



HIDROPONIA PARA HORTALIZAS DE HOJA. FUNDAMENTOS

Autor: José Luis Castañares ¹

¹INTA – Estación Experimental Agropecuaria AMBA – Agencia de Extensión Luján.
castanares.jose@inta.gob.ar

Palabras claves: Hidroponia. NFT. Raíz flotante. Hortalizas de hoja.

PREFACIO

Esta publicación surge de la recopilación de apuntes de cursos y talleres de hidroponia realizados en los últimos años. No pretende ser una guía definitiva de hidroponia, sino exponer los fundamentos de una manera simple, para acompañar a quien desea dar sus primeros pasos en esta técnica de cultivo.

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN.....	2
SISTEMAS HIDROPÓNICOS	4
REQUERIMIENTOS.....	10
CALIDAD DE AGUA.....	14
FUNDAMENTOS DE NUTRICIÓN MINERAL.....	21
MANEJO DE LA SOLUCIÓN NUTRITIVA.....	30
FORMULACIÓN DE SOLUCIONES NUTRITIVAS.....	35
ETAPAS DEL CULTIVO HIDROPÓNICO.....	45
PLAGAS MÁS COMUNES EN CULTIVOS HIDROPÓNICOS.....	48
ENFERMEDADES MÁS COMUNES EN CULTIVOS HIDROPÓNICOS.....	50
MANEJO DE PLAGAS Y ENFERMEDADES.....	56
REFERENCIAS.....	62
ANEXOS.....	66



1. INTRODUCCIÓN

La hidroponía es una técnica de cultivo en la que no se utiliza el suelo. Los nutrientes requeridos por la planta para crecer son provistos a través del agua. Si bien existen experiencias antiguas de cultivos realizados fuera del suelo, como los jardines flotantes de Babilonia (siglo VI a.C.), los jardines flotantes en China (siglo III a.C.), las chinampas Aztecas (siglo XVI d.C.), entre otras; la hidroponía moderna, comienza a desarrollarse a partir de las investigaciones del Dr. William Gericke (1882-1970), de la Universidad de Berkeley, California. Este investigador fue el primero en sugerir que las plantas podrían desarrollarse íntegramente en soluciones nutritivas. Pese al poco apoyo de la comunidad universitaria, comienza a llevar adelante sus investigaciones de forma privada en el jardín de su hogar y desarrolla el primer cultivo a escala comercial.

En 1937 el Dr. Gericke propone el término Hidroponía (del griego *Hydro* –agua- y *Ponos* -labor o trabajo-) para referirse a esta forma de cultivar y en 1940 publica la “Guía Completa del Cultivo sin Suelo” (en inglés “*Complete Guide to Soilless Gardening*”), considerada como el primer manual de hidroponía, que reúne los resultados de sus experiencias con diversos cultivos y soluciones nutritivas.

A partir de los años 50’ comienzan a establecerse granjas hidropónicas en diferentes países. En la década de 1960 el Dr. Allen Cooper, de Inglaterra, desarrolla la técnica de NFT para hortalizas de hoja. El desarrollo de la industria de los plásticos, desde la década de 1970, ha contribuido significativamente a la expansión de la hidroponía.

En la actualidad, algunos de los desafíos son el mejor control de las variables ambientales, alternativas a la utilización de plaguicidas de síntesis química y la mayor automatización.

No obstante, la hidroponía no es exclusiva de producciones comerciales, con alto grado de tecnificación e inversión, sino que existen numerosas experiencias sociales y educativas que demuestran la posibilidad de producir alimentos en donde el cultivo tradicional no es posible, por la falta de tierra, espacio, luz, etc. Por ejemplo, en 1992 la FAO (*Food and Agriculture Organization*- Organización de Alimentación y Agricultura-) dependiente de la ONU (Organización de las Naciones Unidas) comienza a promover las llamadas “Huertas Hidropónicas Populares”, con el objetivo de mejorar la alimentación y calidad de vida de la población de áreas marginales urbanas y periurbanas de América Latina y el Caribe.

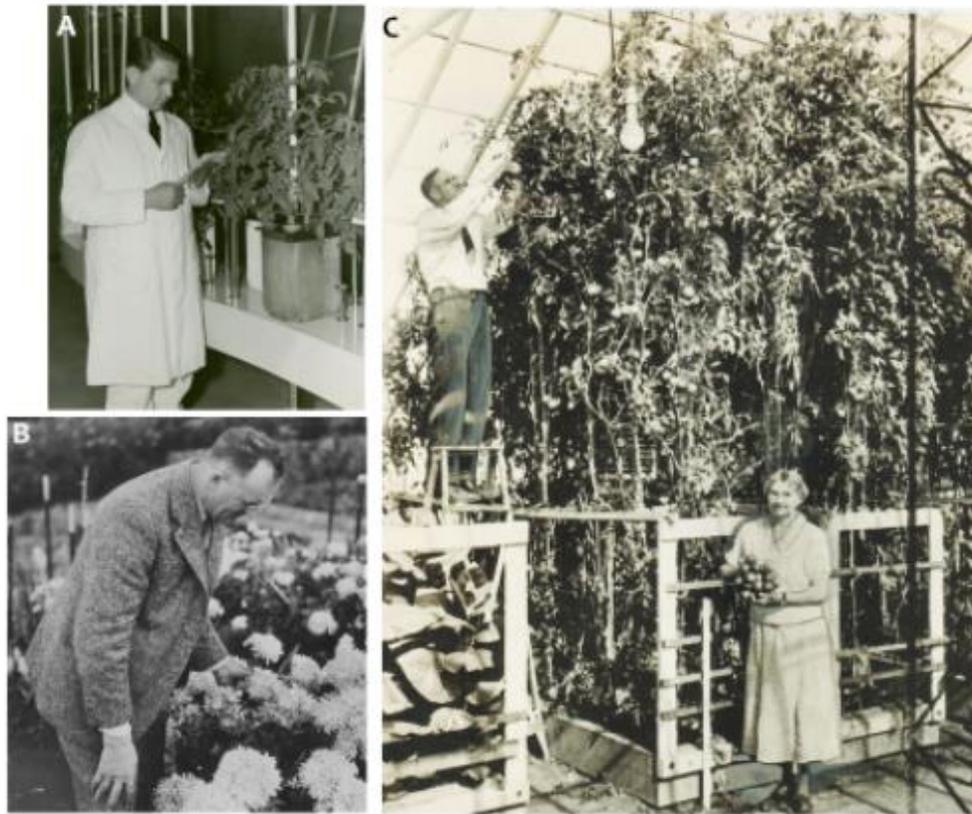


Figura 1.1: Prof. William Gericke en su laboratorio (A), en su jardín con flores cultivadas en hidroponia (B) y junto a su esposa en su cultivo de tomates en hidroponia (C)

Algunas ventajas de la hidroponia

- Reducción del requerimiento de espacio
- Higiene de los cultivos
- Comodidad del trabajador
- Optimización del uso del agua
- Producción en lugares donde no hay tierra o es de mala calidad
- Producción en climas variados
- Cultivo en las cercanías de los centros urbanos

Algunas limitaciones de la hidroponia

- Necesidad de inversión inicial
- Mayor necesidad de especialización
- Dependencia energética
- Requerimiento de agua de buena calidad

2. SISTEMAS HIDROPÓNICOS

Existe una amplia variedad de sistemas hidropónicos, cada uno de los cuales, a su vez, cuenta con sus variantes. Una representación simplificada se muestra a continuación.

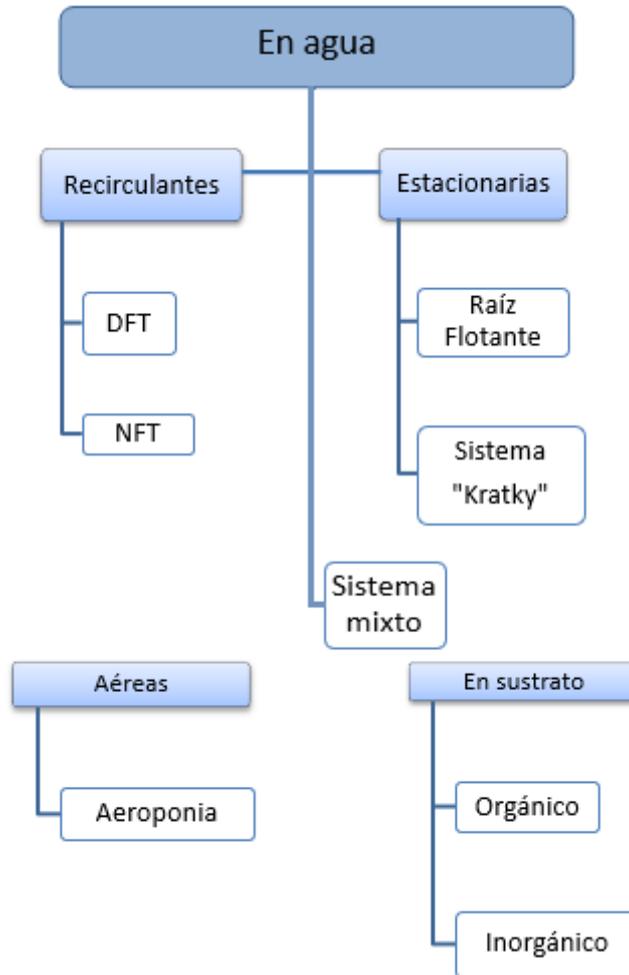


Figura 2.1: Sistemas hidropónicos

Seguidamente, describiremos los tres sistemas hidropónicos más difundidos en Argentina.

1. Sistema Raíz flotante

Las plantas, sostenidas por alguna estructura flotante (por lo general, placas de poliestireno expandido perforadas), se encuentran con sus raíces inmersas en la solución nutritiva, la cual se remueve con una bomba de aire o agua. La removilización de la solución nutritiva es importante para asegurar la buena oxigenación de esta. Este tipo de sistema se adapta muy bien para hortalizas de hoja.



Figura 2.2: Esquema de un sistema de raíz flotante



Figura 2.3: Cultivo de lechuga en sistema raíz flotante

II. Sistema NFT

El nombre de este sistema proviene del inglés *Nutrient Film Technique* (técnica de la lámina nutritiva). Una delgada lámina de solución nutritiva circula por un caño con perforaciones en su parte superior, denominado “perfil”, donde se colocan las plantas.



Figura 2.4: Esquema de un sistema NFT

El movimiento de la solución nutritiva dentro de los perfiles, y hacia el tanque de fertilización, se produce por gravedad, gracias a la inclinación estos. Una bomba traslada la solución nutritiva desde el tanque hasta el inicio de los caños.

Al igual que en el sistema de raíz flotante, la técnica NFT se utiliza principalmente para especies de hoja.



Figura 2.5: Lechuga en sistema NFT

Cultivo en sustrato

El cultivo en sustrato es el que más se asemeja a una producción tradicional, en suelo. Aunque podría emplearse para casi cualquier especie vegetal, por lo general se cultivan especies de fruto. El término 'sustrato' se usa para definir cualquier material, de origen natural o sintético, que reemplaza al suelo y cumple una función de sostén de la planta. La nutrición es aportada mediante el riego, con los fertilizantes disueltos en el agua (fertirrigación).

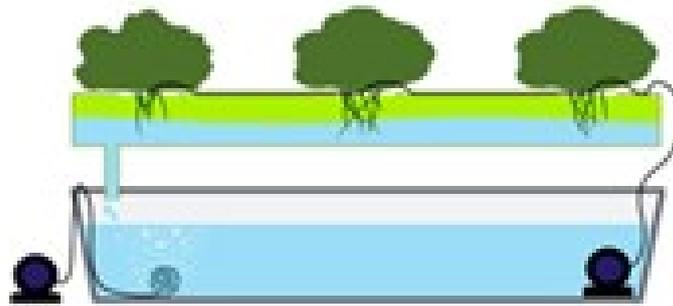


Figura 2.6: Esquema de un sistema en sustrato



Figura 2.7: Tomate (A) y frutilla (B) en sustrato

El sustrato puede ser fuente de algún nutriente (generalmente sustratos orgánicos, como compost) o no (ej. espumas agrícolas, perlita, lana de roca, etc.). En el primer caso, se habla de “cultivo sin suelo”, mientras que en el segundo caso es “hidroponía” (Fig. 2.8), ya que la totalidad de los nutrientes son aportados por la solución nutritiva. Por lo tanto, la hidroponía podría considerarse como una variante del cultivo sin suelo.

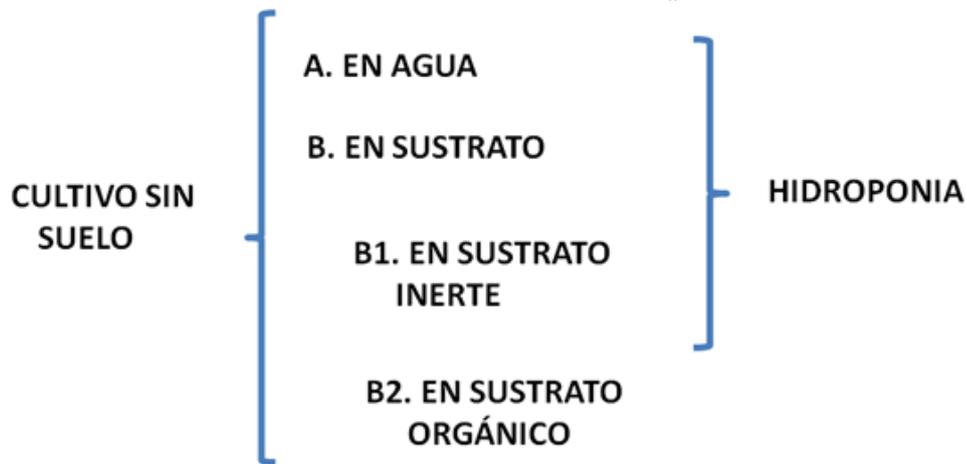


Figura 2.8: Cultivo sin suelo e hidroponia

Las características de los sustratos más frecuentes en el país se resumen a continuación.

