

CENTRO DE INVESTIGACIÓN EN QUÍMICA APLICADA



EL USO DE LOS ACIDOS EN LA FERTIRRIGACION

CASO DE ESTUDIO

PRESENTADO COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL GRADO DE:

ESPECIALIZACIÓN EN QUÍMICA APLICADA

OPCION TERMINAL EN AGROPLASTICULTURA

PRESENTA:

JORGE AIMIR RIOS ESTUDILLO

Saltillo, Coahuila, México



Agosto de 2006

13 OCT 2006

RECIBIDO

CENTRO DE INVESTIGACIÓN EN QUÍMICA APLICADA



**HACE CONSTAR QUE EL CASO DE ESTUDIO TITULADO:
EL USO DE LOS ACIDOS EN LA FERTIRRIGACION**

PRESENTADO POR:

JORGE AIMIR RIOS ESTUDILLO

**REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL GRADO DE:
ESPECIALIZACIÓN EN QUÍMICA APLICADA
OPCION TERMINAL EN AGROPLASTICULTURA**

HA SIDO DIRIGIDO POR:

M.C. BOANERGES CEDEÑO RUVALCABA

CENTRO DE INVESTIGACIÓN EN QUÍMICA APLICADA



A TRAVES DEL JURADO EXAMINADOR HACE CONSTAR QUE EL CASO DE ESTUDIO

EL USO DE LOS ACIDOS EN LA FERTIRRIGACION

QUE PRESENTA:

JORGE AIMIR RIOS ESTUDILLO

**HA SIDO ACEPTADO COMO REQUISITO PARCIAL
PARA OBTENER EL GRADO DE:**

ESPECIALIZACIÓN EN QUÍMICA APLICADA

OPCION TERMINAL EN AGROPLASTICULTURA

**PRESIDENTE
M.C. ROSARIO QUEZADA MARTIN**

**VOCAL
DR. LUIS IBARRA JIMENEZ**

AGRADECIMIENTOS

AL CIQA por haberme dado la oportunidad de escalar un peldaño mas en mi vida.

A todos los maestros del departamento de Agroplásticos:

M.C. Boanerges Cedeño

Dr. Juan Munguía

Dr. Luís Ibarra

Dr. Hugo Lira Saldivar

M.C. Rosario Quezada

M.C. Juanita Flores

Ing. Felipe Hernández

Por compartir sus conocimientos y por el apoyo incondicional que me dieron.

A mis compañeros de la especialidad de Agroplásticos:

Miguel, Damián y Emilio, muchas gracias por sus consejos y por su compañía.

DEDICATORIA

A DIOS por darme la vida y por haberme permitido culminar una etapa más en mi vida profesional.

A MIS PADRES que gracias a sus consejos, ejemplos y apoyo dado a lo largo de mi vida logre ser la persona que ahora soy

A MIS HERMANOS por todo el apoyo incondicional que me dieron y por todos los buenos y malos momentos que compartimos.

En fin, a todos y cada uno de mis familiares, muchas gracias por apoyarme en todo momento.

A MIS AMIGOS que son una parte primordial en mi vida

Para la persona que siempre me ha apoyado y llena mis días de alegría y de cariño: ADRIANA

ÍNDICE

Agradecimientos-----	i
Dedicatorias-----	ii
INTRODUCCIÓN-----	iii
REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA-----	1
Riego por goteo-----	1
Fertirriego -----	2
pH en la solución de fertirrigación y la disponibilidad de nutrientes-----	6
Factores causantes de los cambios de pH en la solución de nutrientes-----	7
Los Fertilizantes y su uso en el Fertirriego-----	8
Importancia del pH del suelo-----	9
Requerimientos respecto a los fertilizantes-----	10
Tipos de fertilizantes utilizados en fertirriego-----	11
Características Particulares de los Fertilizantes para el Fertirriego-----	11
Los ácidos y sus usos-----	15
El uso de ácidos para la limpieza de sistemas de conducción-----	15
Obturaciones -----	15
Bacterias Limosas-----	16
Hierro y Manganeseo-----	18
Sulfuros de Hierro y Manganeseo-----	18
Precipitación de Carbonatos de Calcio y Magnesio-----	18
Intrusión de Raíces-----	19
Ácidos que se aplican comúnmente para disminuir el pH del agua de riego-----	20
Ácido clorhídrico-----	20
Ácido sulfúrico-----	21
Ácido fosfórico-----	22
Ácido nítrico-----	22
Adición de ácidos a soluciones con presencia de bicarbonatos-----	23
Aguas con escasa presencia de bicarbonatos-----	24
Relación entre CE y pH: el caso de los ácidos-----	26

