inmersión o de Gericke, flotantes, de recirculación de nutrientes y la técnica de flujo laminar de nutrientes (NFT, Nutrient film technique) (Resh, 1997). Existen además numerosas variantes de estos métodos y todos tienen ventajas y desventajas, por eso algunas especies se adaptan más a unos que a otros.



C. SISTEMAS DE CULTIVO HIDROPÓNICOS

El objetivo de este trabajo práctico es lograr la producción de lechuga y albahaca utilizando distintos sistemas de producción, a fin de determinar las ventajas y desventajas de cada uno.

TÉCNICA OPERATORIA

a. Sistema raíz flotante

Materiales:

- plantines de lechuga y de albahaca (serán provistos por la Cátedra),
- tijera y/o cutter,
- cajones de madera (1 m × 0,85 m × 0,12 m),
- polietileno negro de 5 a 6 micrones de espesor,
- plancha de telgopor de 2,5 cm de espesor,
- gomaespuma de 2,5 cm de espesor,
- solución nutritiva completa o solución fertilizante.

1. Extraer los plantines del almácigo y lavar con cuidado las raíces para eliminar restos de sustrato del almácigo. Preparar el recipiente donde se van a dejar en forma definitiva, con su cubierta de plástico negro y con la cubierta de telgopor, marcar los agujeros de 3,5 cm de diámetro donde se colocarán las plantas, dispuestas en cuadrado o triángulo a una distancia inicial de 9 × 9 cm entre sí tanto para lechuga como para albahaca. A los 15 a 20 días se cambiará por una plancha con agujeros distanciados a 17 cm.

2. Recortar redondeles de gomaespuma del mismo diámetro y hacer una incisión desde el centro del redondel hasta el borde. Por allí se introducirá el cuello de la planta y quedará así sujeta (Fig. 1).



FIGURA 1. Sistema raíz flotante. Detalle plancha de telgopor, anillo de gomaespuma sujetando la planta. Foto: Invernáculo Facultad de Ciencias Agropecuarias-UNER, módulo didáctico cultivos hidropónicos

3. Colocar la solución nutritiva en el contenedor, hasta aproximadamente 2,5 a 3 cm del borde, previa medición de su pH (entre 5,5 y 6,5 es el ideal) y su conductividad eléctrica. Colocar las plantitas con el anillo de gomaespuma en los agujeros de la plancha de telgopor. Apoyar la plancha sobre la solución.

4. El sistema de aireación se realizará con una bomba similar a las utilizadas para oxigenar peceras. (En forma casera se puede airear la solución soplandola con sorbete o bombilla vieja o simplemente removiendo el agua con la mano, mínimo dos veces por día).

5. Cada 15 días controlar el pH (alrededor de 6,5 y en general no inferior a 5) y la conductividad eléctrica (la conductividad ideal para lechuga no debe ser superior a 1,5 mMho/cm) y reponer toda la solución si fuera necesario o solamente el faltante. Cuidar siempre el volumen de solución, ya que si hay mucha temperatura se consumirá solución y se concentrará. Cuidar siempre la oxigenación; en épocas de altas temperaturas se puede tomar el criterio de reponer el volumen siempre con solución nutritiva y una vez por semana solo agua.

Finalizado el trabajo práctico se cosecharán las plantas y se determinará el peso fresco de las partes aérea y subterránea, por separado, así como el consumo de solución nutritiva.

b. Sistema NFT

En el sistema NFT, montado en caños de PVC debidamente perforados se colocarán los plantines de lechuga y de albahaca extraídos del almácigo, con la gomaespuma rodeando el cuello de las plantas, en los respectivos agujeros.

En este sistema la solución parte del tanque distribuidor y es impulsada por una bomba del tipo de las usadas en peceras grandes, sumergida dentro del tanque. Circula a través de los caños de PVC por gravedad. Obviamente, la potencia de la bomba deberá ser adecuada a las dimensiones del sistema montado y acorde con la altura a la que deberá ser elevada la solución (Fig. 2).

