

Reacción química y fertilizantes

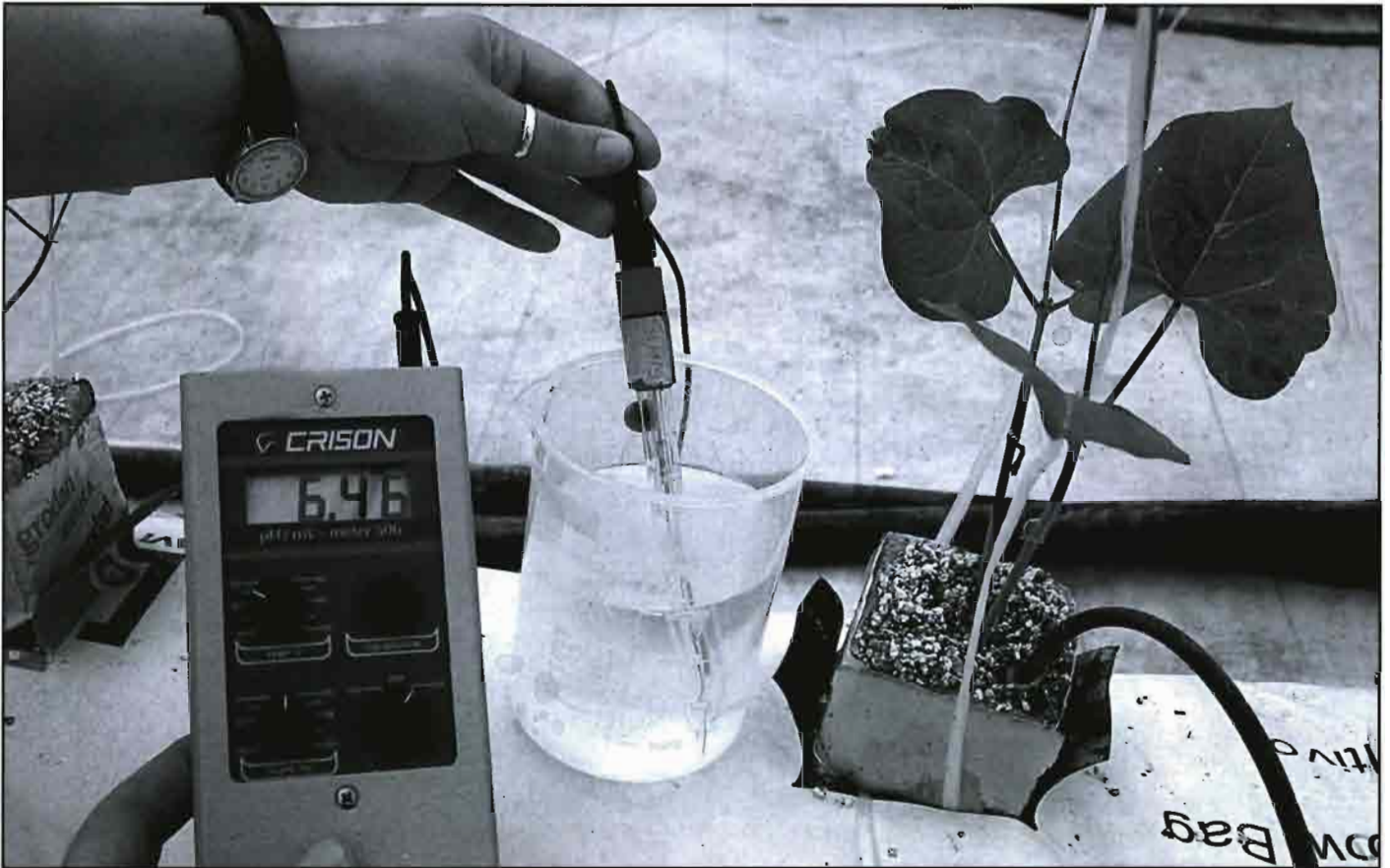
Concepto de pH e importancia en fertirrigación