Acidificación de las soluciones nutritivas-----	28
Ventajas de la acidificación de las soluciones nutritivas-----	28
Procedimiento para tratar agua con ácido-----	30
Importancia del pH para los cultivos-----	30
ESTADO ACTUAL DEL CONOCIMIENTO-----	32
AREAS DE OPORTUNIDAD (APLICACIONES) -----	36
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES-----	37
NOMENCLATURA-----	38
REFERENCIAS-----	39
APÉNDICE-----	42

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 2.1. Solubilidad de algunos fertilizantes a 20 °C-----	11
Cuadro 2.2 Variación de la solubilidad de Nitrato de amonio en función de la temperatura-----	12
Cuadro 2.3.- C. E. de algunos fertilizantes comerciales en una disolución 0.5 g/l de agua pura-----	13
Cuadro 2.4.- Reacción de los fertilizantes-----	14
Cuadro 2.5. Compatibilidad de los fertilizantes-----	15
Cuadro 2.6. Guías sobre obstrucción potencial con aguas de diferente calidad-----	16
Cuadro 2.7. Pureza y densidad de los ácidos comerciales-----	26

ÍNDICE DE FIGURAS

Fig. 2.1. Forma de un sedimento típico. Velocidad de flujo 0.3 m/s-----	19
--	-----------

I. INTRODUCCIÓN

El riego localizado presenta numerosas ventajas respecto al sistema de riego tradicional en relación a la utilización de aguas salinas y al ahorro de agua. Sin embargo, en los últimos años se ha demostrado que las mayores posibilidades de este sistema de riego se centran en su utilización como vehículo de una dosificación racional de fertilizantes. Es decir, que ofrece la posibilidad de realizar una fertilización día a día, en función del proceso fotosintético y exactamente a la medida de un cultivo, un sustrato y un agua de riego determinados y para unas condiciones ambientales definidas.

Por otra parte, la dosificación de fertilizantes distribuida durante todos los días del ciclo de cultivo permite hacer frente a los posibles problemas de contaminación que pueden originarse por un exceso transitorio de fertilizantes en el suelo o sustrato. El sistema de fertirrigación es, hoy por hoy, el método más racional para realizar una fertilización optimizada y respetando el medio ambiente dentro de la denominada Agricultura Sostenible.

Las plantas toman los elementos químicos minerales y los transforman en compuestos orgánicos. Por ejemplo, las plantas toman oxígeno y dióxido de carbono del aire, hidrógeno del agua, y nitrógeno y otros nutrientes minerales de la tierra y los fertilizantes, a través de sus raíces, con ellos producen las proteínas y otros compuestos.

Los nutrientes se aportan principalmente por medio de los fertilizantes. Los fertilizantes normalmente tienen nutrientes de alta disponibilidad, actúan rápidamente. Las raíces y las hojas de las plantas solamente absorben los nutrientes en forma de iones que se encuentran en la solución del suelo.

Sin embargo, los nutrientes pueden estar en el suelo o ir en la solución nutritiva pero en forma “no disponibles” para las plantas es por esto que no los puede asimilar, así que es necesario realizar algunas prácticas para poner en forma disponible estos nutrientes, una de estas prácticas es la incorporación de ácido al agua de riego.

II. REVISION BIBLIOGRÁFICA

Riego por goteo

Es la aplicación artificial del agua al suelo en forma lenta pero frecuente y en pequeñas cantidades dirigidas directamente a la zona radicular de las plantas, a donde llega a través de emisores o goteros que no superan los 16 LPH con flujo gradual y uniforme. El agua aplicada se distribuye en el perfil del suelo describiendo un patrón de humedecimiento ovoide llamado bulbo de mojado, cuyo contorno se extiende más lateral que verticalmente en suelos arcillosos, mientras que en suelos arenosos se presenta más alargado en forma vertical que horizontal. Por otra parte dado que la aplicación es intermitente permite mantener el suelo en condiciones óptimas de humedad durante el desarrollo del cultivo (Pizarro, 1990).

El riego por goteo puede eliminar pérdidas por escurrimiento y minimizar las pérdidas por percolación cuando se compara con el riego por surcos (superficial), y en general se asume que las pérdidas por evaporación son menores cuando el riego es localizado (Pizarro, 1990).