Tabla 2.1: Resumen de las características de algunos los sustratos más comunes en hidroponia y cultivo sin suelo

SUSTRATO	ORIGEN	CARACTERÍSTICAS	USO
Perlita	Se forma a partir de roca volcánica expandida a muy alta temperatura (1000 a 1200 °C).	Es un sustrato muy liviano. Aporta poros de mayor tamaño que contribuyen mejorar la aireación. La capacidad de retención de agua es limitada.	Puede utilizarse sola o en mezclas en proporción de 40 a 50%.
Lana de roca	Compuesto por una mezcla de rocas calentadas a 1600 °C que forman unas fibras muy delgadas, que luego son prensadas.	Al igual que la perlita, mejora la aireación fundamentalmente.	Su uso más frecuente es como sostén de las plantas en los sistemas hidropónicos, en reemplazo de la goma espuma.
Arena de río	Son arenas cuya granulometría oscila entre 0,5 y 2,0 mm, obtenidas de los lechos de los ríos. Es necesaria la desinfección antes del uso.	Se trata de un material algo heterogéneo que con una buena capacidad de retención de agua. Su principal desventaja es el peso relativamente elevado.	Se utiliza en mezclas a razón de 30 a 40%.

Tabla 2.1: continuación

Turba	Formada por restos vegetales en proceso de fosilización, obtenidos de turberas.	Mejoran la capacidad de retención de agua. Presentan gran variabilidad y tienden a ser ácidas. Se degradan con facilidad.	Se usa en mezclas en proporción de 30 a 40 %.
Cáscara de arroz	Proviene de la industria del arroz. Es conveniente la desinfección antes de su uso.	Mejora la capacidad de aireación de la mezcla, pero su capacidad de retención de agua es baja	En mezclas en proporción de 10 a 20%
Corteza de pino	Proviene de la industria maderera.	La capacidad de retención de agua es baja pero su la aireación es elevada. Suelen ser materiales heterogéneos y se degradan. Es ligeramente ácida.	Se usa en mezclas en proporciones de 10 a 20%.
Vermiculita	Es un mineral natural del grupo de las micas. Se extrae de minas y luego se procesa con la exposición a alta temperatura (800 °C) para eliminar impurezas.	Por el menor tamaño de poros tiene una elevada capacidad de retención de agua.	Se emplea sola o en mezclas en proporción de 40 a 50%.
Espuma fenólica	Es un sustrato inorgánico obtenido a partir de resina fenólica.	Presenta un buen equilibrio entre capacidad de aireación y retención hídrica.	Es empleada para la producción de los plantines, a partir de placas con divisiones y perforaciones.

3. REQUERIMIENTOS

En este capítulo se mencionarán los elementos más importantes a tener presente al momento de comenzar con una producción hidropónica.

Invernadero

El invernadero es una construcción con una cubierta transparente que permite el paso de la radiación y así obtener un microclima propicio para el crecimiento y desarrollo de los cultivos. En zonas con estaciones marcadas el invernadero es la estructura de protección por excelencia. Por otro lado, si los inviernos no son demasiados rigurosos, es suficiente contar con un techo para proteger de las lluvias.

Básicamente, un invernadero está compuesto por dos partes: la estructura y la cobertura.

Los elementos más comunes para el armado de la estructura son madera y metal (generalmente, acero galvanizado). También, existen estructuras combinadas (por ejemplo, postes de madera y techo metálico). La principal diferencia y condicionante al momento de elegir entre ambos materiales radica en el costo y en la vida útil. Las estructuras de madera tienen un costo considerablemente más bajo, en comparación con las metálicas. Sin embargo, el costo de mantenimiento es mayor, y vida útil promedia los diez años. Por otro lado, la vida útil de un invernadero metálico puede rondar los 25 años, con relativamente bajos costos de mantenimiento de las estructuras.

Respecto de la cobertura, el material más utilizado es el polietileno con tratamiento térmico. El espesor de este se mide en micrones (μ). En los techos suele usarse polietileno de 150 μ , mientras que en las paredes lo habitual es de 100 μ . La vida útil del polietileno generalmente ronda los dos a tres años.

Para profundizar en el tema invernaderos recomendamos consultar el siguiente material: “Francescangeli, N., Mitidieri, M.S., 2006. El invernadero hortícola. Estructuras y manejo de cultivos. EEA San Pedro, INTA”. Disponible en: <https://inta.gob.ar/documentos/el-invernadero-horticola-estructura-y-manejo-de-cultivos>

Mallas

El objetivo de estas es reducir la radiación que llega al cultivo y con ello disminuir la temperatura. Es importante que el grado de sombreado no sea excesivo a fin de no afectar el crecimiento de las plantas.

Las mallas más utilizadas, por su costo relativamente bajo y facilidad de conseguir, son las medias sombras negras. Idealmente, estas deberían colocarse por fuera de la estructura del invernadero, dado que tienen la particularidad de absorber calor, el cual puede quedar dentro del invernadero. Sin embargo, las mallas ubicadas por fuera suelen presentar algunas dificultades en su instalación y remoción. El porcentaje de sombreado de estas mallas debería andar entre 30 y 50%.

Las mallas tipo “aluminizadas” son muy eficientes en bajar la temperatura. A diferencia de las mallas negras, que capturan parte de la radiación, funcionan reflejándola y en consecuencia se produce una reducción de la temperatura. Este tipo de mallas pueden ubicarse por dentro del invernadero.

Un tipo de malla intermedia en costo entre las dos anteriores es la media sombra blanca. El principio de acción es similar a las aluminizadas, reflejando la radiación.

Cobertura de suelo

Es importante que el suelo cuente con algún tipo de cobertura a fin de evitar el crecimiento de malezas, que pueden hospedar plagas y enfermedades potencialmente perjudiciales para el cultivo, y facilitar la higiene de las instalaciones. El material elegido debe ser permeable para permitir el drenaje de alguna eventual pérdida de agua. Entre los materiales más comunes pueden mencionarse la rafia, el geotextil y las piedras.



Figura 3.1: Cobertura de suelo: rafia (A), geotextil (B) y piedras (C)

Perfiles

Como mencionamos anteriormente, en sistemas NFT se denominan “perfiles” a los caños con perforaciones que sostienen las plantas. Los materiales más comunes son PVC y polipropileno. Asimismo, la sección de estos caños puede ser rectangular o circular.



Figura 3.2: Perfiles de NFT: rectangulares de polipropileno (A) y circulares de PVC (B)

Es importante que el material sea de buena calidad para garantizar una alta durabilidad y un adecuado espesor como para evitar el pasaje de luz, con la consecuente formación de algas. Una práctica frecuente es pintar el exterior de los perfiles con esmalte sintético blanco, con el objetivo de reducir la transparencia y reflejar la radiación para bajar la temperatura.

Los diámetros recomendados y separación entre orificios según la especie y la etapa del cultivo se explicarán en el capítulo “Etapas del cultivo hidropónico”.

Tanques

Como comentamos en la ‘Introducción’, los sistemas NFT se caracterizan por tener un tanque que aloja la solución nutritiva que se hará circular por los perfiles. Existen dos alternativas: 1) un tanque individual por cada mesa de cultivo o 2), tanques de mayor volumen (2000 a 4000 L) que abastezcan un grupo de mesas. En la primera opción, las principales ventajas están en la posibilidad de manejar formulaciones nutritivas diferentes por mesa (y especie vegetal) y en caso de ocurrencia de algún problema sanitario, es factible aislar la mesa afectada. Sin embargo, cuando las superficies de cultivos son muy grandes, puede llevar mucho tiempo el monitoreo y reposición diario de todos los tanques.



Figura 3.3: Mesa de cultivo con tanque individual

Por otro lado, la utilización de tanques de mayor volumen disminuye significativamente los tiempos de monitoreo y corrección de las soluciones. Además, al trabajar con volúmenes de agua mayores el riesgo calentamiento de la solución, que puede ser un problema importante en épocas calurosas, se reduce.



Figura 3.4: Tanques de 3000 L

Bombas de agua

Las bombas cumplen la función de movilizar el agua desde el tanque de solución hasta la parte superior de los perfiles (en sistemas NFT) y movilizar el agua en las piletas para promover una oxigenación de la solución. Dado que no es necesario presurizar el agua,

sino movilizarla, suelen utilizarse bombas tipo centrífugas o también las autocebantes, que tengan la capacidad de movilizar grandes volúmenes de agua.

Piletas

En los sistemas de raíz flotante las piletas pueden ser individuales, cuyo ancho es el de una placa flotante (aproximadamente 1 m) o de ancho mayor, para varias placas. A su vez, las mismas pueden estar a nivel del suelo o contar con patas que las eleven.

El material más habitual es madera (de 20 a 25 cm de altura). Suele realizarse un marco rectangular sobre el cual se coloca en polietileno negro. Debajo del polietileno es conveniente colocar algún cartón o lona, a fin de reducir el riesgo de corte de este.



Figura 3.5: Etapas en la construcción de una pileta individual de cultivo de raíz flotante

4. CALIDAD DE AGUA

Aunque el cultivo hidropónico se realiza íntegramente en agua, con los nutrientes disueltos en ella formando la llamada solución nutritiva, el consumo hídrico puede reducirse hasta un 80% respecto de un cultivo tradicional. Esto se debe a que se optimiza el uso del agua al evitándose las pérdidas por infiltración.

Los sistemas raíz flotante y NFT son considerados “sistemas cerrados”, pues no hay salida de solución nutritiva del sistema. El descenso del nivel de esta ocurre por la absorción y evapotranspiración. Los sistemas de cultivo en sustrato, en cambio, generalmente son “sistemas abiertos”, lo que significa que no existe una recirculación o retorno al tanque de la solución nutritiva. Esto se debe a que generalmente se produce una interacción entre la solución y el sustrato, pudiendo resultar aquella significativamente modificada. Sin embargo, se deben ajustar los tiempos de riego para reducir al mínimo los excedentes, con excepción de los momentos en que se realizar un riego en exceso para el “lavado del sustrato” cuando se halla salinizado.

Dada la importancia del agua en el cultivo hidropónico, resulta fundamental realizar un análisis de esta por un laboratorio especializado. Este análisis permitirá decidir si el agua

puede utilizarse o no, la necesidad de realizar correcciones y conocer la presencia de nutrientes que se tendrán en consideración cuando se realice la formulación.

Básicamente existen dos tipos de análisis: microbiológico y fisicoquímico. El primero se utiliza para determinar la presencia o ausencia de microorganismos potencialmente perjudiciales para la salud (por ej. *Escherichia coli*, *Salmonella*, etc.). El análisis fisicoquímico comprende varios parámetros, de los cuales describiremos los más importantes a continuación. Se concluye con una tabla con valores de referencia para estos últimos.

Parámetros fisicoquímicos del agua

1. pH

El pH (potencial hidrógeno) es una escala que indica la acidez o alcalinidad del agua en un rango de 1 a 14.

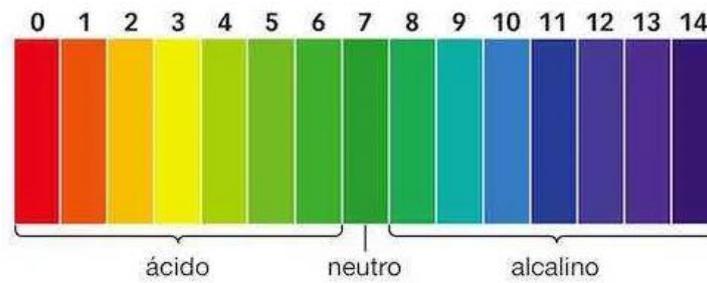


Figura 4.1: Escala del pH

Como puede verse en la imagen anterior, el pH se expresa en una escala que va de 0 a 14, en donde:

- 7 es un valor **neutro**, con igual cantidad de iones hidrógenos (H^+) e hidróxidos (OH^-)
- pH superior a 7 se considera **básico** o **alcalino**, siendo mayor la **alcalinidad** cuanto más elevado sea el valor, e indica una mayor presencia de OH^-
- pH inferior a 7 es **ácido**, con una mayor la **acidez** a medida que se reduce el valor, y significa un predominio de H^+

Lo habitual es que el agua tenga pH neutro o alcalino. Esto último se debe fundamentalmente a la presencia de bicarbonatos (HCO_3^-) y, en algunos casos, de carbonatos (CO_3^{2-}).

Como se verá en el capítulo de “manejo de la solución nutritiva” el pH ideal para hidroponía se encuentra entre 5,5 y 6,0. Este rango de pH es el que asegura la máxima disponibilidad de nutrientes.

2. Conductividad eléctrica (CE)

Este parámetro está estrechamente relacionado con la cantidad de sólidos disueltos en el agua, principalmente sodio (Na^+), magnesio (Mg^{2+}), calcio (Ca^{2+}), sulfato (SO_4^{2-}) y cloro (Cl^-), que provienen de la alteración de las rocas originales. La unidad internacional de conductividad eléctrica es el **Siemens (S)**, en sus diferentes variantes: milisiemens por centímetro (**mS/cm**), decisiemens por metro (**dS/m**) y microsiemens por centímetro (**$\mu\text{S/cm}$**). Estas unidades se relacionan entre ellas: **1 mS/cm = 1dS/m = 1000 $\mu\text{S/cm}$** .

Otra forma de expresar la CE, y que suele utilizarse con frecuencia, es en **ppm** (partes por millón), lo que estaría estimando la cantidad total de sólidos disueltos (**TDS**, del inglés *Total Dissolved Solids* - Sólidos Totales Disueltos). Ambas formas de expresar la CE se relacionan de la siguiente manera:

- $\text{TDS (ppm)} = 0,7 \times \text{CE } (\mu\text{S/cm})$
- $\text{CE } (\mu\text{S/cm}) = 1,5 \times \text{TDS (ppm)}$

La alta CE puede limitar la absorción de agua y nutrientes. Además, debe tenerse presente que el agregado de fertilizantes aumentará la CE. Esto representa una limitante al momento de realizar las formulaciones, siendo necesario ajustar o limitar las cantidades de los nutrientes a fin de que este parámetro se encuentre dentro del rango óptimo para la especie que se desea cultivar.