Mantener un pH apropiado en el flujo del riego puede prevenir ciertas reacciones químicas en las líneas de riego, a veces tan decisivas como son la formación de precipitados o asimilabilidad de nutrientes

como potencial de hidrógeno, y fueron propuestas por Sorensen en 1909, que las introdujo para referirse a concentraciones muy pequeñas de iones hidrógeno. Sorensen, por tanto, fue el creador del concepto de pH, que se define como el logaritmo cambiado de signo de la actividad de los iones hidrógeno en una solución:

$$\text{pH} = -\log [H^+]$$

A 25°C, el producto iónico del agua pura $[H^+][OH^-]$ es 10^{-14} , con lo que en un medio neutro $[H^+]=[OH^-]=10^{-7}$. Un



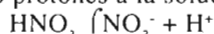
Antonio L. Alarcón Vera

Dpto. Química Agrícola, Geología y Edafología.
Universidad de Murcia.
E-mail provisional: rmadrid@fcu.um.es

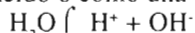
La mayoría de la gente sabe que el pH es un valor variable entre 0 y 14 que indica la acidez o la alcalinidad de una solución. Y, además, conoce que el mantenimiento del pH apropiado en el flujo del riego ayuda a prevenir reacciones químicas de fertilizantes en las líneas, que un valor de pH elevado puede causar obstrucciones en los diferentes componentes de un sistema de fertirrigación debidas a la formación de

precipitados, que un adecuado pH asegura una mejor asimilabilidad de los diferentes nutrientes, especialmente fósforo y micronutrientes, etc.

Simplificadamente, podemos afirmar que las sustancias capaces de liberar iones hidrógeno (H+) son ácidas y las capaces de ceder grupos hidroxilo (OH-) son básicas o alcalinas. De este modo, el ácido nítrico, al adicionarlo al agua se ioniza aportando iones hidrógeno o protones a la solución.



El agua puede comportarse como un ácido o como una base:



Las letras pH son una abreviación de «pondus hydrogenii», traducido

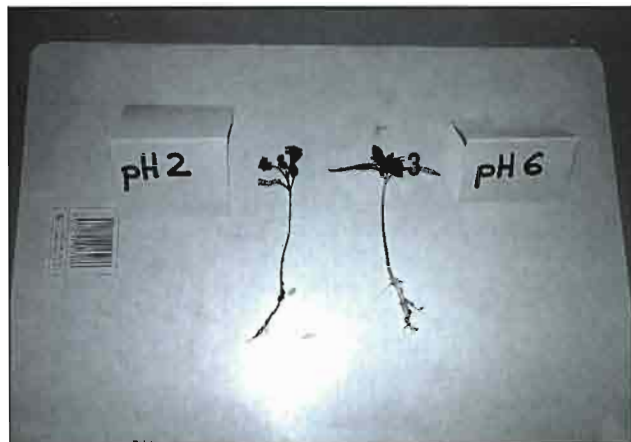
Medida de pH de la solución de drenaje de un cultivo de judía de enrame en sacos de perlita

medio ácido será aquel en el que $[H^+] > [OH^-]$ y uno básico aquel en el que $[H^+] < [OH^-]$. Es decir, en una solución ácida $[H^+] > 10^{-7}$ y $\text{pH} < 7$, en una neutra $[H^+] = 10^{-7}$ y $\text{pH} = 7$ y en una básica $[H^+] < 10^{-7}$ y $\text{pH} > 7$.

Importancia del pH para los cultivos

El pH de la solución nutriente en contacto con las raíces puede afectar el crecimiento vegetal de dos formas principalmente:

- el pH puede afectar la disponibili-



A la izq., medida in situ del pH de la solución nutritiva aportada a un cultivo de melón en lana de roca. A la der., efectos sobre dos plántulas idénticas de tomate tras permanecer 24 horas a raíz desnuda en soluciones nutritivas de pH 2 y 6

dad de los nutrientes: para que el aparato radical pueda absorber los distintos nutrientes, éstos obviamente deben estar disueltos. Valores extremos de pH pueden provocar la precipitación de ciertos nutrientes con lo que permanecen en forma no disponible para las plantas.