El aporte de agua de la planta se realiza lentamente: se evita la saturación del suelo y se obtiene un mejor ascenso capilar y aireación constante de los suelos. Los sistemas de riego por goteo requieren agua muy limpia para evitar obstrucción de los dispositivos de emisión; los componentes de filtrado representan la parte principal de los costos iniciales y de mantenimiento en sistemas de riego por goteo. Además, típicamente se requiere agregar productos químicos “quimigación” para evitar la obstrucción debida al crecimiento de bacterias y/o presencia de precipitados químicos. El filtrado y la quimigación pueden minimizarse solamente si el agua es muy limpia y si los laterales con sus emisores son descartados después de un periodo corto de uso (Pizarro, 1990).

Ventajas del Riego por Goteo

- Es de fácil operación y permite además el uso de suelos arenosos.
- El agua es aplicada con láminas pequeñas.
- El área de humedecimiento es pequeña lo que ayuda a reducir las pérdidas por percolación.



- Se reducen las actividades de labranza en comparación con el riego superficial y el de aspersión.
- Se reduce el uso de energía debido a la baja presión y los bajos usos de agua, lo que permite utilizar gastos pequeños.
- Se tiene una aplicación precisa de nutrimentos y reguladores de crecimiento ya que estos son aplicados en la zona de la raíz lo que les permite ser más eficientes.
- Los pesticidas pueden ser aplicados a través de las líneas de goteo para controlar enfermedades, malezas, insectos y nemátodos.
- Acelera la maduración, se obtiene mayor rendimiento y calidad del cultivo como resultado de una mejor nutrición de la planta y debido a que en el sistema de riego por goteo las plantas no se estresan (Pizarro, 1990).

Desventajas y Limitaciones

- Alto costo de inversión inicial.
- El problema de taponamiento de los emisores es uno de los más serios que se obtiene en este tipo de sistemas.
- Altos costos de mantenimiento.
- Hay una acumulación de sales cerca de las plantas lo cual afecta la distribución del agua y el desarrollo de las raíces.
- El material utilizado como tuberías, goteros, etc., deben ser resistentes a altas presiones o factores naturales.
- Las sustancias químicas y fertilizantes que se apliquen deben ser solubles y no deben reaccionar con el material de la tubería.
- Se requiere de personal capacitado para manejar el sistema (Pizarro, 1990).

Fertirriego

Es la disolución de los fertilizantes en el agua de riego y su posterior distribución a través de las líneas regantes y su aplicación mediante emisores (Muñoz y Castellanos, 2004).

Se entiende por fertirrigación la aplicación de los fertilizantes y más concretamente, la de los elementos nutrimentales que precisan los cultivos, con el agua de riego. La



fertirrigación permite una mayor flexibilidad en la aplicación de los fertilizantes comparado con los métodos tradicionales, debido a la posibilidad de fertilizar en cualquier momento durante el riego. Además, el fertirriego se adapta a todos los sistemas de riego por presión tales como la aspersión, goteo, microaspersión, pivote central, etc. El método se adapta bien a las necesidades de los productores tanto desde el punto de vista económico como el profesional con muchas ventajas comparado con los métodos convencionales. En fertirrigación, se comprende que su mayor utilidad se consiga con aplicaciones periódicas, en dosis bajas, a lo largo de la campaña de riego, de acuerdo a las necesidades de las plantas y no de una sola vez (Goldberg, et al, 1976).

El sistema de fertirrigación, es el método más racional de que disponemos para realizar una fertilización optimizada. Por lo tanto, la proyección económica de la nueva tecnología de fertirrigación es enorme. Se trata de un método de fertilización muy distinto al tradicional. Es la aplicación de fertilizantes en el tiempo correcto a través del sistema de riego, en el lugar donde requieren alimentarse las raíces durante el periodo de su desarrollo. Para reducir la cantidad de fertilizante y el intervalo entre las aplicaciones, es posible mantener un nivel uniforme de nutrimentos y controlar el suministro al suelo de acuerdo con el crecimiento y desarrollo del cultivo. De esta manera el riego por goteo puede ser utilizado no solo como un método de aplicación de agua, si no también para transportar el fertilizante al lugar deseado en el tiempo apropiado (Goldberg, et al., 1976).

Ventajas e inconvenientes

La fertirrigación presenta una serie de ventajas a comparación de los métodos tradicionales de aplicación de fertilizantes, sin embargo, existen algunas limitaciones. A continuación presentaremos las ventajas y limitaciones más importantes.