Tabla 4.1: Rangos de CE ideales para algunos cultivos hortícolas

Cultivo	CE (mS/cm)
Albahaca	1,8-2,2
Apio	2,5-3,0
Berenjena	2,5-3,5
Berro	0,4-1,8
Brócoli	3,0-3,5
Espinaca	1,5-1,8
Frutilla	1,0-1,4
Lechuga	1,0-1,6
Melón	2,0-2,5
Rabanito	1,4-1,8
Sandía	1,7-2,5
Tomate	2,0-2,5

3. Alcalinidad total

La alcalinidad del agua se define como la capacidad para neutralizar ácidos. Está representada principalmente por los iones carbonatos (CO_3^{2-}), bicarbonatos (HCO_3^-) e hidróxidos (OH^-). Aunque alcalinidad y pH no son sinónimos, ambos parámetros están estrechamente relacionados. Así, una alta alcalinidad implica un elevado pH. Los iones responsables de la alcalinidad pueden neutralizarse, total o parcialmente, mediante el agregado de ácidos (esto se verá con mayor detalle en el capítulo de manejo). Dependiendo del laboratorio, la alcalinidad total puede expresarse como ppm (que es equivalente a mg/L) de bicarbonatos (HCO_3^-), carbonatos (CO_3^{2-}) o carbonato de calcio (CaCO_3). Estas formas de expresión pueden relacionarse de la siguiente manera:

- Alcalinidad como mg/L de CO_3^{2-} = 0,6 x alcalinidad como CaCO_3
- Alcalinidad como mg/L de HCO_3^- = 1,22 x alcalinidad como CaCO_3

Si el pH es menor que 8,4 la alcalinidad está dada fundamentalmente por los HCO_3^- , sin presencia de CO_3^{2-} .

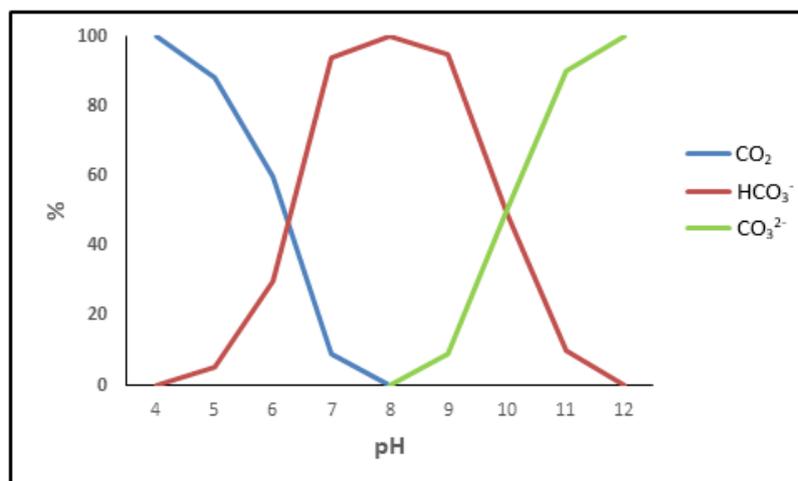


Figura 4.2: Distribución de las especies carbonatadas según el pH

4. Bicarbonatos (HCO_3^-) y carbonatos (CO_3^{2-})

Aunque la presencia de HCO_3^- y CO_3^{2-} puede estimarse a partir de la alcalinidad total, algunos laboratorios indican en el análisis los niveles de estos iones. La unidad habitual de expresión de HCO_3^- y CO_3^{2-} es mg/L, aunque en algunos casos pueden estar indicados en miliequivalentes por litro (meq/L). La relación entre ambas unidades es la siguiente:

- Mg/L de HCO_3^- = 61 x meq/L de HCO_3^-
- mg/L de CO_3^{2-} = 30 x meq/L de CO_3^{2-}

61 y 30 corresponden al peso de un miliequivalente del HCO_3^- y CO_3^{2-} , respectivamente.

El conocimiento del nivel de estos iones permite calcular con relativa exactitud la cantidad de ácido necesaria para neutralizarlos. No obstante, es deseable contar con cierto nivel de bicarbonatos en el agua, dado que los mismos le otorgan la capacidad 'buffer', es decir, la capacidad de amortiguar los cambios bruscos de pH. Este nivel ronda los 30 mg/L*.

5. Elementos indeseables: sodio (Na), cloro (Cl) y boro (B)

El Na, Cl y B son elementos muy frecuentes en el agua cuyo exceso puede resultar nocivo para las plantas.

El alto nivel de Na puede conducir a una deficiencia de potasio (K), debido a que por la similitud entre ambos elementos las plantas no siempre pueden discriminarlos.



Figura 4.3: Deficiencia de K en lechuga causada por exceso de Na

El Cl, por otro lado, aunque es un micronutriente, en cantidades excesivas puede afectar la fotosíntesis y además compite con el nitrato (NO_3^-) y el fosfato (H_2PO_4^-), causando deficiencias de N y P, respectivamente.

Por último, la toxicidad por B puede causar, entre otros efectos, reducción de la división celular, inhibición de la fotosíntesis y eventual muerte de las plantas.

6. Elementos esenciales

El agua puede contener elementos esenciales que deben ser tenidos en cuenta, y descontados, en el momento de realizar la formulación, pues representan un ahorro de fertilizantes. Entre los elementos (o iones) más habituales podemos mencionar el

* Este valor corresponde a 0,5 miliequivalentes por litro (meq/L) de HCO_3^-

nitrate, sulfate, calcium, magnesium, boron, molybdenum, among others. In some cases, the level can exceed the optimum for crops, which will mean a limitation for use (for example, excess of nitrates caused by leaching of fertilizers or effluents).

The most common unit of expression of the concentration of elements is mg/L (equivalent to ppm). In some cases, it can be expressed in meq/L. Both forms of expression can be related in the following way:

- $\text{meq/L} = (\text{mg/L}) / \text{peso equivalente}$
- $\text{mg/L} = \text{meq/L} \times \text{peso equivalente}$

The equivalent weight of the different elements is indicated in the following table:

Tabla 4.2: Peso equivalente de algunas moléculas de interés

Molécula	Peso equivalente	Molécula	Peso equivalente
Amonio (NH_4^+)	18	Magnesio (Mg)	12
Azufre (S)	32	Nitrato (NO_3^-)	62
Bicarbonato (HCO_3^-)	61	Nitrógeno (N)	14
Calcio (Ca)	20	Fosfato (H_2PO_4^-)	97
Carbonato (CO_3^{2-})	30	Fósforo (P)	31
Carbonato de calcio (CaCO_3)	50	Potasio (K)	39
Cloro (Cl)	35,5	Sodio (Na)	23
Cloruro de sodio (NaCl)	58,5	Sulfato (SO_4^{2-})	48

7. Otros elementos tóxicos

In addition to Na and Cl, there can be other elements present, whose high level can affect crops, there are elements whose presence in water can result in phytotoxicity. Among them, arsenic (As), lead (Pb), selenium (Se), chromium (Cr), cadmium (Cd), among others.

Valores de referencia para algunos parámetros fisicoquímicos

In continuation, we summarize the reference values for some physicochemical parameters of water for hydroponics.

Tabla 4.3: Interpretación y valores críticos de algunos parámetros de calidad de agua para hidroponia

Parámetro	Unidad	Riesgo		
		Nulo	Medio	Alto
pH	Unidades pH	< 7	7-8	> 8
CE	mS/cm	< 0,25	0,25 - 0,75	> 0,75
TDS	ppm	< 175	175 – 525	> 525
Nitratos	ppm	<50	50 - 100	>100
Amonio	ppm	<10	10 - 40	>40
Calcio	ppm	<50	50 - 250	>250
Magnesio	ppm	<10	10 - 30	>30
Potasio	ppm	-	-	>100
Sodio	ppm	< 70	70 - 140	> 140
Bicarbonatos	ppm	<100	100 - 360	> 360
Carbonatos	ppm	<10	10 - 20	>20
Cloruros	ppm	<70	70 – 140	>140
Alcalinidad	ppm	<40	40 – 160	>400
Boro	ppm	<0,7	0,7 – 2,5	>2,5
Hierro	ppm	-	-	>5,0
Cadmio	ppm	-	-	>0,01
Zinc	ppm	-	-	>2,0
Cobalto	ppm	-	-	>0,05
Cobre	ppm	-	-	>0,02
Molibdeno	ppm	-	-	>0,01

Mejora de la calidad de agua

Dos prácticas son las más comunes para mejorar la calidad fisicoquímica del agua: equipos de ósmosis inversa y recolección de agua de lluvia. El agua obtenida, de alta calidad, puede emplearse para sustituir total o parcialmente la que se utilizará en la preparación de la solución concentrada.



Figura 4.4: Equipo de ósmosis inversa

5. FUNDAMENTOS DE NUTRICIÓN MINERAL

Elementos esenciales

De los 94 elementos minerales presentes en la Tierra, 16 de ellos son indispensables para el normal desarrollo de las plantas. Se dice entonces que estos elementos son **esenciales**.

El término **elemento esencial** fue sugerido por los investigadores Arnon y Stout en 1939, quienes propusieron las “tres condiciones de esencialidad”:

- I. La planta es incapaz de completar su ciclo vital sin el elemento
- II. El elemento no puede ser reemplazado por otro (es específico)
- III. El elemento debe estar involucrado directamente en el metabolismo de las plantas o debe ser requerido en un determinado paso metabólico.

Seguidamente, listamos los elementos esenciales.

Tabla 5.1: Elementos esenciales y formas de absorción y concentración en plantas

Elemento	Símbolo	Forma de absorción	
Hidrógeno	H	H ₂ O	Macronutrientes
Carbono	C	CO ₂	
Oxígeno	O	O ₂ , H ₂ O	
Nitrógeno	N	NO ₃ ⁻ , NH ₄ ⁺	
Potasio	K	K ⁺	
Calcio	Ca	Ca ²⁺	
Magnesio	Mg	Mg ²⁺	
Fósforo	P	H ₂ PO ₄ ⁻ , HPO ₄ ²⁻	
Azufre	S	SO ₄ ²⁻	
Cloro	Cl	Cl ⁻	
Boro	B	H ₂ BO ₃ ⁻	Micronutrientes
Hierro	Fe	Fe ²⁺ , Fe ³⁺	
Manganeso	Mn	Mn ²⁺	
Cinc	Zn	Zn ²⁺	
Cobre	Cu	Cu ²⁺	
Níquel	Ni	Ni ²⁺	
Molibdeno	Mo	MoO ₄ ²⁻	

La forma de absorción indicada en la tabla anterior hace referencia a que los elementos usualmente se encuentran formando parte de moléculas y son absorbidos de esta forma. La forma química de algunos nutrientes puede resultar alterada principalmente por cambios en el pH de la solución o por un desbalance en la solución nutritiva que cause la precipitación (pasaje a forma sólida, insoluble). Se dice, en tales casos, que la **biodisponibilidad** de estos nutrientes se reduce.

Para cualquier elemento esencial el crecimiento de las plantas estará relacionado con su concentración, tal como se ve en la figura que sigue.

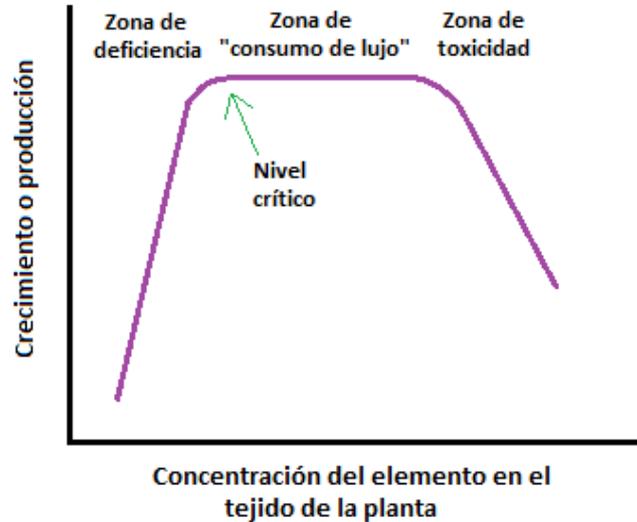


Figura 5.2: Respuesta general del crecimiento de las plantas en función del contenido de un elemento esencial

De lo anterior se deduce que niveles bajos de un determinado nutriente afectarán negativamente el crecimiento, lo que está representado en la llamada **zona de deficiencia**. En esta zona podrán visualizarse los síntomas de deficiencia. El llamado **nivel crítico** indica el nivel por encima del cual no se ve afectado el crecimiento. Idealmente, la dosis de los fertilizantes debería ajustarse para estar próxima al mismo. Por encima de este nivel se encuentra la llamada **zona de consumo de lujo** en la cual el aumento en el nivel de fertilización no se traducirá en un mejor desempeño de la planta, aunque sí en un mayor gasto económico. Por último, concentraciones muy elevadas de determinado nutriente puede afectar a las plantas por toxicidad.

Micro y macronutrientes

De acuerdo con la concentración en que son requeridos los elementos esenciales, se los clasifica en **micronutrientes** y **macronutrientes**. Los primeros están en concentraciones muy bajas (< 0,01% del peso seco), mientras que los macronutrientes, en cambio, se encuentran en concentraciones más elevadas (> 0,10 % del peso seco). En el caso de los micronutrientes, a diferencia de los macronutrientes, con menores concentraciones puede llegarse al nivel crítico, aunque también es más fácil alcanzar niveles de toxicidad.

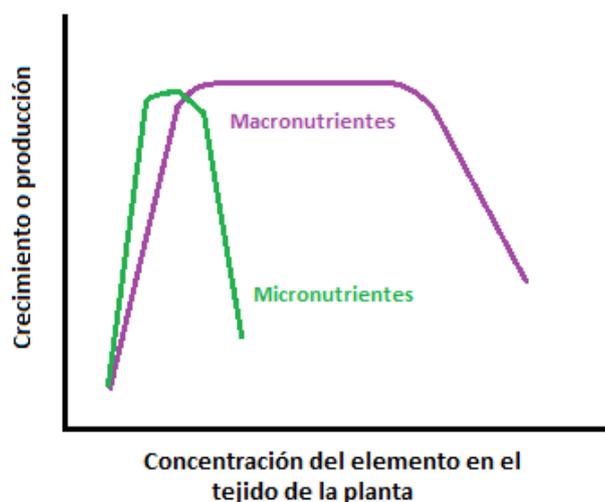


Figura 5.3: Relación entre suministro de macro y micronutrientes y el crecimiento

Movilidad de los nutrientes en la planta

Una segunda clasificación de los nutrientes esenciales se establece de acuerdo a la capacidad de estos de removilizarse dentro de la planta. Que un nutriente sea **móvil** significa que tiene movilidad dentro de la planta, es decir que, en caso de deficiencia, los síntomas se visualizarán primeramente en hojas más antiguas, dado que se produce una migración hacia las más jóvenes. Los nutrientes **inmóviles**, en cambio, carecen de la capacidad de removilizarse, lo que determina que los síntomas de deficiencia se manifestarán en las hojas más jóvenes. Los elementos móviles son: nitrógeno, potasio, fósforo, magnesio, cloro, sodio, molibdeno y zinc. Dentro de los inmóviles se encuentran calcio, azufre, hierro, cobre y boro.