- el pH puede afectar al proceso fisiológico de absorción de los nutrientes por parte de las raíces: todas las especies vegetales presentan unos rangos característicos de pH en los que su absorción es idónea. Fuera de este rango la absorción radicular se ve dificultada y si la desviación en los valores de pH es extrema, puede verse deteriorado el sistema radical o presentarse toxicidades debidas a la excesiva absorción de elementos fitotóxicos (aluminio).

En las condiciones agroclimáticas del Sureste español, con pH de suelos y aguas de riego cercanos o superiores a 7.5, se ve afectada la correcta asimilabilidad de nutrientes como fósforo, hierro y manganeso; de hecho, la clorosis férrica es considerada fisiopatía endémica de la zona. El ajuste del pH a valores adecuados en el entorno de influencia de la raíz, es, con frecuencia, suficiente para corre-

gir estos estados carenciales de fósforo, hierro y manganeso.

pH en la solución de fertirrigación. Disponibilidad de nutrientes

El pH en las soluciones de fertirrigación, tanto en cultivo en suelo como en hidroponía, debe ser tal que permita estar disueltos a la totalidad de los nutrientes sin dañar las raíces, evitando de este modo la formación de precipitados (algunos de los cuales pueden presentarse en forma de finísima suspensión invisible al ojo humano) que pudieran causar obturaciones en los sistemas de riego e indisponibilidad para la absorción radical de dichos nutrientes.

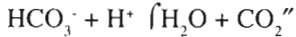
El pH puede afectar al proceso fisiológico de absorción de los nutrientes por parte de las raíces

De este modo, el hierro, que es el elemento esencial cuya solubilidad resulta más afectada por el pH, a menos que se adicione diariamente o en forma quelatada, se encuentra en forma iónica disponible para la planta en menos del 50% por encima de pH 7, mientras que a pH 8 no queda nada disponible debido a su precipitación en forma de hidróxido férrico $\text{Fe}(\text{OH})_3$ (óxido, robín o herrumbre). Por el contrario, por debajo de pH 6.5, más del 90% del hierro permanece disuelto y disponible para las plantas. El manganeso sigue una dinámica similar al hierro.

De forma análoga, por encima de pH 6.5, la disponibilidad del fósforo y el calcio pueden decrecer considerablemente debido al predominio de la forma HPO_4^{2-} (que forma precipitados insolubles en contacto con el calcio) sobre la forma H_2PO_4^- (que forma compuestos muy solubles con el calcio). Y por encima de pH 7 el riesgo de precipitación de calcio y magnesio en forma de carbonatos, CaCO_3 y MgCO_3 , es muy alto, lo que puede provocar importantes obturaciones de emisores y otros componentes en los sistemas de fertirriego. En resumen, en el rango de pH 5.0-6.5, la práctica totalidad de los nutrientes está en forma directamente asimilable para las plantas, por encima de pH 6.5 la formación de precipitados puede causar importantes problemas y por debajo de pH 5 puede verse deteriorado el sistema radical, sobre todo en cultivo hidropónico, donde el poder tamponador del sustrato suele ser muy pequeño.

pH del agua de riego

La inmensa mayoría de las aguas de riego que manejamos muestran un pH superior al óptimo. Como ya se ha explicado en artículos anteriores (Horticultura nº 129 y 130), la cantidad de ácido a aportar para llevar el pH al rango antes mencionado depende principalmente de la concentración del ión bicarbonato presente en el agua de riego, ya que reacciona con el mismo según:



De esta forma, el ión bicarbonato actúa de tampón amortiguando los cambios de pH del agua de riego, y cuando su concentración es elevada, se precisa mayor cantidad de ácido para su neutralización y ajuste del pH al valor deseado.

El empleo de una solución ácida (pH 3-4) pasando lentamente durante una noche por las líneas de riego, se puede emplear para limpiar las incrustaciones y precipitados formados y devolver así las redes de riego a su funcionamiento habitual, resolviendo los problemas de pérdidas de uniformidad y obstrucciones provocados por el elevado pH del agua de riego.