- Dosificación racional de fertilizantes.
- Incremento en la eficiencia en la aplicación.
- Existe la posibilidad de ajustar la fertilización a las distintas fases del ciclo del crecimiento del cultivo, como el vegetativo, floración, cuajado, etc.
- Ahorro considerable de agua.



- Se ahorra en mano de obra y combustible.
- Se evita la compactación del suelo y el daño de las plantas.
- Utilización de aguas de riego de baja calidad.
- Nutrición optimizada del cultivo y aumento de rendimientos y calidad de los frutos.
- Se reducen las pérdidas de fertilizante desde la superficie del suelo.
- Control de la contaminación.
- Mayor eficacia y rentabilidad de los fertilizantes.
- Alternativas en la utilización de diversos tipos de fertilizantes además de pesticidas.
- Fabricación “a la carta” de fertilizantes adaptados a un cultivo, suelo o sustrato, agua de riego y condiciones climáticas durante todos los días del ciclo del cultivo.
- Automatización de la fertilización (Cadahia, 2005).

Entre los inconvenientes del sistema de fertirrigación podemos citar:

- Elevado costo inicial de infraestructura.
- Obturación de goteros.
- Manejo de personal especializado.
- Contaminación de aguas subterráneas.
- Peligro de corrosión: Todos los componentes del sistema que entran en contacto con los materiales inyectados deben ser resistentes para reducir la corrosión al mínimo (Cadahia, 2005).

Importancia del Fertirriego

El fertirriego es de gran importancia ya que estimula un mejor desarrollo de los cultivos, por otro lado es sabido que, una óptima utilización de los fertilizantes, redundará en mayores ganancias tanto para el consumidor como para el productor. Algunos de los aspectos que han contribuido a incrementar la producción agrícola han sido la utilización de semillas seleccionadas, y el buen control de plagas, enfermedades y malezas, sin embargo en la mayoría de los casos habría sido imposible aumentar dicho rendimiento si no se hubiera dispuesto de fertilizantes que proporcionaran los nutrimentos necesarios y requeridos por los cultivos y que fueron aportados a través de una buena fertilización (Cook, 1983).



La aplicación de los nutrientes de las plantas por medio de los sistemas de fertirrigación es conveniente y eficiente, reduce los costos en el trabajo, energía y equipo utilizado en comparación con los métodos tradicionales de aplicación de fertilizantes a la superficie del terreno. Los fertilizantes son sustancias que se aplican para aumentar el rendimiento de la cosecha al proporcionar uno o más de los elementos que son nutrientes esenciales en las plantas (Cook, 1983).

Parámetros para la Calidad Química del Riego

Las aguas de riego contienen determinada cantidad de sales solubles. El agua es disolvente y vehículo de nutrientes, manejada incorrectamente puede originar salinización en el medio de cultivo. Realizar análisis de agua de riego, da la pauta para determinar su tratamiento, adecuación y formulación de la solución nutritiva por aplicar en el fertirriego, de acuerdo a las necesidades de la planta, condiciones de suelo o sustrato y clima (Rodríguez, 2004).

Las determinaciones más importantes para conocer la calidad química de agua de riego y su posible uso en el fertirriego son: pH, C.E., SO_4 , NO_3 , Ca, NH_4 , CO_3 , HCO_3 , Mg, B, Na, P, Cl, K. Los parámetros de agua a determinar involucran los siguientes: sales inorgánicas, microorganismos, ferro bacterial, dureza, hierro, bacterias, reductoras de SO_4 , sólidos en suspensión, oxígeno disuelto, sales totales, sólidos solubles, ácido sulfhídrico (Rodríguez, 2004).

Parámetros más Importantes del Agua en Fertirriego

pH

Son muy variadas las razones por las cuales se debe establecer un pH apropiado, tanto en los tanques de solución nutritiva así como en el flujo de agua de riego, un pH adecuado ayuda a prevenir reacciones químicas de fertilizantes en las líneas de conducción, proporciona una buena asimilación de los diferentes nutrientes, especialmente fósforo y micronutrientes, un valor de pH elevado puede causar problemas de obstrucciones en los diferentes componentes del sistema de fertirrigación debido a la formación de precipitados, en otros casos un pH muy bajo facilita la asimilación de elementos tóxicos para la planta, por lo que es recomendable mantener el pH entre 5 y 6 antes de la aportación de los nutrientes (Rodríguez, 2004).



Conductividad Eléctrica (C.E.)

En términos generales cuando se habla de la calidad del agua de riego, se hace inferencia a la calidad del agua en relación a la salinidad, sin embargo, es importante considerar que existen otros criterios de calidad, tal es el caso de los aspectos microbiológicos y los físicos, entre otros; aspectos que son de suma importancia tratándose de la fertirrigación (Rodríguez, 2004).