Principales elementos esenciales: funciones y síntomas de deficiencia

En este apartado describiremos, de manera simplificada, las funciones de los elementos esenciales, así como los síntomas de deficiencia.

En un cultivo en hidroponía las carencias nutricionales pueden manifestarse en poco tiempo, a diferencia de un cultivo en suelo, dado que este último puede ‘amortiguar’ ciertos cambios. No obstante, una vez realizadas las adecuadas correcciones en la formulación, los síntomas generalmente pueden revertirse al cabo de unos pocos días.

Si bien existen dispositivos que permiten monitorear los diferentes elementos esenciales en la solución, su uso no es generalizado dado el elevado costo. Por ello, es importante conocer los síntomas de deficiencias nutricionales para realizar lo antes posible los ajustes de fertilizantes en la solución nutritiva.

Nitrógeno (N)

Es el elemento requerido en mayor cantidad por las plantas (luego del carbono, oxígeno e hidrógeno). Forma parte de una gran cantidad de compuestos orgánicos, como aminoácidos, proteínas, ácidos nucleicos, clorofila, entre otros.

La carencia se manifiesta como una clorosis (amarillamiento) generalizada y detención de crecimiento. En lechuga puede ocurrir la no formación de la cabeza.



Figura 5.4: Clorosis generalizada y mal formación de la cabeza de lechuga debido a la deficiencia de N

Fósforo (P)

Constituye diversos compuestos orgánicos de importancia, como azúcares, ácidos nucleicos y lípidos de membrana.

Los síntomas de carencia se manifiestan como una reducción del crecimiento y una coloración púrpura de las hojas, por la acumulación de antocianinas.



Figura 5.5: Síntomas de deficiencia de P incipiente (A) y avanzada (B) en rúcula

Potasio (K)

Actúa como una coenzima o activador de muchas enzimas. La síntesis de proteínas requiere altos niveles de potasio. Por otro lado, cumple funciones sumamente importantes en la regulación de la entrada de agua a las células, lo que lo hace fundamental para el crecimiento.

Ante una deficiencia de este elemento en los bordes de las hojas suelen aparecer manchas cloróticas y necróticas (tejido muerto). Dada su gran movilidad dentro de la planta estos síntomas se manifiestan principalmente en hojas más antiguas.



Figura 5.6: Bordes de hojas de lechuga cloróticos y necróticos por deficiencia de K

Calcio (Ca)

Cumple una función estructural muy importante, al formar la laminilla media, estructura que une las células entre sí. Además, interviene en la división y elongación celular y participa como mensajero químico.

Al tratarse de un nutriente inmóvil, los síntomas de deficiencia se manifestarán en hojas jóvenes, inicialmente como una clorosis y eventualmente, si no se corrige la deficiencia, puede derivar en una necrosis marginal que además puede ser puerta de entrada para microorganismos patógenos.



Figura 5.7: Necrosis en hojas jóvenes de lechuga

Magnesio (Mg)

Forma parte de la molécula de clorofila. Asimismo, es necesario para la activación de muchas enzimas. Es un elemento altamente móvil en la planta.

La carencia se manifiesta como manchas cloróticas anchas entre las nervaduras, principalmente en hojas viejas.



Figura 5.8: Deficiencia de magnesio en lechuga

Azufre (S)

Integra varios compuestos orgánicos, incluyendo aminoácidos esenciales y proteínas. Además de ser absorbido por las raíces, los estomas tienen la capacidad de absorberlo como gas dióxido de azufre (SO₂).

No es una deficiencia que aparezca con demasiada frecuencia en cultivos hidropónicos. La misma puede manifestarse como una clorosis generalizada que comienza en las hojas más jóvenes dado que tiene una capacidad de movilización limitada.

Hierro (Fe)

Es un microelemento necesario para la síntesis de clorofila. Asimismo, activa diversas ciertas enzimas.

El síntoma de deficiencia de este elemento se manifiesta como clorosis intensa entre las nervaduras de las hojas más jóvenes. El mismo se conoce como “clorosis férrica”.



Figura 5.9: Clorosis férrica en hojas de rúcula

Manganeso (Mn)

Participa en la producción fotosintética de oxígeno a partir del agua y está relacionado con la actividad de numerosas enzimas. Los síntomas pueden incluir clorosis internerval de las hojas más viejas y un leve retraso del crecimiento.

Boro (B)

Interviene en el transporte de azúcares, síntesis de hormonas y ácidos nucleicos, formación de las membranas celulares, germinación del tubo polínico y desarrollo de los frutos.

En caso de deficiencia las plantas pueden tornarse más oscuras y pueden aparecer algunas manchas cloróticas entre las nervaduras de las hojas más jóvenes. Además, pueden verse frutos deformes y con necrosis terminal.

Zinc (Zn)

Es un elemento con poca movilidad en la planta. Se requiere para la síntesis de clorofila y hormonas vinculadas al crecimiento (auxinas). Ante una deficiencia pueden aparecer manchas cloróticas y necróticas entre las nervaduras y reducirse el crecimiento.

Cobre (Cu)

Este microelemento forma parte de varias enzimas. En caso de deficiencia puede verse reducido el crecimiento, en las hojas son más angostas, pudiendo aparecer clorosis en los bordes y curvatura de estas dando un aspecto de “cuchara”.



Figura 5.10: Curvatura en forma de “cuchara” en hojas de lechuga

Molibdeno (Mo)

Este elemento es esencial en las reacciones de asimilación del nitrógeno en las plantas. Es altamente móvil. Las hojas de las plantas con deficiencia de este elemento pueden tornarse color verde pálido, curvarse y eventualmente morir.

Cloro (Cl)

Es un elemento requerido en muy pequeñas cantidades, por lo que la deficiencia no es habitual en cultivos en hidroponia. Participa en la fotosíntesis, en el proceso la producción de oxígeno a partir del agua. Puede manifestarse como manchas cloróticas o necróticas en las hojas más jóvenes. También, puede reducirse el crecimiento de las plantas.

6. MANEJO DE LA SOLUCIÓN NUTRITIVA

En este apartado discutiremos los parámetros más importantes a monitorear y, de ser necesario, corregir, en la solución nutritiva para un cultivo de hidroponía.

1. pH

Como se explicó en el capítulo de formulación, cada nutriente esencial es absorbido de una o dos formas químicas determinadas. Esta forma puede variar de acuerdo con el pH y con ello su disponibilidad, tal como puede visualizarse en el diagrama de Troug a continuación.

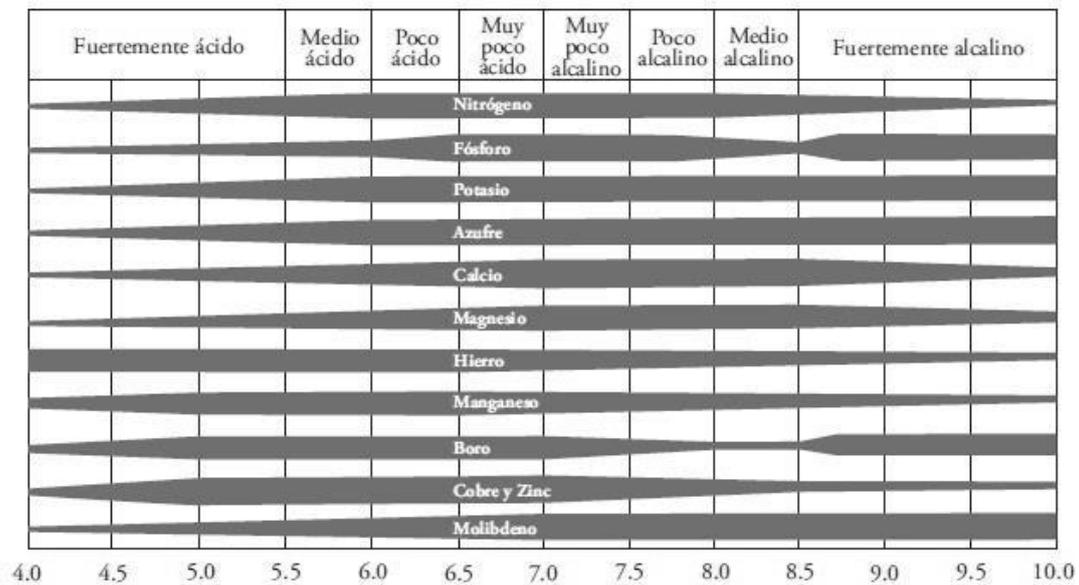


Figura 6.1: Disponibilidad de los nutrientes esenciales de acuerdo con el pH

En la figura anterior, el mayor espesor de la barra corresponde a una mayor disponibilidad del elemento para su absorción por parte de las plantas. Resulta claro, entonces, que la máxima disponibilidad se halla con pH comprendido entre 5,5 y 6,0.

La medición del pH se realiza con medidores de pH, también llamados peachímetros.



Figura 6.2: Medidor de pH

Lo habitual es tener que realizar correcciones con ácido a fin de reducir el pH de la solución nutritiva, ajustándolo al óptimo. Para esto se utilizan ácidos aptos para uso agrícola, de los cuales el ácido fosfórico (H_3PO_4), nítrico (HNO_3) y sulfúrico (H_2SO_4), en menor medida, son los más comunes.

Tabla 6.1: Ácidos agrícolas más comunes para corregir el pH

Densidad g/mL	Riqueza del ácido (% en peso)		
	Nítrico (HNO_3)	Fosfórico (H_3PO_4)	Sulfúrico (H_2SO_4)
1,34	55		
1,40	65-70		50
1,50	95	53	60
1,60		75	
1,73		85	77
1,84			90-98

Como la escala de pH no es lineal, una solución con pH 5, por ejemplo, es cien veces más ácida que a pH 7, y a pH 6 es diez veces más ácida que a pH 7. A pH 8, la solución es diez veces más básica que a pH 7. Se deduce entonces que el pH no descenderá proporcionalmente según el ácido agregado.

Un procedimiento simplificado para la corrección del pH de la solución nutritiva* consiste en tomar una cantidad determinada de esta solución, agregar gotas de ácido

* Este procedimiento fue tomado del canal de YouTube del Ing. Matías González (UNC- Crear Hidroponia). Puede accederse al video en la siguiente dirección:
https://www.youtube.com/watch?v=r1oh6jQyktw&ab_channel=matiasgonzalezhidroponia

hasta llegar al valor óptimo de pH, registrando la cantidad agregada, y luego relacionar esta cantidad con el volumen del tanque. Puede utilizarse para este fin un gotero en el que el volumen de cada gota equivale, en promedio, a 0,08 mL.



Figura 6.3: Gotero para calcular la cantidad de ácido a agregar

Por ejemplo, se cuenta con un tanque de fertilización de 2000 L, cuyo valor de pH es 7,5. Se toma 1 L de esta solución y se observa que con tres gotas de ácido se logra reducir el pH a 5,5. Entonces, el cálculo es el siguiente:

- *Cantidad de ácido por litro: $(3 \text{ gotas/L}) \times (0,08 \text{ mL/gota}) = 0,24 \text{ mL/L}$*
- *Cantidad de ácido por tanque: $(0,24 \text{ mL/L}) \times (2000 \text{ L/tanque}) = 480 \text{ mL/tanque}$*

A fin de reducir el riesgo durante la manipulación de los ácidos, los mismos pueden diluirse con agua (al 50 o 70%, por ejemplo). **En la preparación de las disoluciones es importante recordar que primero debe agregarse el agua y luego completar con ácido, y nunca al revés.**

En caso de que el pH llegara a estar muy por debajo del valor óptimo, puede aumentarse empleando algún hidróxido, como hidróxido de potasio (KOH). Para ello, se disuelven 2 a 3 g en un litro de agua y la solución resultante es la que se utilizará para la corrección del pH.

2. Conductividad eléctrica (CE)

La CE está en estrecha relación con los iones presentes, provenientes del agua y de los fertilizantes agregados. Una elevada CE, dependiendo de la especie, puede obstaculizar la adecuada absorción de agua y nutrientes. Por otro lado, una CE muy baja indicará un bajo nivel de nutrientes, lo que se traducirá en un menor crecimiento de las plantas.

Los dispositivos empleados para medir la CE se denominan conductímetros y pueden medir en diferentes unidades (mS/cm, dS/m, $\mu\text{S/cm}$ o ppm). La relación entre las unidades de CE fue tratada en el apartado de “calidad de agua”.



Figura 6.4: Conductímetro

La reducción de la CE de la solución nutritiva se realiza agregando agua a la misma. En cambio, para aumentar la CE debe agregarse solución concentrada.

En épocas de calor es conveniente trabajar con valores más bajos de CE, mientras que en épocas frías se recomienda aumentar la CE. Esto se fundamenta en que las altas temperaturas determinan una elevada transpiración por parte de las plantas, que contribuye a la pérdida de calor en las hojas, al mismo tiempo que permite el ingreso de los nutrientes. La baja CE facilitará el ingreso de agua. Por otro lado, en condiciones frías el movimiento de agua a través de la planta se reduce, razón por la cual esta agua que ingresa debe contar con un mayor nivel de nutrientes (alta CE).

3. Temperatura de la solución

La temperatura de la solución puede afectar la actividad de las raíces e influir en la absorción de agua y nutrientes. En líneas generales, para especies de hojas, cultivadas en NFT y raíz flotante, se recomienda que la temperatura se encuentre entre 18 y 24 °C.