El factor pH puede ser muy importante no sólo para el proceso exclusivo de fertirrigación, así también puede jugar un importante papel en el uso de plaguicidas a través del riego (quimigación). Aguas de naturaleza alcalina pueden romper las moléculas de ciertos plaguicidas reduciendo su actividad química, mediante un proceso denominado hidrólisis alcalina, sobre todo si los productos permanecen en tanques de mezcla durante un tiempo prolongado y si la temperatura ambiental es elevada.

Factores causantes de los cambios de pH en la solución de nutrientes

Muchos son los factores que afectan al pH de la solución de nutrientes, uno de los más importantes es la relación de absorción de nutrientes negativamente cargados (aniones) y nutrientes cargados positivamente (cationes). En general, un exceso de en la absorción de cationes sobre aniones, provoca un descenso del pH, mientras que un exceso en la absorción de aniones sobre cationes produce un incremento del pH.

Si atendemos al nitrógeno (nutriente requerido en grandes cantidades), puede ser aportado a la planta como catión amonio (NH₄⁺) o como anión nitrato (NO₃⁻), pues bien, la relación existente entre estas dos formas

Cuadro 1:
Rangos de pH óptimo para distintos cultivos

Hortícolas	pH óptimo	Frutales	pH óptimo	Extensivos	pH óptimo
Acelga	6.0-7.5	Albaricoque	6.0-6.8	Alfalfa	6.5-7.8
Apio	6.1-7.4	Almendro	6.0-6.8	Algodón	5.0-6.2
Berenjena	5.4-6.0	Avellano	6.0-7.0	Alpiste	6.0-7.0
Boniato	5.1-6.0	Café	5.0-7.0	Altramuz	5.0-7.0
Brócoli	6.0-7.2	Castaño	5.0-6.5	Arroz	5.0-6.5
Calabaza	5.6-6.8	Encina	4.8-6.0	Avena	5.2-7.1
Cebolla	6.0-7.2	Grosellero	6.0-7.0	Batatas	5.3-6.5
Col	6.0-7.5	Limonero	6.0-7.5	Cacahuete	5.3-6.5
Col de Bruselas	5.7-7.2	Manzano	5.3-6.7	Caña de azúcar	6.0-7.8
Coliflor	6.0-7.2	Melocotonero	5.3-6.8	Cáñamo	6.2-7.2
Escarola	5.6-6.8	Membrillero	5.5-7.2	Cebada	6.4-7.8
Espárrago	6.3-7.5	Naranja	6.0-7.5	Centeno	5.3-6.8
Espinaca	6.3-7.1	Nogal	6.2-7.8	Colza	5.8-7.1
Fresa	5.0-6.2	Olivo	6.0-7.8	Dáctilo	5.6-7.2
Guisantes	5.9-7.3	Peral	5.6-7.2	Girasol	6.0-7.2
Judías	5.8-6.8	Pino	5.0-6.0	Habas	7.4-8.1
Lechugas	5.8-7.2	Platanera	6.0-7.5	Lenteja	5.0-7.0
Maíz dulce	5.6-6.8	Pomelo	6.0-7.5	Lino	5.5-7.5
Melón	5.7-7.2	Vid	5.3-6.7	Maíz	5.5-7.5
Nabo	5.7-6.7			Mijo	5.1-6.8
Pepino	5.7-7.2			Mostaza	6.0-8.0
Pimiento	6.3-7.8			Patatas	5.0-5.8
Rábano	6.1-7.4			Soja	6.1-7.2
Remolacha	6.0-7.6			Sorgo	5.8-7.5
Tomate	5.8-7.2			Tabaco	5.5-7.3
Zanahoria	5.7-7.0			Trébol blanco	5.5-7.0
				Trébol rojo	5.5-7.0
				Trébol híbrido	5.2-7.8
				Trébol violeta	6.0-7.5
				Trigo	5.5-7.2
				Veza	5.5-7.5