El agua utilizada con fines de riego tiene un determinado contenido de sales solubles, debe tener una C.E de 0.2 dS/m, si es más alta disminuye la absorción de agua puesto que existe una mayor presión osmótica externa contenido que es determinado al medir la Conductividad Eléctrica (CE), (Rodríguez, 2004; Valadez, et al., 2001).

Carbonatos y Bicarbonatos

Martínez y García, (1993), mencionan que los bicarbonatos se neutralizan con los ácidos equivalente a equivalente (1:1) y los carbonatos en la proporción de 1 a 2 (1:2) (miliequivalentes de ácido). Se suele dejar 0.5 miliequivalentes de bicarbonato por neutralizar con lo que así el pH será del orden de 5.8.

El CO_3 y el HCO_3 están asociados con el pH, son la causa de la reacción alcalina en el agua de riego. En las soluciones nutritivas originan un efecto tampón deseable, sin embargo, su presencia no es favorable por los inconvenientes que presentan al precipitar sales cálcicas en el sistema de riego, específicamente en las tuberías y emisores; por lo tanto es necesario sustituir carbonatos y bicarbonatos por otros iones.

Capacidad de intercambio catiónico (CIC)

El número total de cationes intercambiables que un suelo puede retener (la cantidad permitida por su carga negativa) se denomina capacidad de intercambio catiónico o CIC. Mientras mayor sea la CIC más cationes puede retener el suelo (Martínez y García, 1993).

pH en la solución de fertirrigación y la 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.

De este modo, el Fe, 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 Mn 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, prácticamente la 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 (Alarcón, 1995b).

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 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 (Alarcón, 1995b).



Si atendemos al nitrógeno (nutriente requerido en grandes cantidades), puede ser aportado a la planta como catión amonio (NH_4^+) o como anión nitrato (NO_3^-), pues bien, la relación existente entre estas dos formas 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 absorbe preferentemente cationes (NH_4^+), 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 (NO_3^-), las raíces liberan iones hidroxilo (OH^-) o iones bicarbonato (HCO_3^-) para mantener la neutralidad eléctrica en la superficie de la raíz, con lo que el pH de la solución tiende a incrementarse (Alarcón, 1995b).

Se sabe experimentalmente que cuando un 10-20 % del N total es aportado como amonio (NH_4^+), el pH de la solución nutritiva en cultivos hidropónicos permanece estable en torno a 5.5. Así pues, jugando con la relación $\text{NH}_4^+/\text{NO}_3^-$ 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 el seno de la solución sobre todo bajo condiciones de bajas temperaturas (Alarcón, 1995b).

Los Fertilizantes y su uso en el Fertirriego

Una de las formas de lograr un equilibrio nutricional en el suelo es la aplicación de los fertilizantes minerales a través de los sistemas de fertirrigación, ya que al considerar las características químicas de suelo y el agua de riego y el comportamiento de los fertilizantes al incorporarlos al sistema, se está haciendo un uso racional, oportuno y equilibrado de los fertilizantes (Rodríguez, 2004).

El fertilizante se define como un producto químico y en menor proporción orgánico, que aporta elementos nutrimentales para las plantas, se incorpora como sal inerte sin carga, que al mezclarse con el agua (ya sea del suelo o de una solución) se disocia dejando nutrientes en forma iónica, es decir elementos con carga negativa (aniones) o con carga positiva (cationes) (Rodríguez, 2004).



Características de los Fertilizantes para el Fertirriego

Según Cadahia (2005), existen tres importantes características de los fertilizantes, influyentes en un adecuado manejo de la fertirrigación: La solubilidad, la salinidad y el pH.

a) Necesariamente deben ser solubles en el agua de riego. Podrán presentarse en forma sólida o líquida. Es importante señalar que la temperatura influye en la solubilidad de los fertilizantes, por lo que deberá considerarse al momento de la mezcla de los fertilizantes o su incorporación en el sistema de riego. A mayor temperatura mayor solubilidad.

b) Los fertilizantes incrementan la concentración de sales del agua de riego. Los fertilizantes tienen diferente conductividad eléctrica y en la fertirrigación ésta variable se utiliza para conocer la salinidad que se generará en la solución nutritiva y en la solución del suelo, lo que permitirá establecer la concentración salina a una presión osmótica que no disminuya el rendimiento de los cultivos. Se recomienda que los abonos no aumenten más allá de un ds/m la conductividad eléctrica del agua de riego, es por tal razón que en ocasiones deberá fraccionarse lo más posible la fertilización, siendo ideal que la C. E. del agua más la de los fertilizantes se encuentre entre 2 y 3 ds/m siempre y cuando no supere los límites de tolerancia de la planta, que son diferentes para cada cultivo.