Con altas temperaturas en la zona de las raíces se dificulta la correcta oxigenación de estas, pues se acelera la difusión del oxígeno (O₂) a la atmósfera. Idealmente, el nivel de oxígeno disuelto (OD) no debería ser inferior a 8 ppm, para que no se manifiesten problemas de bajo nivel de O₂ (hipoxia) (Fig. 6.5).

Tabla 6.2: Relación entre la temperatura y el oxígeno del agua a presión atmosférica

Temperatura de la solución (°C)	Solubilidad del O ₂ (ppm de agua pura)
10	11,29
15	10,08
20	9,09
25	8,26
30	7,56
35	6,95
40	6,41
45	5,93

4. Oxígeno disuelto (OD)

Como comentamos anteriormente, el OD de la solución es esencial para la actividad radical. También, indicamos la relación de este parámetro con la temperatura de la solución, aunque no depende exclusivamente de ella. Los sistemas más susceptibles de presentar problemas son lo de raíz flotante, dado el mayor volumen de agua utilizado. La mejora en los niveles de OD puede lograrse mediante bombas hidráulicas, que recirculen y aireen la solución, y bombas de aire o compresores.

La medición del OD se realiza con dispositivos llamados oxímetros. No obstante, debe recordarse que la coloración de las raíces tiene estrecha relación con el nivel de OD en la solución.



Figura 6.5: Falta de oxigenación en raíces

Reposición y renovación de la solución nutritiva

A consecuencia de la transpiración de las plantas, proceso necesario para perder calor y proveerse de nutrientes, se produce un descenso del nivel de la solución nutritiva. Teniendo en cuenta que el consumo de agua es mayor que el de nutrientes, es natural que aumente la concentración de estos, lo que se evidencia en el aumento de la CE. Sumado a lo anterior, y dado que los distintos elementos esenciales son absorbidos en diferentes cantidades y velocidades, ocurren desbalances entre los mismos. Por último, al producirse la absorción de nutrientes, las raíces liberan iones hidrógenos (H^+) e hidróxidos (OH^-), lo que explica los cambios en el pH de la solución.

Se deduce, entonces, la razón por la cual deben realizarse correcciones periódicas en el nivel de la solución, la CE y el pH.

Una complejidad más representa los iones indeseables del agua, como sodio, bicarbonatos, entre otros. Los mismos tienden a acumularse en la solución, con los efectos nocivos ya mencionados (toxicidad, competencia con otros elementos, dificultad de regular el pH, etc.).

Como conclusión, si el agua utilizada es de mala calidad, deben realizarse renovaciones más frecuentes de la totalidad de la solución nutritiva. No sucede lo mismo al emplearse agua de buena calidad, que admite el uso por tiempo más prolongado, atendiendo a las correcciones diarias mencionadas.

7. FORMULACIÓN DE SOLUCIONES NUTRITIVAS

Soluciones nutritivas

Con excepción del carbono (C), hidrógeno (H) y oxígeno (O), las plantas incorporan los elementos esenciales juntos con el agua, donde están disueltos. En hidroponía el aporte de nutrientes a las plantas se realiza mediante fertilizantes disueltos en el agua aportada a las plantas. Esto recibe el nombre de **solución nutritiva**.

SOLUCIÓN NUTRITIVA = FERTILIZANTES + AGUA

No existe una solución nutritiva ideal o universal que pueda utilizarse en todos los cultivos y situaciones. La misma variará de acuerdo con:

- Cultivo
- Etapa de crecimiento
- Calidad del agua
- Condiciones ambientales

Sin embargo, diferentes autores han propuesto soluciones nutritivas adaptadas a determinados cultivos y climas. A continuación, se muestran algunas de ellas.

Tabla 7.1: Algunas soluciones nutritivas propuestas por diversos autores. Las concentraciones de los elementos están expresadas en mg/L (ppm)

NOMBRE DE LA FÓRMULA	N _(NO3)	N _(NH4)	P _(PO4)	K	Ca	Mg	S ⁻	Fe	Mn	B	Cu	Mo	Zn
Lago	98		100	273	363	73	335						
Shell	98		133	273	365	49	287						
Ohio State	97	25	93	269	359	53	338						
Purdue	70	28	33	390	181	25	192						
California	169	14	28	234	122	49	64						
New Jersey	96	20	71	90	137	56	96						
Sachs' 1860	127		100	355	298	47	146						
Knop's 1865	120		44	126	135	19	24						
Knop's 1865	206		57	168	244	24	32						
Pfeffer's 1900	120		44	224	136	19	25						
Crone's 1902	127		100	354	149	23	73						
Stive 1915	148		448	562	208	484	640						
Hoagland 1919	158		44	284	200	99	125						
Jones & Shive 1921	204	39	65	102	292	172	227	0,83					
Rothamstad	139		117	593	116	48	157	8	0,25	0,2			
Hoagland & Arnon 1938	196	14	31	234	160	48	64	0,63	0,5	0,5	0,02	0,01	0,05
Long Ashton	140		41	130	134	36	48	5,6	0,55	0,5	0,064	0,05	0,065
Dr, H,C, Resh	145	30	65	400	197	44	197,5	2	0,5	0,5	0,03	0,02	0,05
Eaton 1931	168		93	117	240	72	96	0,8	0,5	1			
Shive & Robbins 1937-1	126	19	69	87	180	53	91		0,17	0,1			0,17
Shive & Robbins 1937-2	52,5		45,5	57,5	31	51	67		0,17	0,1			0,17
Shive & Robbins 1937-3	53		21	100	14	51	67		0,17	0,1			0,17
Robbins 1946	196		31	195	200	48	64	0,5	0,25	0,25	0,02	0,01	0,25
White 1943	47		4	65	50	72	140	1	1,67	0,25	0,005	0,001	0,59
Duclos 1957	210		27	234	136	72	32	3	0,25	0,4	0,15	2,5	0,25
Tumanov 1960	125		90	150	400	50	64	2	0,5	0,5	0,05	0,02	0,1
Abbott	150		60	200	210	50	147	5,6	0,55	0,5	0,064	0,05	0,065
Kidson	208		57	234	340	54	114	2	0,25	0,5	0,05	0,1	0,05
Purdue A 1948	70	28	63	390	200	51	304	1	0,3	0,5	0,2		0,05
Purdue B 1948	140	28	63	585	200	96	447	1	0,3	0,5	0,2		0,05
Purdue C 1948	224	14	63	390	92	49	64	1	0,3	0,5	0,2		0,05
Purdue D 1948	140	14	63	390	0	49	64	1	0,3	0,5	0,2		0,05
Wagner-Poesch 1956	89	24	74	247	173	50	195						
Marvel 1966	59,5	23	57,5	166	357	22	312	5,8	0,43	2,5	0,23		0,21

Formulación de soluciones nutritivas

En este apartado se describirá un procedimiento simplificado para elaborar una solución nutritiva de una composición deseada, la que recibe el nombre de **fórmula nutritiva** o **formulación** y el procedimiento se denomina **formular**.

La concentración de una solución puede expresarse de distintas maneras:

- I. **Milimoles por litro (mmol/L)**. El milimol es la milésima parte de un mol, el cual, a su vez, se define como la cantidad de sustancia de un sistema que contiene tantas entidades elementales como átomos hay en 0,012 kg de carbono 12.
- II. **Miliequivalentes por litro (meq/L)**. Es el resultado de dividir el peso molecular de un átomo o ion por la valencia (cargas) de átomo o ion.
- III. **Partes por millón (ppm)**. En esta forma de expresión se indica la concentración de partículas elementales. En soluciones nutritivas indica los **miligramos del nutriente por litro de agua (mg/L)**.

A fin de simplificar la metodología, trabajaremos con ppm.

La secuencia en la formulación es la siguiente:

1. Definir la composición de la solución nutritiva
2. Descontar los aportes de elementos del agua
3. Ajustar los macronutrientes a partir de los fertilizantes
4. Ajustar los micronutrientes
5. Preparación de las soluciones “concentradas” o “madres”

1. Definir la composición de la solución nutritiva

La elección de la fórmula nutritiva se hará tomando como referencia alguna fórmula conocida o la experiencia propia. A los fines didácticos, utilizaremos en los cálculos la fórmula “Long Ashton” (ver tabla 7.1).

2. Descontar los aportes de elementos del agua

Los nutrientes presentes en el agua, y determinados por el análisis fisicoquímico, se descontarán de la fórmula determinada. En el caso que se cuente con agua de buena calidad (ej. agua de lluvia o de ósmosis inversa) o no se disponga de un análisis, se consideran nulos los aportes del agua.

Suponiendo que del análisis de agua se determine la presencia de 30 mg/L Calcio (Ca), entonces, se confecciona la siguiente tabla:

Tabla 7.2: Cálculo de los requerimientos de nutrientes para la formulación

	Concentración (mg/L)											
	N _(NO3)	P _(PO4)	K	Ca	Mg	S	Fe	Mn	B	Cu	Mo	Zn
Fórmula	140	41	130	134	36	48	5,6	0,55	0,5	0,064	0,05	0,065
Agua	0	0	0	30	0	0	0	0	0	0	0	0
Fórmula final	140	41	130	104	0	48	5,6	0,55	0,5	0,064	0,05	0,065

Una aclaración merece el elemento N. Aunque el mismo puede aportarse en forma de nitrato (NO₃⁻) y amonio (NH₄⁺), el nivel de este último no debería superar el 20%*, para evitar problemas de toxicidad. Si bien la fórmula 'Long Ashton' no incluye el N(NH₄), como veremos más adelante, existirá un aporte de esta forma de N.

3. Ajustar los macronutrientes a partir de los fertilizantes

La elección de los fertilizantes dependerá de la disponibilidad en la zona y del precio.

Tabla 7.3: Fertilizantes simples más utilizados en el país

FERTILIZANTE	FÓRMULA MOLECULAR	RIQUEZA (%)	PUREZA (%)	PESO MOLECULAR (g)	Solubilidad a 20 °C (g/L)
Nitrato de calcio	Ca(NO ₃) ₂ .4 H ₂ O	11,8 N; 17,0 Ca	83	236	1200
Nitrato de potasio	KNO ₃	13,8 N 38,6 K	94	101	316
Fosfato monoamónico	NH ₄ H ₂ PO ₄	12,0 N 27,0 P	99	115	294
Fosfato monopotásico	KH ₂ PO ₄	28,6 K 22,8 P	99	136	208
Sulfato de potasio	K ₂ SO ₄	45,0 K 18,0 S	90	174	111
Sulfato de magnesio	MgSO ₄ .7 H ₂ O	10,0 Mg 13,0 S	98	246	700

La **riqueza** indica el porcentaje que hay de cada elemento en un fertilizante dado. Por ejemplo, para el nitrato de calcio la riqueza de nitrógeno y calcio se calcula de la siguiente manera:

* Para el cálculo de este porcentaje las concentraciones deben estar expresadas en meq/L y no en ppm.

Tabla 7.4: Determinación de la riqueza del nitrato de calcio

ELEMENTO	PESO MOLECULAR* (g)	NÚMERO DE MOLÉCULAS	PESO MOLECULAR TOTAL (g)	% EN PESO
Nitrógeno (N)	14	2	28	11,8
Calcio (Ca)	40	1	40	17,0
Oxígeno (O)	16	10	160	67,7
Hidrógeno (H)	1	8	8	3,5
TOTAL			236	100

La **pureza** hace referencia a la cantidad real de fertilizante que se está agregando, luego de descontadas las impurezas. En la tabla 6.3 se indican los valores más frecuentes para los fertilizantes indicados. No obstante, debería verificarse dicho valor en la etiqueta del fertilizante.

El **peso molecular total** se obtiene de la sumatoria de los pesos moleculares de cada elemento.

El orden propuesto para el ajuste de los nutrientes es el siguiente:

I. Ajustar el Calcio (Ca)

Esto se realizará con Nitrato de Calcio, $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$. Se plantea la siguiente regla de tres:

$$17 \text{ mg Ca} \text{ _____ } 100 \text{ mg de nitrato de calcio}$$

$$104 \text{ mg Ca} \text{ _____ } x = \mathbf{611 \text{ mg de nitrato de calcio}}$$

El paso siguiente es corregir el valor obtenido por la pureza del fertilizante:

$$\text{mg/L reales de nitrato de calcio} = \frac{611 \text{ mg/L de nitrato de calcio}}{0,83} = \mathbf{736 \text{ mg/L}}$$

II. Calcular los aportes de nitrógeno (N) realizado por el nitrato de calcio

El nitrato de calcio aporta Ca y además N, en forma de nitrato (NO_3). Este aporte se calcula de la siguiente manera:

$$100 \text{ mg de nitrato de calcio} \text{ _____ } 11,8 \text{ mg N}$$

$$736 \text{ mg de nitrato de calcio} \text{ _____ } x = \mathbf{86,8 \text{ mg N}}$$

* El peso molecular de cada elemento puede consultarse en una tabla periódica

III. Ajustar el Nitrógeno (N)

Primeramente, debe descontarse el aporte de N realizado por el nitrato de calcio. Entonces, la cantidad de N faltante para formular es:

$$140 \text{ g/L} - 86,8 \text{ mg/L} = \mathbf{53,2 \text{ mg/L N faltantes}}$$

A continuación, utilizando nitrato de potasio, KNO_3 , se calcula la cantidad necesaria para cubrir el faltante:

$$13,8 \text{ mg N} \text{ _____ } 100 \text{ mg de nitrato de potasio}$$

$$53,2 \text{ mg N} \text{ _____ } x = \mathbf{385 \text{ mg de nitrato de potasio}}$$

El valor obtenido se corrige con la pureza del fertilizante:

$$\text{mg/L reales de nitrato de potasio} = \frac{385 \text{ mg/L de nitrato de potasio}}{0,94} = \mathbf{409 \text{ mg/L}}$$

IV. Ajustar el Potasio (K)

En primer lugar, se verifica si con el nitrato de potasio calculado en el paso anterior, ya fueron cubiertos los requerimientos:

$$100 \text{ mg de nitrato de potasio} \text{ _____ } 38,6 \text{ mg K}$$

$$409 \text{ mg de nitrato de calcio} \text{ _____ } x = \mathbf{158 \text{ mg K}}$$

La cantidad requerida de K es de 130. Entonces, ya quedó ajustado este nutriente. Si aún hubiese necesidad de aumentar el valor de K en la formulación puede subirse un poco más el nivel de nitrato de potasio o también podría emplearse algún otro fertilizante potásico, como fosfato monopotásico (KH_2PO_4) o sulfato de potasio (K_2SO_4).