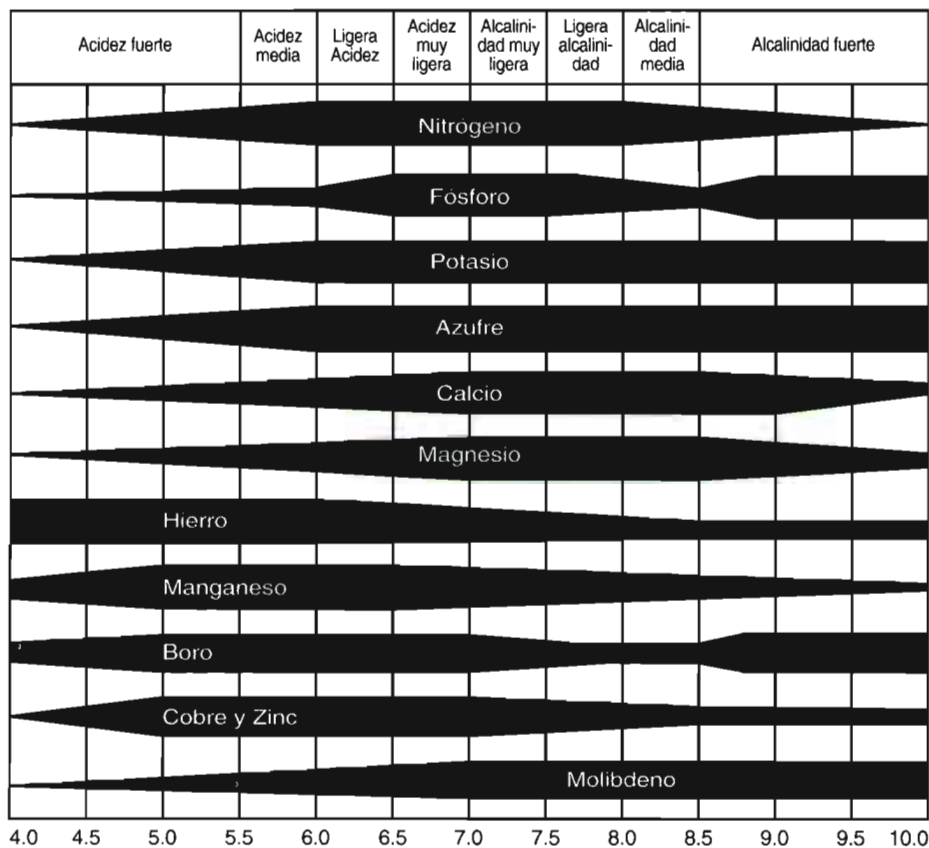
nitrogenadas en la solución de nutrientes puede afectar sustancialmente a la dirección y magnitud de la modificación del pH de la misma. Efectivamente, la raíz de las plantas posee una marcada capacidad de modificar el medio inmediatamente alrededor de ellas, sobre todo a nivel de la superficie radical, con el fin de incrementar la disponibilidad de los nutrientes. Cuando la planta ab-

sorbe preferentemente cationes (NH₄⁺), se produce un exceso de carga negativa que la propia planta intenta neutralizar segregando cationes hidrógeno (H⁺), con lo que el pH de la solución desciende. De la forma contraria, cuando se absorben preferentemente aniones (NO₃⁻), las raíces liberan iones hidroxilo (OH⁻) o iones bicarbonato (HCO₃⁻) para mantener la neutralidad eléctrica en la superficie de la raíz, con lo que el pH de la solución tiende a incrementarse.

Se sabe experimentalmente que cuando un 10-20% del nitrógeno total es aportado como amonio (NH₄⁺), el pH de la solución nutritiva en cultivos hidropónicos permanece estable en torno a 5.5. Así pues, jugando con la relación NH₄⁺/NO₃⁻ podríamos, en cierta manera, ajustar el pH de la solución de nutrientes, ahora bien, hay que tener en cuenta que el catión amonio resulta fitotóxico por encima de cierta concentración (en las latitudes del sureste español por encima de 0.75 mM,

El pH puede afectar la disponibilidad de los nutrientes. Valores extremos de pH pueden provocar la precipitación de ciertos nutrientes con lo que permanecen en forma no disponible para las plantas

Figura 1:
Efectos del pH sobre la disponibilidad de los nutrientes del suelo por las plantas según Truog*



* La mayor o menor anchura de la banda expresa la disponibilidad relativa de cada elemento

ya es probable que se presenten síntomas visibles), y, además, puede inducir interacciones considerables con otros cationes (K^+ , Ca^{+2} , Mg^{+2}) en el seno de la solución.