c) Al ser los fertilizantes sales altamente disociables influyen en las propiedades químicas del agua, particularmente en el pH; los fertilizantes presentan un pH distinto en solución o al mezclarse con el agua de riego, si el fertilizante incrementó el pH se tendrán riesgos de precipitados, si lo baja disminuirá el riesgo de precipitados en los emisores. A los fertilizantes solubles se les mide su pH en una solución de 1 g/l a 20 °C. Algunos fertilizantes al inicio presentan un pH alcalino en el agua, pero al incorporarse al suelo tienen una reacción acidificante.

Importancia del pH del suelo

El pH del suelo ejerce un efecto indirecto sobre los cultivos, ya que a una determinada acidez o alcalinidad los elementos nutritivos son más asimilables, los microorganismos del suelo se desarrollan bien y no existen elementos tóxicos en cantidad apreciable. El pH ejerce



una gran influencia en la asimilación de elementos nutritivos, ya que facilita o dificulta su disolución y crea, a veces, antagonismos iónicos (Urbano, 1991).

Requerimientos respecto a los fertilizantes

La fertirrigación exige que los fertilizantes sean solubles o emulsionables en el agua de riego, dejando un mínimo de impurezas; que sean compatibles entre ellos, para que no reaccionen formando precipitados que pudiesen obturar los emisores; que sean compatibles con los iones contenidos en el agua de riego y con su pH, para evitar precipitaciones y, que no tengan un efecto corrosivo sobre los componentes de la instalación de riego (Urbano, 1991).

La solubilidad es una propiedad importante para seleccionar los abonos a emplear. En principio, quedan descartados aquellos abonos que contengan aditivos para mejorar su conservación o para hacer más lenta su liberación, siendo preferibles los abonos obtenidos por recristalización (cristalinos). Al preparar las soluciones de fertilizante debe tenerse presente:

- Que se trata de valores para soluciones saturadas a temperatura de alrededor de 20° C.
- Al aumentar la concentración de iones diferentes aumenta la solubilidad.
- Que al aumentar la concentración de iones iguales a los del producto en cuestión disminuye la solubilidad (efecto del ión común) (Urbano, 1991).

Tipos de fertilizantes utilizados en fertirriego

Según Rodríguez, et al. (1992), hay tres tipos de fertilizantes mas utilizados en fertirriego:

- Sólidos
- Líquidos
- Foliares

Equipo de inyección

Se realiza en el cabezal, antes de los filtros de malla o en cabeza de las unidades, cuando se riegan simultáneamente distintos cultivos.



La fertirrigación debe terminar, al menos, 15 minutos antes que el agua de riego deje de salir por el emisor mas alejado, con el fin de lavar los productos químicos y evitar su precipitación. Los métodos actuales de inyección son tres:

- Venturi
- Tanque de fertilización
- Bomba de inyección, accionada eléctrica o hidráulicamente (Rodríguez, et al., 1992).

Características Particulares de los Fertilizantes para el Fertirriego

Solubilidad

A mayor pureza y temperatura, mayor será la solubilidad. En diversa literatura se presentan tablas de solubilidad estandarizadas a 20°C para distintos fertilizantes como se observa en el cuadro 2.1, sin embargo, como la calidad de agua es diferente, estas pruebas se realizan con agua destilada y posiblemente la solubilidad en un lugar en particular pudiera ser menor (Rodríguez, 2004).

Cuadro 2.1. Solubilidad de algunos fertilizantes a 20 °C.

Fertilizante	Solubilidad g/l
Nitrato de Calcio	1200
Nitrato de Amonio	1700
Sulfato de Amonio	500
Urea	500
Nitrato de Potasio	300
Sulfato de Potasio	110
Fosfato Monopotásico	200
Fosfato Monoamónico	200
Sulfato de Magnesio	700
Nitrato de Magnesio	550
Cloruro de potasio	350
Bórax	50

Fuente: (Rodríguez, 2004)



Lo anterior nos sirve de orientación, sin embargo se tiene que considerar que en el caso de los fertilizantes nitrogenados producen una reacción endotérmica, es decir enfrían el agua en la que se disuelve el fertilizante, incluso bajan la temperatura a 0 °C disminuyendo de esta manera la solubilidad de otro abono a disolver en la solución (Rodríguez, 2004).