V. Ajustar el Fósforo (P)

Se calcula la cantidad de fosfato monoamónico, $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$, necesaria:

$$27 \text{ mg P} \text{ _____ } 100 \text{ mg de fosfato monoamónico}$$

$$41 \text{ mg P} \text{ _____ } x = \mathbf{151,8 \text{ mg de fosfato monoamónico}}$$

Corrigiendo este valor con la pureza del fertilizante, se obtiene que:

$$\text{mg/L reales de fosfato monoamónico} = \frac{151,8 \text{ mg/L de fosfato monoamónico}}{0,99} = \mathbf{153 \text{ mg/L}}$$

El fosfato monoamónico, además, realiza un aporte de N en forma de amonio (NH₄):

100 mg fosfato monoamónico _____ 12 mg de N (NH₄)

153 mg fosfato monoamónico _____ x = **18,3 mg de N (NH₄)**

VI. Ajustar el magnesio (Mg)

Se utilizará sulfato de magnesio, MgSO₄, para este propósito:

10 mg Mg _____ 100 mg de sulfato de magnesio

36 mg Mg _____ x = **360 mg de sulfato de magnesio**

Descontando las impurezas se obtiene:

$$\text{mg/L reales de sulfato de magnesio} = \frac{360 \text{ mg/L de sulfato de magnesio}}{0,98} = \mathbf{367 \text{ mg/L}}$$

VII. Ajustar el azufre (S)

El sulfato de magnesio aporta, además, azufre. Por lo tanto, se verificará el aporte de S realizado con la cantidad determinada en el punto anterior:

100 mg de sulfato de magnesio _____ 13 mg S

367 mg de sulfato de magnesio _____ x = **47,7 mg S**

Dado que la cantidad buscada de S es 48, asumiremos que ya quedó cubierto el requerimiento.

VIII. Solución de macronutrientes

En resumen, la formulación, redondeando los valores calculados, tendrá la siguiente composición:

Tabla 7.5: Fórmula nutritiva determinada para los macronutrientes

FERTILIZANTE	mg/L = g/1000 L
Nitrato de calcio	740
Nitrato de potasio	410
Fosfato monoamónico	155
Sulfato de magnesio	370

4. Ajustar los micronutrientes

El ajuste de los micronutrientes puede hacerse siguiendo el mismo procedimiento que para los macronutrientes, a partir de los siguientes fertilizantes:

Tabla 7.6: Característica de algunos fertilizantes fuente de micronutrientes

FERTILIZANTE	FÓRMULA MOLECULAR	RIQUEZA (%)	PESO MOLECULAR (g)
Sulfato de manganeso	MnSO ₄ H ₂ O	32 Mn	169
Sulfato de zinc	ZnSO ₄ . 7H ₂ O	23 Zn	287,5
Sulfato de cobre	CuSO ₄ . 5H ₂ O	25 Cu	249,7
Ácido bórico	H ₃ BO ₃	17B	61,8
Molibdato de sodio	Na ₂ MoO ₄ . 2H ₂ O	40 Mo	241,9
Hierro quelatado	EDTA-Fe	13 Fe	
Hierro quelatado	EDHA-Fe	6 Fe	

Existen en el mercado fertilizantes compuestos, que aportan todos los micronutrientes. Esta alternativa simplifica el trabajo y resulta válida, dado que, en el caso de estos nutrientes, con muy pequeñas cantidades se suplen las necesidades del cultivo.

Una aclaración especial merece el hierro (Fe). Este es el micronutriente requerido en mayor cantidad (alrededor de 5 mg/L), por lo que no es infrecuente que se manifiesten deficiencias. El mismo debe aportarse como quelatos, que son moléculas complejas muy estables, con lo que se reduce significativamente el riesgo de precipitación. Los quelatos más conocidos son EDTA y EDHA.

5. Preparación de las soluciones “concentradas”

A fin de simplificar la reposición de la solución nutritiva se preparan “soluciones concentradas”, también llamadas “soluciones madre” o “de stock”. Son soluciones entre 100 y 300 veces más concentradas que lo calculado. De este modo, para preparar la solución nutritiva, se realiza una dilución de la solución concentrada.

El límite de aumento de la concentración de los fertilizantes no es arbitrario, sino que dependerá de la solubilidad de cada fertilizante (Tabla 7.3). En caso de que se supere el valor de solubilidad, se producirá la precipitación del fertilizante.

De acuerdo con las cantidades calculadas de cada fertilizante, la solución 100 veces concentrada (100x) será la siguiente:

Tabla 6.7: Cálculo de las soluciones nutritivas concentradas

FERTILIZANTE	FORMULACIÓN (g/1000 L)	SN concentrada (g/L)
Nitrato de calcio	740	74
Nitrato de potasio	410	41
Fosfato monoamónico	155	15,5
Sulfato de magnesio	370	37

Resulta claro que la concentración de todos los fertilizantes está por debajo de la solubilidad, por lo que no existe riesgo de precipitación.

Al tratarse de una solución 100 veces concentrada, en teoría debería **utilizarse 1L de esta por cada 100L de agua, para preparar la solución nutritiva**. Sin embargo, esto no es una regla fija ya que, como vimos anteriormente, según la época del año y la calidad de agua, puede ocurrir que se necesite utilizar una solución más concentrada o diluida.

Por último, debe tenerse presente que no todos los fertilizantes concentrados pueden mezclarse. La compatibilidad entre fertilizantes concentrados puede conocerse a partir de la Fig. 6.1. Si dos o más fertilizantes son incompatibles, al mezclarlos se producirá la precipitación de estos.

$\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$	H_3PO_4	KNO_3	KH_2PO_4	K_2SO_4	MgSO_4	
C	I	C	I	I	I	$\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$
	C	C	C	C	C	H_3PO_4
		C	C	C	C	KNO_3
			C	C	C	KH_2PO_4
				C	C	K_2SO_4
					C	MgSO_4

C = Compatible; I = Incompatible

Figura 6.1: Esquema de la compatibilidad entre algunos fertilizantes

Por ello, se prepararán tanques diferentes (Fig. 6.2) Una propuesta es la siguiente:

- Tanque A: Nitrato de calcio
- Tanque B: Resto de los fertilizantes
- Tanque C: Pueden colocarse los micronutrientes. Estos también pueden ir juntos con los fertilizantes en el tanque A o B
- Tanque con el ácido para reducir el pH



Figura 6.2: Tanques de solución concentrada

Estimación de la CE la solución

Existen algunos métodos que permiten estimar, de manera aproximada, el valor de la CE de la solución. Debe tenerse presente que la misma estará dada por la CE del agua y la de los fertilizantes agregados:

$$CE_{\text{solución}} = CE_{\text{agua}} + CE_{\text{fertilizantes}}$$

1. Método de los aportes de cada fertilizante

Consiste en multiplicar la cantidad de cada fertilizante por un factor específico para cada uno de ellos (Tabla 6.8). Cabe aclarar que se desprecia la contribución de los micronutrientes en el aumento de la CE.

Tabla 6.8: Factores de conversión a CE de algunos fertilizantes

FERTILIZANTE	Factor
Nitrato de calcio	1,10 - 1,20
Nitrato de potasio	1,27 - 1,40
Nitrato de amonio	1,27 - 1,70
Fosfato monoamónico	0,80 - 0,85
Fosfato monopotásico	0,68 - 0,80
Sulfato de magnesio	0,94 - 1,61
Sulfato de potasio	1,42 - 1,54
Ácido fosfórico	1,67 - 2,65
Ácido nítrico	1,10
Ácido sulfúrico	1,10

Siguiendo con la formulación calculada en el ejemplo (tabla 7.5), la CE atribuida a los fertilizantes se calcula de la siguiente manera:

Tabla 6.9: Cálculo del aporte a la CE de cada fertilizante

FERTILIZANTE	mg/L	FACTOR DE CE	CE (μS/cm)
Nitrato de calcio	740	1,20	888
Nitrato de potasio	410	1,30	533
Fosfato monoamónico	155	0,80	124
Sulfato de magnesio	370	1,50	555
TOTAL	1675		2100

A este valor obtenido (2100 μS/cm) debe sumársele la CE del agua.

2. Método gravimétrico

Consiste en dividir los mg/L totales aportados en forma de fertilizante por el factor 0,85. Tomando los mismos valores (tabla 7.5), el cálculo sería:

$$CE_{\text{fertilizantes}} = \frac{1675}{0,85} = 1970 \mu\text{S/cm}$$

8. ETAPAS DEL CULTIVO HIDROPÓNICO

En hortalizas de hoja el del cultivo suele dividirse en tres etapas:

i. Siembra – trasplante

La duración de esta etapa puede rondar los 10 a 20 días, dependiendo de la temperatura. Habitualmente, la siembra se realiza en espuma fenólica o sustrato colocado en bandejas de germinación, colocando una semilla por celda para el caso de lechuga y entre 10 y 15 para especies de menor tamaño (por ejemplo, rúcula, albahaca, etc.) que se comercializan por “atados”.



Figura 8.1: Plantas de lechuga (A) y albahaca (B) en espuma fenólica

El riego inicial, a la siembra, se realiza únicamente con agua. Luego de la germinación, las plántulas deben ser trasladadas a la llamada o “mesa plantinera”, donde permanecerán hasta el trasplante a la siguiente fase. El riego se realiza con solución nutritiva diluida (aproximadamente 50%) para llegar a una CE de alrededor de 1,0 mS/cm.



Figura 8.2: Mesa plantinera

ii. Primera etapa o fase 1

En lechuga puede durar entre 3 y 4 semanas, dependiendo de la época del año. El distanciamiento entre plantas es de 10 a 15 cm y en sistemas NFT se usan caños de poco diámetro (50 mm aproximadamente). Cuando aumenta el tamaño de la planta debe trasplantarse a la siguiente etapa.



Figura 8.3: Planta de lechuga para ser trasplantada a la segunda etapa

iii. Segunda etapa o fase 2

La duración de esta etapa también puede extenderse entre 3 y 4 semanas, hasta el momento de la cosecha, con una planta de 200 a 250 g (Fig. 8.4). Al haber un mayor tamaño de plantas debe aumentarse el distanciamiento de estas (25 cm en lechuga) y el diámetro de los caños en sistemas NFT (60 a 80 mm). Esta variación de la distancia entre plantas en función de su tamaño permite optimizar el uso del espacio, aumentando el rendimiento por unidad de superficie.

Existe una tendencia de obviar la primera etapa, al mantener por más tiempo las plantas en la mesa plantinera, para pasar luego, con un mayor tamaño, a las estructuras con mayor separación. El objetivo buscado con esta práctica es reducir los tiempos de trabajo.



Figura 8.4: Planta de lechuga al momento de la cosecha

En especies de hoja de menor tamaño, como albahaca, rúcula, berro, etc., se suele utilizar un único distanciamiento entre plantas (12 a 15 cm), sin realizar trasplantes durante el desarrollo del cultivo.

9. PLAGAS MÁS COMUNES EN CULTIVOS HIDROPÓNICOS

En este apartado se indicarán las plagas de insectos más frecuentes en cultivos de hoja en hidroponía y los síntomas característicos. En el capítulo de “manejo de plagas y enfermedades” se indican algunas alternativas de control.

1. Trips (*Frankliniella occidentalis*)

Es una de las plagas que mayores perjuicios ocasiona en cultivos de lechuga a nivel mundial. Los insectos adultos miden entre 1 y 2 mm de longitud.

Los daños directos incluyen manchas plateadas o cloróticas con la eventual muerte de la hoja. Por otro lado, los trips pueden transmitir diversos virus, entre los cuales el virus del bronceado del tomate es el más importante.

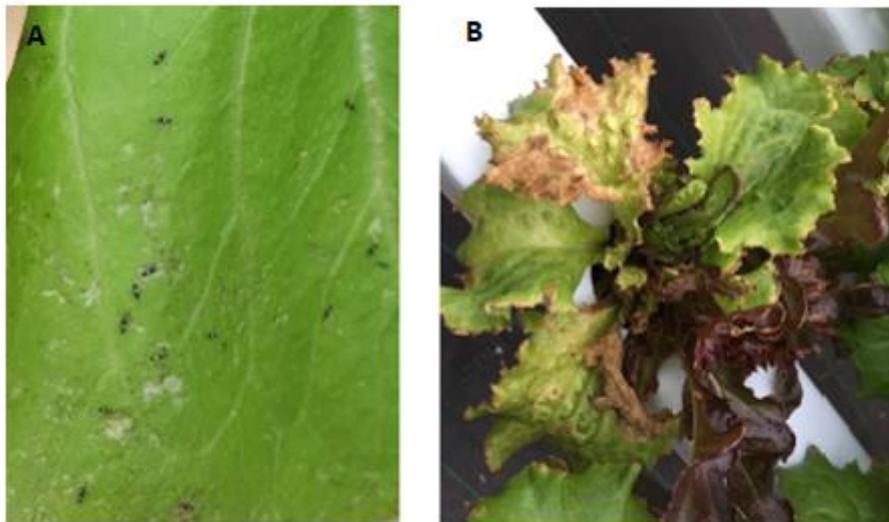


Figura 9.1: Trips en hojas de lechuga (A), daños avanzados en hojas (B)

2. Pulgón de la lechuga (*Nasonovia ribisnigri*, *Myzus persicae*, *Hyperomyzus lactucae*)

Los pulgones son insectos muy pequeños (2-4 mm), que pueden ser alados o ápteros (sin alas). Existen diferentes especies de esta plaga. El color puede variar desde verde claro hasta anaranjado o negro. Los daños directos en lechuga son manchas cloróticas y deformaciones de las hojas, pudiendo causar la muerte de la planta. Además, los daños indirectos incluyen la excreción de jugo azucarado que favorece la infección con el

hongo fumagina, caracterizado por la formación de una capa negra sobre la superficie de las hojas, y la transmisión de diversos virus.



Figura 9.2: Planta de lechuga atacada con pulgones

3. Minador de la hoja o bicho dibujante (*Liriomyza spp.*)

Son moscas pequeñas, de 2-3 mm de longitud. Las hembras colocan los huevos en las hojas y las larvas que nacen se alimentan del interior de las hojas (mesófilo) formando las llamadas 'galerías'. Esto puede provocar el marchitamiento y caída de las hojas.