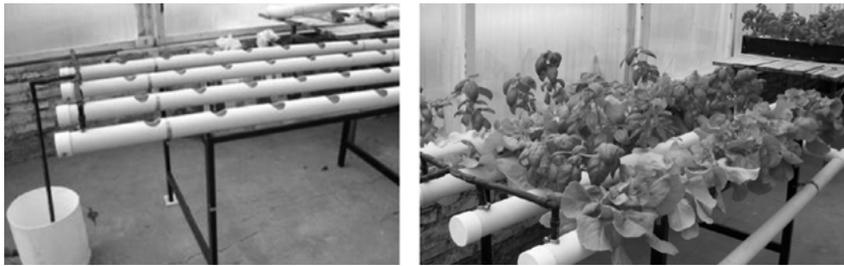


FIGURA 2. Sistema NFT en tubos de PVC. Foto: Invernáculo Facultad de Ciencias Agropecuarias-UNER, módulo didáctico cultivos hidropónicos

El agua recogida de los caños de PVC vuelve al tanque por gravedad y se reutiliza. Cada semana deberá controlarse el pH y la CE y agregar agua y/o solución nutritiva, en la proporción necesaria, de forma tal que los nutrientes no estén en falta ni en exceso.

Finalizado el trabajo práctico se cosecharán las plantas y se determinará el peso fresco de la parte aérea y subterránea por separado, así como el consumo de solución nutritiva.

Comparar el rendimiento de los cultivos en cada sistema. Elabore sus conclusiones y redacte el informe correspondiente.

c. Sistema aeroponía

Las frutillas pueden plantarse en siembra directa, para luego ser colocadas en sacos plásticos rellenos con un sustrato humedecido, a fin de su cultivo en aeroponía.

En este caso se utilizará un saco de polietileno negro de no más de 2 metros de largo y de cómo mínimo 1 micrón de grosor, debidamente perforado y relleno con aserrín, o el sustrato o mezcla de sustratos que se elija.

A unos 12 cm de los extremos se marcará una línea a partir de la cual se harán las perforaciones a 2 cm de los bordes y en diseño de triángulo a unos 20 a 25 cm de distancia entre las perforaciones. Para perforar el saco se colocará una planchuela de cartón entre ambas partes del saco y se harán las perforaciones.

A unos 8 cm de uno de los extremos atar fuertemente con hilo plástico y luego comenzar a rellenar la manga.

El sustrato deberá estar humedecido previamente, en especial si se usa aserrín o cáscara de arroz, ya que demora mucho en mojarse. Deberá humedecerse unos 7 días antes con agua a efectos de empaparlos bien. Nunca colocar el sustrato en seco ya que después será imposible humedecerlo.

Con el sustrato humedecido se rellenará el saco. Luego se golpeará suavemente contra el piso para acomodar bien el contenido y luego cerrar la boca. Con una tijera hacer un agujero de unos 3 cm de diámetro que es por donde se suministrará el riego (ver figura inferior). También es posible colocar una botella descartable a modo de embudo, con la tapa perforada con 6 agujeritos sujetando la boca de la botella cuando se hace el nudo de la manga en la parte superior.

Durante dos o tres días se deja la manga colgada o recostada y se riega con solución nutritiva, para que el sustrato baje y se estabilice. Recién en ese momento se trasplantan los plantines de frutilla uno en cada agujero, haciendo hoyos hacia abajo y colocando las raíces con mucho cuidado tratando de no romperlas ni maltratarlas. Si el tiempo es soleado y caluroso se deja a la sombra por 3 días para asegurar el prendimiento y después se cuelga en el sitio definitivo. Se colocará debajo un recipiente para recoger los excesos de solución que luego se volverán a aplicar desde la parte superior, en riegos posteriores (Fig. 3).



FIGURA 3. Sacos suspendidos con cultivo de frutillas (aeroponía). Foto invernáculo Facultad de Ciencias Agropecuarias UNER, módulo didáctico cultivos hidropónicos

Regar periódicamente con solución nutritiva y cuando corresponda sólo con agua, de acuerdo con el control de pH y CE que se realice.