La selección de las concentraciones de nutrientes a utilizar es sin embargo un aspecto muy importante que a menudo no es discutido en forma apropiada u objetiva. Esto es en particular en el caso de las aplicaciones del nitrógeno (N). La determinación de la concentración adecuada de (N) en una solución hidropónica o de fertirriego puede calcularse empíricamente usando la tasa de crecimiento del cultivo, la tasa de transpiración, y la concentración promedio de N en el tejido vegetal (Rodríguez, 2004).

La variación en la temperatura puede modificar la solubilidad de algunos fertilizantes, especialmente los nitrogenados, el cuadro 2.2 ilustra la variación en la solubilidad del nitrato de amonio en función de la temperatura.

Cuadro 2.2 Variación de la solubilidad de Nitrato de amonio en función de la temperatura.

Temperatura °C	Solubilidad g/L de agua
18	1520
22	1700
24	1720
26	1760
28	1820

Fuente: (Fesa-Enfersa, 1991)

Conductividad Eléctrica (CE)

Los fertilizantes solubles tienen diferente CE y esta se utiliza para conocer la salinidad que genera. Las unidades para medirla son los ds/cm o mmhos/cm, debiéndose medir a concentración menor a 1 g de fertilizante/litro de agua, a una temperatura de 20 °C. En condiciones de agua y/o suelo con determinada salinidad, el conocer este parámetro del fertilizante permitirá elegir aquellos que presentan una baja CE. Caso contrario se podrán utilizar los que generan mayor conductividad; en este último caso en algunos cultivos,



dependiendo de la fase fenológica, se busca incrementar la CE de la solución del suelo para buscar un determinado beneficio (Rodríguez, 2004).

El cuadro 2.3 muestra la Conductividad Eléctrica de algunos fertilizantes comerciales en una disolución con 0.5 g/l de agua pura.

Cuadro 2.3.- C. E. de algunos fertilizantes comerciales en una disolución 0.5 g/l de agua pura.

Fertilizante	C.E. dS/cm
Nitrato de Amonio	850
Nitrato de Potasio	693
Nitrato de Calcio	605
Nitrato de Magnesio	448
Sulfato de Amonio	1033
Sulfato de Magnesio	410
Sulfato de Potasio	880
Fosfato Monoamónico	455
Fosfato Monopotásico	375
Cloruro de Potasio	948

Fuente: (Muñoz y Castellanos, 2003)

pH

Todos los fertilizantes tienen diferente pH en solución. Es otro parámetro para la elección del fertilizante, ya que dependiendo de las condiciones del agua, del suelo o los requerimientos de la planta, será la reacción del fertilizante a utilizar. La calidad del agua en su contenido de HCO_3 y las características de los fertilizantes tienen una relación estrecha con el pH. El manejo del pH en la preparación de la solución nutritiva y en su incorporación al suelo a través del sistema de riego por goteo, evitará que se tengan precipitados insolubles que obturen los emisores y que se desequilibre nutricionalmente la solución (Rodríguez, 2004).

Los fertilizantes tienen diferentes reacciones en la solución nutritiva en el cuadro 2.4 se muestran las reacciones de los diferentes fertilizantes.



Cuadro 2.4.- Reacción de los fertilizantes.

Fertilizante	Reacción
Nitrato de Amonio	Ácida
Nitrato de Potasio	Básica
Nitrato de Calcio	Básica
Nitrato de Magnesio	Neutral
Sulfato de Amonio	Muy ácida
Sulfato de Magnesio	Neutral
Sulfato de Potasio	Neutral
Fosfato Monoamónico	Ácida
Fosfato Monopotásico	Básica
Hidróxido de Calcio	Básica

(Rodríguez, 2004)

Temperatura

Los fertilizantes al mezclarse con el agua pueden presentar reacciones térmicas que cambian la temperatura de la solución e influyen en la solubilidad de los fertilizantes a incorporar. La mayoría de los fertilizantes tienen una reacción endotérmica (nitratos, urea, amonios) al solubilizarse en el agua, es decir bajan la temperatura de la solución al incorporarse. Es importante considerar este fenómeno en la época invernal o cuando se trabaja con aguas frías (Cadahia, 2005).