Figura 9.3: Galerías del minador de la hoja en lechuga

10. ENFERMEDADES MÁS COMUNES EN CULTIVOS HIDROPÓNICOS

Se define a la **enfermedad** como cualquier alteración fisiológica, causada por factores bióticos (microorganismos) o abióticos, que puede afectar la calidad y producción.

En este capítulo se describirán las enfermedades más frecuentes en cultivos de hoja hidroponia y algunas condiciones que favorecen su aparición y diseminación. En el capítulo de “manejo de plagas y enfermedades” se incluye el listado de fungicidas permitidos para lechuga.

Enfermedades causadas por microorganismos

Los microorganismos capaces de causar una enfermedad a las plantas se denominan **patógenos**. Los mismos están representados fundamentalmente por hongos, oomicetes, bacterias y virus.

En fitopatología (ciencia que estudia las enfermedades de las plantas) se habla del **triángulo de la enfermedad**, que representa las tres condiciones que deben darse para que se manifieste una enfermedad.

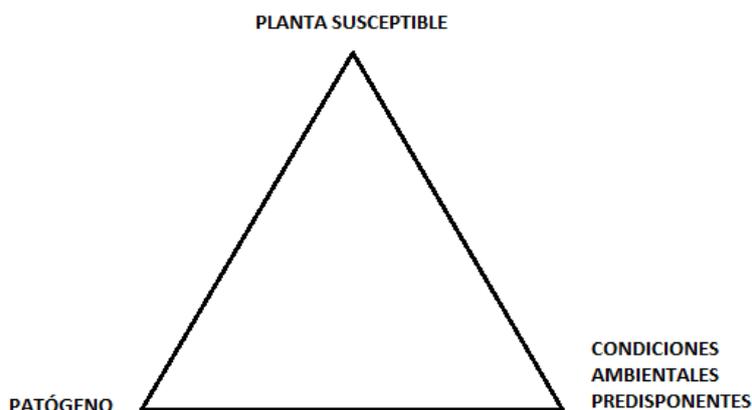


Figura 10.1: Triángulo de la enfermedad

Si al menos uno de los tres elementos anteriores (vértices del triángulo) no está presente, la enfermedad no se desarrollará. Esto es importante a tener presente como estrategia de prevención o control.

Antes de comenzar con la descripción de las enfermedades más comunes en especies de hoja cultivadas en hidroponia es preciso tener presente dos definiciones:

1. **Síntoma:** Es la manifestación visible de la enfermedad. Por ejemplo, marchitamiento, clorosis (amarillamiento de la hoja), necrosis (muerte de la hoja), marchitamiento, etc.

2. *Signo*: Es la manifestación visible (a simple vista o con lupa) del patógeno. Como ejemplo pueden mencionarse micelios, esporas, esclerocios, etc. Únicamente presentan signos las enfermedades causadas por hongos y bacterias.

1. Oidio (*Erysiphe cichoracearum*)

Se manifiesta como un polvillo blanco sobre las hojas. Al interferir con la captación de luz, puede aparecer clorosis. Las condiciones que predisponen a esta enfermedad son la alta humedad ambiente y temperaturas superiores a 21 °C. Si bien no mata la planta, pues necesita de tejidos vivos para desarrollarse, disminuye la calidad visual del producto cosechado.

Las principales medidas de prevención consisten en asegurar una buena ventilación del invernadero para reducir la humedad ambiente y eliminar fuentes del hongo como malezas y plantas enfermas.



Figura 10.2: Planta de lechuga con oidio

2. Mildiu - Mildew (*Bremia lactucae*)

Es una enfermedad provocada por un oomicete (es un *pseudo* - falso - hongo). Comienza con la aparición de manchas cloróticas limitadas por las nervaduras, seguido por la aparición de un moho blanco y la eventual muerte del tejido. Las condiciones predisponentes del mildiu de lechuga son la alta humedad y baja temperatura.



Figura 10.3: Síntoma inicial (A) y avanzado (B) de mildiu en lechuga

3. Esclerotinia o moho blanco (*Sclerotinia sclerotiorum*, *Sclerotinia minor*)

Es una enfermedad muy común en lechuga cultivada a campo debido a que los esclerocios, estructuras de supervivencia y dispersión del hongo, se encuentran en el suelo y pueden sobrevivir entre dos y ocho años. En hidroponía no es frecuente la aparición generalizada de esta enfermedad, sino que pueden verse plantas aisladas enfermas. En tales casos, los esclerocios pueden provenir de los plantines o ser transportados por el viento o el calzado.

El síntoma que produce la enfermedad es una podredumbre húmeda de tallos y hojas, que suele ir acompañada con la aparición de moho blanco. A los pocos días suele ocurrir la muerte de la planta. Las condiciones predisponentes son elevada humedad y temperaturas moderadas.



Figura 10.4: Esclerotinia en lechuga

4. Botrytis o Moho gris o (*Botrytis cinérea*)

Este hongo produce una podredumbre blanda de los tejidos que se cubren de un moho de color gris, pudiendo causar la descomposición de estos y la eventual muerte de la planta.



Figura 10.5: Moho gris y podredumbre de hojas de lechuga

5. Phytium (*Pythium sp.*)

Es un grupo de oomicetes que afectan las raíces. Se diseminan muy fácilmente en el agua, por lo que suelen llamarse “hongos de agua”. El ingreso al sistema hidropónico ocurre generalmente por la higiene deficiente del sustrato, la solución nutritiva o las instalaciones.

El síntoma clásico es la podredumbre de las raíces. Durante el día, con el aumento de la demanda evaporativa, suelen verse las plantas marchitas, las cuales pueden recuperarse durante la noche.



Figura 10.6: Síntoma de *pythium* en raíces

6. *Damping off* o mal de los almácigos

Es una enfermedad causada por un complejo de hongos de suelo (*Pythium sp.*, *Fusarium sp.*, *Phytophthora sp.*, *Rhizoctonia sp.*, *Sclerotium sp.*). Provoca el estrangulamiento de la base del tallo de las plántulas, con la consecuente muerte de estas. La infección con estos hongos puede producirse por contaminación con tierra o sustratos contaminados. Por ello, resulta de suma importancia contar con sustrato de buena calidad, evitar la contaminación con tierra y evitar el exceso de humedad en la zona del cuello de las plantas.



Figura 10.7: Cuello de plántulas de lechuga afectadas por *damping off*

ENFERMEDADES FISIOGÉNICAS

En esta clasificación se incluyen las alteraciones en plantas no provocadas por microorganismos, sino por factores abióticos (temperatura, humedad, desbalances nutricionales, contaminantes, etc.). Las más frecuentes se exponen a continuación:

1. Tipburn

El *tipburn* (“bordes quemados”) es un desorden fisiológico que se manifiesta como una necrosis en los ápices y bordes de las hojas nuevas en activo crecimiento. Aunque tiene que ver con una deficiente acumulación de calcio, no necesariamente es consecuencia de la carencia de este elemento en la solución, sino que diferentes condiciones ambientales como alta temperatura, alta humedad ambiente, exceso de nitrógeno, etc., pueden dificultar la llegada del calcio a los tejidos más jóvenes, con menor capacidad transpiratoria.

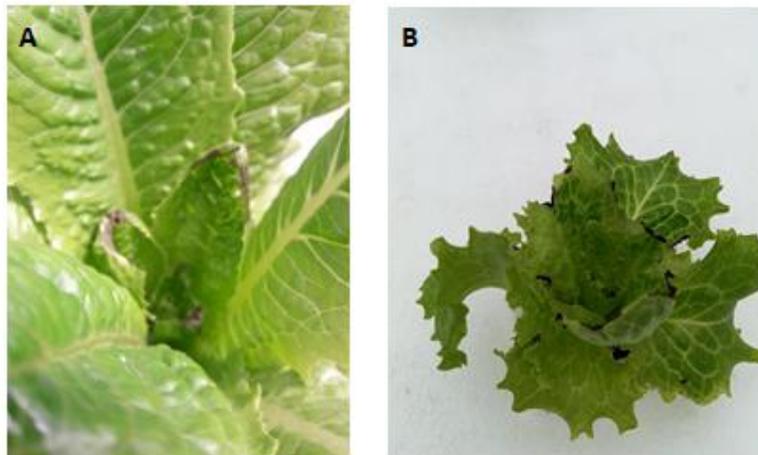


Figura 10.8: *Tipburn* en lechuga

2. Florecimiento prematuro

El florecimiento prematuro, también conocido como *bolting*, consiste en la elongación prematura del ápice floral. Las altas temperaturas y elevada radiación predisponen a la manifestación de este desorden. Las plantas afectadas presentan una drástica reducción la calidad comercial.



Figura 10.9: Florecimiento prematuro en lechuga

11. MANEJO DE PLAGAS Y ENFERMEDADES

En este capítulo comentaremos algunas de las estrategias más comunes utilizadas para la prevención y control de plagas y enfermedades en hidroponía. Estas no son mutuamente excluyentes, sino que pueden (y deberían) complementarse.

Control Cultural

Dentro de este término se incluyen todas las acciones tendientes a crear condiciones desfavorables para el desarrollo de la plaga o enfermedad o atenuar sus efectos. Algunas de las prácticas más comunes de control cultural son:

- 1. Destrucción de residuos de cosecha:** Los restos de cosechas pueden constituir lugares de supervivencia de los insectos y plagas, que luego pueden afectar al siguiente cultivo.
- 2. Eliminación de malezas:** Las malezas también suelen ser sitios en donde sobrevivan diversas plagas y enfermedades. Por ello, es importante mantener la zona de cultivo y alrededores libre de malezas. Esto se ve facilitado con el empleo de mallas de cobertura en el suelo.
- 3. Eliminación de plantas enfermas:** Al detectarse plantas aisladas afectadas por una enfermedad, deberían eliminarse a fin de reducir el riesgo de contagio de las restantes.
- 4. Adecuada nutrición del cultivo:** Una nutrición mineral deficiente o desbalanceada puede determinar el debilitamiento de las plantas, volviéndolas más susceptibles al ataque de plagas y enfermedades. Por ellos es de suma importancia atender el buen manejo nutricional del cultivo.
- 5. Control de la humedad ambiente:** La elevada humedad ambiente dentro del invernadero puede crear condiciones favorables para el desarrollo de diversas

enfermedades. Por este motivo, es importante realizar un buen manejo de la ventilación a fin de evitar o reducir la generación de tales condiciones. Idealmente, la humedad ambiente, expresada como 'humedad relativa' (HR) debería ser de alrededor de 60%.

6. Trampas: Son dispositivos realizados con la finalidad de capturar insectos. Además de controlar cumplen una función de monitorear los tipos de plagas presentes. Dentro de las trampas, las cromáticas son las más utilizadas. Las mismas consisten en placas o bandas adhesivas y de colores llamativos. Los insectos resultan atraídos por estas y quedan adheridos en la superficie. La efectividad de las trampas radica en la colocación de un elevado número en el cultivo. Los colores más utilizados son amarillo, (para pulgones) y azul (para trips).

Además, existen trampas con feromonas, que resultan atractivos para los insectos plaga y que luego quedan adheridos a las mismas.

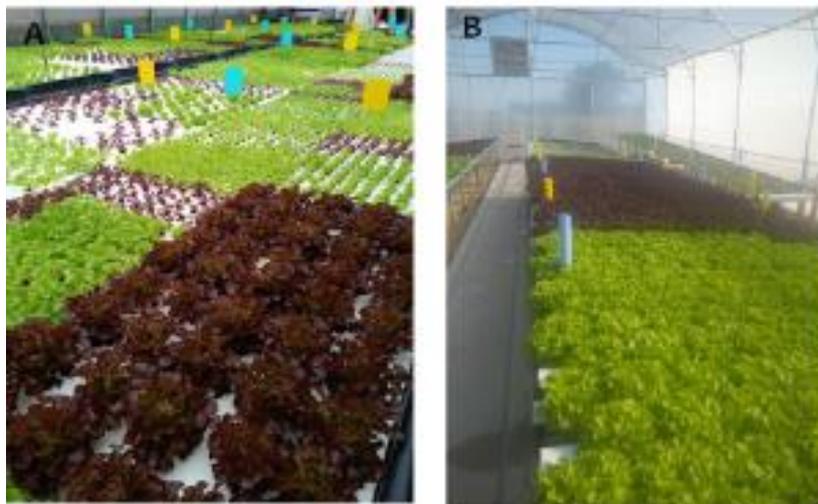


Figura 11.1: Trampas cromáticas en placas (A) y enrollables (B)

7. Barreras físicas: Tienen el objetivo de limitar el ingreso al cultivo de aquellos insectos plagas que son arrastrados por el viento. Entre ellas, las mallas anti áfidos son muy utilizadas. Estas se colocan en las ventanas del invernadero. Las mismas, pueden impedir el ingreso de estos insectos.



Figura 11.2: Lateral de invernadero con malla antiáfidos

Debe tenerse en cuenta que las mallas reducen el movimiento de aire en el invernadero, lo que puede ser un problema si la ventilación es deficiente (ej. cercanía a construcciones, abundante vegetación, etc.).

Algunos preparados caseros y naturales

- **Purín de ortigas:** Se dejan macerar en un recipiente no metálico 100 g de ortiga en 10 L de agua durante dos días. Se pulveriza sobre las plantas. Controla pulgones y es un fertilizante natural.
- **Infusión de lavanda:** Agregar a 300 gr de flores de lavanda a 1 L de agua hirviendo. Dejar reposar. Se emplea para el control de hormigas, pulverizándolo sobre las plantas atacadas.
- **Infusión de ruda:** Se ponen a macerar 200 g de ruda en 1 L de agua. Actúa como repelente de pulgones al ser pulverizado sobre las plantas infestadas.

Control Químico

En caso de ser necesario el empleo de un plaguicida de síntesis química se recomienda optar por aquellos registrados para el cultivo y específicos para la plaga que se desea controlar. De este modo, se reduce el riesgo de afectar la fauna benéfica. En segundo lugar, siempre que sea posible, deben elegirse productos de banda verde (ver tabla 11.1), ya que son los que presentan menor riesgo para el aplicador y el ambiente. Por último, es conveniente rotar los insecticidas para reducir el riesgo de generar resistencia. En todos los casos, se recomienda el asesoramiento y supervisión de un ingeniero agrónomo.