Los tampones son soluciones que resisten o amortiguan los cambios de pH y son comúnmente usados para calibrar las sondas de pH (tampones de pH 4 y 7). Cuando se trata de unidades hidropónicas experimentales de reducido tamaño, tampones similares pueden ser añadidos a la solución nutritiva para mantener estable el pH. Uno de ellos es el ácido etanosulfónico 2-N-morfolino (MES) que a veces se ha empleado a concentraciones de 0.2-1 g/L.

pH en el suelo

El valor de pH de los suelos puede variar ampliamente; valores normales son 5-7 para zonas húmedas y 7-8.5 para zonas áridas. Niveles extremos en el pH de un suelo deben ser corregidos. En la figura 1 se muestra la disponibilidad de los distintos nutrientes según el

pH del suelo de cultivo. A menudo se aplica este diagrama a sistemas hidropónicos y a la dinámica de comportamiento de las soluciones de fertirrigación, esto no es correcto, ya que esta figura está basada en las reacciones de los nutrientes en el suelo, donde su disponibilidad depende de múltiples factores tales como mineralogía del sue-

El factor pH puede ser muy importante no sólo para el proceso exclusivo de fertirrigación, sino que también puede jugar un importante papel en el uso de plaguicidas a través del riego (también llamada quimigación)

lo, solubilidad de los minerales componentes, reacciones de intercambio iónico, nutrientes ligados a arcillas y materia orgánica, etc. Según el diagrama, si exceptuamos a hierro y manganeso, el mejor pH para la máxima disponibilidad de nutrientes en el suelo (bandas más anchas) está 7.0, valor claramente elevado cuanto se trata de soluciones nutritivas.

Las distintas especies de cultivo muestran distinta adaptabilidad para su desarrollo en función del pH del terreno, existen especies más acidófilas que otras y cada una presenta un rango de pH del suelo ideal para su crecimiento. En la tabla 1 se muestran los valores óptimos para los cultivos más ampliamente difundidos, conviene tener en cuenta que estos valores son meramente aclaratorios, y que la mayoría de las especies presentan una notable adaptabilidad a un amplio rango de pH, siendo este factor mucho más crítico respecto a la influencia que ejerce sobre la dinámica de los nutrientes que han de ser absorbidos por las plantas.

En cualquier caso, el crecimiento y el funcionamiento radicular pueden ser directamente afectados a pH 5 e inferiores, dependiendo de la especie considerada. Los efectos dañinos pueden ser compensados mediante el aporte de calcio adicional a pH 4-5, pero no a pH 3. Entre pH 5 y 8, el crecimiento suele ser satisfactorio, pero a pH 9, pueden darse efectos directos del OH^- o HCO_3^- , sobre la absorción de fósforo, hierro, molibdeno y otros.

Por todo lo anteriormente expuesto, resulta imprescindible en las modernas y costosas instalaciones de fertirrigación el ajuste y control del pH de la solución, de esta forma se evitará la formación de precipitados y consiguientes obturaciones en los sistemas de riego, se ahorrará en mano de obra para la limpieza de emisores, se alcanzará una mayor durabilidad en los componentes de la instalación de riego y, sobre todo, se logrará un estado óptimo para la nutrición mineral de los cultivos que se traducirá en un aumento de la productividad y calidad de las cosechas. Aunque el ajuste del pH resulta especialmente crítico en los cultivos hidropónicos, también es interesante controlar el pH del suelo de cultivo en el entorno donde se desarrollan las raíces, con el fin de asegurarnos una correcta nutrición vegetal.