Tabla 11.1: Insecticidas registrados para lechuga. Se indican las plagas más frecuentes en hidroponía.

Plaga	Principio activo	TC	CT
Damping off - Mal de los almácigos	Folpet	7	III
	Mancozeb + Metalaxil	7	III, IV
	Mancozeb + Metalaxil-M	7	III, IV
	Fluopicolide + Propamocarb	7	III
	Zineb	15	III
Esclerotinia - Pudrición blanca (<i>Sclerotinia sclerotiorum</i>)	Carbendazim	7	III, IV
Marchitamiento y podredumbre basal (<i>Pythium sp.</i>)	Iprodione	21	III, IV
Mildiu (<i>Bremia lactucae</i>)	Procimidone	7	III
	Propamocarb	14	III
	Fluopicolide + Propamocarb	7	III
Podredumbre gris (<i>Botrytis cinerea</i>)	Carbendazim	7	III, IV
	Procimidone	7	III
	Tebuconazole + Trifloxistrobin	5	III, IV
	Iprodione	21	III, IV
	Folpet + Fosetil aluminio	7	III

TC: Tiempo de carencia. Es el período que transcurre entre la última aplicación de un agroquímico a un cultivo y la cosecha.

CT: Clasificación toxicológica. La Organización Mundial de la Salud (OMS) establece su clasificación según la peligrosidad de los productos por ella alcanzados, entendiendo ésta como la capacidad de producir daño agudo a la salud cuando se da una o múltiples exposiciones en un tiempo relativamente corto. Esta clasificación consta en la etiqueta del producto aprobado y es fácilmente identificable mediante el color de la banda toxicológica y el símbolo de peligro.

Tabla 11.2: Clasificación toxicológica de los plaguicidas

Clasificación de la OMS	Banda de color
Ia Extremadamente peligroso	Rojo
Ib Altamente peligroso	Naranja
II Moderadamente peligroso	Amarillo
III Ligeramente peligroso	Azul
IV Productos que generalmente no ofrecen peligro	Verde

Tabla 11.3: Fungicidas registrados para lechuga. Se indican las plagas más frecuentes en hidroponía.

Control Biológico

Plaga	Principio activo	TC	CT
Damping off - Mal de los almácigos	Folpet	7	III
	Mancozeb + Metalaxil	7	III, IV
	Mancozeb + Metalaxil-M	7	III, IV
	Fluopicolide + Propamocarb	7	III
	Zineb	15	III
Esclerotinia - Pudrición blanca (<i>Sclerotinia sclerotiorum</i>)	Carbendazim	7	III, IV
Marchitamiento y podredumbre basal (<i>Pythium sp.</i>)	Iprodione	21	III, IV
Mildiu (<i>Bremia lactucae</i>)	Procimidone	7	III
	Propamocarb	14	III
	Fluopicolide + Propamocarb	7	III
Podredumbre gris (<i>Botrytis cinerea</i>)	Carbendazim	7	III, IV
	Procimidone	7	III
	Tebuconazole + Trifloxistrobin	5	III, IV
	Iprodione	21	III, IV
	Folpet + Fosetil aluminio	7	III

El control biológico hace referencia a la utilización de productos constituidos o derivados de organismos, como hongos, virus, bacterias, insectos o plantas, y empleados para el control de plagas. Estos productos, bien utilizados, no dejan residuos tóxicos para el ambiente y son de bajo riesgo para los agricultores y consumidores.

Trichodermas: Es un género de hongos habitante natural del suelo y es uno de los más utilizados para el control de enfermedades causadas por hongos de los géneros *Phytophthora*, *Rhizoctonia*, *Pythium*, *Fusarium*, *Sclerotium*, entre otros. Se destaca por su efectividad y relativa facilidad para la obtención. El efecto antagonista contra estos patógenos se debe al parasitismo sobre los mismos, competencia por el espacio o los nutrientes y liberación de sustancias antibióticas. Se aplica de manera foliar y también sobre las semillas.

Bacillus subtilis: Es una bacteria que suele estar presente naturalmente en el suelo. Tiene la capacidad de inhibir el crecimiento de algunos microorganismos que infectan las raíces de las plantas. En hidroponía, *Bacillus subtilis* se incluye en las estrategias de manejo para prevención de hongos de raíz, entre los cuales, el *Pythium*, es uno de los más perjudiciales.

Bacillus thuringiensis: Es una bacteria ampliamente utilizada en el control de plagas en cultivos extensivos e intensivos. En cultivos hidropónicos se usa principalmente para el

control de orugas y el llamado bicho minador. Se rocía directamente sobre las plantas al detectarse la presencia de los insectos plaga.

Beauveria bassiana: Se trata de un hongo patógeno de insectos (entomopatógeno) cuyas esporas, al entrar en contacto con la cutícula del insecto, germinan y la atraviesan. Una vez dentro del mismo liberan sustancias que le provocan la muerte al cabo de pocos días. Del insecto muerto pueden emerger nuevas esporas con capacidad de reinfección. Se utiliza principalmente para el control de mosca blanca, pulgones y hormigas. La forma de aplicación más habitual es la pulverización sobre las hojas.

Aceite de neem: A diferencia de los productos anteriores, el aceite de neem tiene un origen vegetal, no derivado de microorganismos. Su uso está muy extendido en producciones hidropónicas. Se obtiene de las hojas y semillas del árbol de neem (*Azadirachta indica*) y es un insecticida natural utilizado para controlar numerosas plagas como pulgón, mosca blanca, orugas, bicho minador y otras de menor importancia.

Para profundizar en el tema control biológico recomendamos consultar el siguiente material: 'Polack, L. A.; Lecuona, R. E.; López, S. N. 2020. Control biológico de plagas en horticultura'. Disponible en: <https://inta.gob.ar/documentos/control-biologico-de-plagas-en-horticultura>

REFERENCIAS

1. REFERENCIAS DE IMÁGENES

Figura 1.1 A: <https://talkinghydroponics.com/2017/04/18/history-of-hydroponics/>

Figura 1.1.B: <http://hydroponicgardening.com/history-of-hydroponics/the-birth-of-hydroponics/>

Figura 1.1.C: <http://www.carbon.org/school/newclass/gericke.htm>

Figuras 2.1, 10.1: Elaboración propia

Figura 2.2: <https://hidroponia24.com>

Figuras 2.3, 11.1.A: 'Acuaponia Aguavida', Luján, Bs. As.

Figura 2.4: <https://hidroponia24.com>

Figuras: 3.1.B, 3.4, 4.4, 6.2, 11.1.B, 11.2 : 'ADN Hidroponia', Cañuelas, Bs. As.

Figura 2.6: <https://www.pthorticulture.com>

Figuras 2.7, 3.1.A: 'Costa Hidropónica', Gral. Rodríguez, Bs. As.

Figura 2.8: Modificado de Baudoin et al., 1990

Figura 3.1.C: Fundación 'Reciduca', San Isidro, Bs. As

Figuras 2.5, 3.2.A: 'Plenta hidroponia', Pilar, Bs. As.

Figura 3.2.B: Centro de Día 'Padre Aníbal', Campana, Bs. As.

Figuras 3.3, 3.5: Universidad Nacional de Luján, Luján, Bs. As.

Figura 4.1: <https://apuntesdeesteticablog.wordpress.com/2018/11/08/escala-del-ph/>

Figura 4.2: Modificado de INTAGRI, 2017

Figuras 4.3, 5.4, 5.5, 5.6, 5.7, 5.8, 5.9, 5.10, 6.2, 6.3, 6.4, 6.5, 8.1, 8.3, 8.4, 9.1, 9.2, 10.2, 10.3, 10.4, 10.5, 10.6, 10.7, 10.8, 10.9: Imágenes propias

Figuras 5.2, 5.3: Modificado de Guardiola Barcena, 1990

Figura 6.1: Lambers et al., 2008

Figura 7.1: Modificado de Beltrano y Giménez, 2005

Figura 8.2: <https://hidrogood.com.br/noticias/hidroponia/conheca-as-etapas-do-cultivo-hidroponico>

Figura 9.3: <https://www.agromatica.es>

2. REFERENCIAS DE TABLAS

Tabla 1: Castañares, 2020

Tabla 4.1: Modificado de Wallender y Tanji, 2011

Tablas 4.2, 4.3, 7.2, 7.3, 7.4, 7.5, 7.6, 7.7, 7.9: Elaboración propia

Tabla 5.1: Modificado de Azcón-Bieto y Talón, 2008

Tabla 6.1: INTAGRI, 2017

Tabla 6.2: Adaptado de Trejo-Téllez y Gómez-Merino, 2012

Tablas 7.1, : Modificado de Resh, 2012

Tabla 7.8: Adaptado de Coello Santos y Ríos Mesa, 2016

Tablas 11.1, 11.3: Elaboración propia con datos de la Resolución 934/10 del SENASA. Listado actualizado a enero de 2023. Guía de Productos Fitosanitarios CASAFE (2023).

Tabla 11.2: Adaptado de Pacheco y Barbona, 2017

3. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Arnon, D.I., Stout, P.R., 1939. The essentiality of certain elements in minute quantity for plants with special reference to copper. *Plant Physiol.* 14, 371.

Azcon-Bieto, J., Talón, M., 2008. *Fundamentos de fisiología vegetal*. McGraw-Hill Interamericana de España, Madrid.

Baudoin, W.O., Winsor, G.W., Schwarz, M., 1990. *Soilless culture for horticultural crop production*. FAO United Nations. Rome.

Beltrano, J., Giménez, D.O., 2015. *Cultivo en hidroponía*. Editorial de la Universidad Nacional de La Plata (EDULP).

Burés, S., 1997. *Sustratos*. Ediciones Agrotécnicas SL, Madrid, España.

Castañares, J.L., 2020. *ABC de la Hidroponia*. INTA, Buenos Aires.

Coello Santos, B., Ríos Mesa, D., 2016. *Cálculo de soluciones nutritivas en suelo y sin suelo*. Servicio de Agricultura y Desarrollo Rural. Cabildo Insular de Tenerife, Tenerife.

Favela Chávez, E., Preciado Rangle, P., Benavides Mendoza, A., 2006. *Manual para la preparación de soluciones nutritivas*. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro Torreón, Coahuila.

Francescangeli, N., Mitidieri, M.S., 2006. *El invernadero hortícola. Estructuras y manejo de cultivos*. EEA San Pedro, INTA.

Gericke, W.F., 1940. The complete guide to soilless gardening., The complete guide to soilless gardening. Prentice-Hall, London.

Guardiola Barcena, J.L., García Luis, A., 1990. Fisiología vegetal: I. Nutrición y transporte. Síntesis, Madrid.

INTAGRI, 2017. El uso de ácidos para mejorar la calidad de agua, Seria Agua y Riego. Artículos técnicos INTAGRI. México.

Juárez Hernández, M., Jesús, D., Baca Castillo, G.A., Lorenzo, A., Navarro, A., Sánchez García, P., Tirado Torres, J.L., Sahagún Castellanos, J., Colinas De León, M.T., 2006. Propuesta para la formulación de soluciones nutritivas en estudios de nutrición vegetal. *Interciencia* 31, 246–253.

Lambers, H., Chapin, F.S., Pons, T.L., 2008. *Plant physiological ecology*. Springer.

Mamani de Marchese, A., Filippone, M.P., 2018. Bioinsumos: componentes claves de una agricultura sostenible. *Rev. agronómica del noroeste argentino* 38 (1), 9-21.

Marulanda, C., Izquierdo, J. 2003. *La Huerta Hidroponica Popular (Curso audiovisual)*. FAO-regional Office.

Montaldi, E.R., 1995. *Principios de fisiología vegetal*. Ed. Sur, La Plata.

Nobel, P.S., 2020. *Physicochemical and Environmental Plant Physiology*, 5°. ed. Academic Press, London.

Pacheco, R.M., Barbona, E.I., 2017. *Manual de uso seguro y responsable de agroquímicos en cultivos frutihortícolas*. Ed. INTA, Buenos Aires.

Polack, L.A., Lecuona, R.E., López, S.N., 2020. *Control biológico de plagas en horticultura*. Ed. INTA, Buenos Aires.

Resh, H.M., 2012. *Hydroponic food production: a definitive guidebook for the advanced home gardener and the commercial hydroponic grower*. CRC Press.

Salisbury, F., Ross, C., 2000. *Fisiología de las plantas 3*. Parainfo, Madrid.

Sathyanarayana, S.R., Gangadhar, W.V., Badrinath, M.G., Ravindra, R.M., Shriramrao, A.U. 2022. Hydroponics: an intensified agriculture practice to improve food production. *Reviews in Agricultural Science*, 10, 101-114.

Trejo-Téllez, L.I., Gómez-Merino, F.C., 2012. Nutrient solutions for hydroponic systems, in: *Hydroponics-A Standard Methodology for Plant Biological Researches*. InTech, pp. 1–24.

Van Eysinga, J.R., Smilde, K.W., 1971. *Nutritional disorders in glasshouse lettuce*. Centre for agricultural publishing and documentation, Wageningen.

Wallender, W.W., Tanji, K.K., 2011. *Agricultural salinity assessment and management*. American Society of Civil Engineers, New York.

Whelan, A., 2013. Bioinsumos: un giro hacia la sustentabilidad. Secretaría de Agricultura, Ganadería y Pesca, Buenos Aires (Argentina)., Buenos Aires. En <https://doi.org/http://www.alimentosargentinos.gob.ar/HomeAlimentos/Publicaciones/revistas/nota.php?id=200>

4. PÁGINAS WEB CONSULTADAS

<https://casafe.org>

<https://www.economiayviveros.com.ar/archivo/noviembre2009/nota2.html>

<http://hydroponicgardening.com/history-of-hydroponics/the-birth-of-hydroponics/>

<http://www.patologiavegetal.unlu.edu.ar>

<https://www.portalfruticola.com/noticias/2019/07/01/oidio-en-lechuga-manejo-integrado-de-plagas-y-enfermedades/>

<https://talkinghydroponics.com/2017/04/18/history-of-hydroponics/>

ANEXOS