Compatibilidad

Los fertilizantes por su composición iónica, pueden interactuar entre sí y precipitar perdiendo su eficiencia y posiblemente obturar los emisores. En el cuadro 2.5 podemos observar la compatibilidad de los principales fertilizantes comerciales, que nos permite orientarnos para realizar correctamente la solución nutritiva. Una de las incompatibilidades iónicas más importantes en seco o en el agua se da en los siguientes aniones y cationes:

Ca^{++}/HPO_4^-
Ca^{++}/SO_4^-

(Román, 2002)



Cuadro 2.5. Compatibilidad de los fertilizantes.

Nitrato de Amonio											
E	Nitrato de Calcio										
I	I	Amoniaco Anhidro									
E	I	L	Sulfato de Magnesio								
I	E	L	E	Urea							
C	I	L	E	E	Sulfato de Amonio						
C	I	I	E	L	C	Fosfato Monoamónico					
C	I	I	E	L	C	L	Fosfato Diamónico				
C	I	I	E	L	C	C	C	Fosfato Monopotásico			
C	L	I	E	L	C	C	C	C	Nitrato de Potasio		
C	I	I	E	L	C	C	C	C	C	Sulfato de potasio	
E	L	I	E	L	L	L	L	L	L	L	Mg(NO ₃) ₂

Fuente: (Román, 2002)

C = Mezcla 100% compatible en seco y en estanque

I = Mezcla Incompatible en seco y en estanque. No realizar

E = Mezcla compatible solo en estanque al momento de inyectar

L = Mezcla de compatibilidad limitada en seco y en agua. Usar cantidad limitada

Los ácidos y sus usos

El uso de ácidos para la limpieza de sistemas de conducción

Obturaciones

Según Forero (2000), las características hidráulicas de las instalaciones, solo se conservan en las que funcionan con un mantenimiento adecuado, y cuyo diseño se ha realizado óptimamente. Una instalación deficiente o un manejo incorrecto conducen a obturaciones.

Para este tipo de problemas es recomendable la adición, y lo que provoca se menciona a continuación:

- Reduce el pH.
- Abate el nivel de bicarbonatos.



- pH de 4.5 liberara el 95 % de los bicarbonatos.
- Disuelve los precipitados.

Hay cinco tipos de obstrucción en sistemas de riego por goteo, los cuales requieren inyección de químicos dentro del agua:

- * Bacterias limosas.
- * Óxidos de hierro y manganeso.
- * Sulfuros de hierro y manganeso.
- * Precipitación de carbonatos de calcio y magnesio.
- * Intrusión de raíces dentro de los emisores enterrados (Forero, 2000).

Cuadro 2.6. Guías sobre obstrucción potencial con aguas de diferente calidad.

Tipo de problema	Nivel de riesgo		
	Bajo	Moderado	Severo
Físico			
Sólidos en suspensión	50 ppm	50-100 ppm	>100 ppm
Químico			
pH	7.0	7.0-8.0	>8.0 ppm
Sales	500 ppm	500-2000 ppm	>2000 ppm
Bicarbonatos		100 ppm	
Manganeso	0.1 ppm	0.1-1.5 ppm	>1.5 ppm
Hierro total	0.2 ppm	0.2-1.5 ppm	>1.5 ppm
Sulfuro de hidrogeno	0.2 ppm	0.2-2.0 ppm	>2.0 ppm
Biológico			
Población bacteriana	10000/litro 2642/galón	10000-50000/litro 2642-13210/galón	>50000/litro >13210/galón

Fuente: (Forero, 2000)

Bacterias Limosas

Estas bacterias crecen en el interior de las paredes de las mangueras y de los emisores. Las partículas de arcilla en el agua, las cuales son demasiado pequeñas para ser removidas por



el filtrado, se pegan a las bacterias limosas y agravan el problema al proveer nutrientes que favorecen un crecimiento adicional. A medida que el desarrollo de las bacterias se incrementa en tamaño, se desprenden grandes partículas y se mueven aguas abajo y en esa forma se obstruyen los pequeños orificios de los emisores. Los tratamientos comunes para eliminar bacterias limosas incluyen:

1. Cloro

Se puede usar líquido o gas (usualmente gas). Puede aplicarse en forma continua en dosis bajas (0.5 ppm – 1.5 ppm) u ocasionalmente en dosis más altas (5 ppm 20 ppm). La concentración crítica de cloro debe determinarse en los extremos de las mangueras; para aplicaciones continuas, una concentración de cerca de 0.5 ppm de cloro libre disponible debe persistir en los extremos de las mangueras.

Cuando el cloro se inyecta en el agua, el cloro libre consta de dos compuestos: ácido hipocloroso e hipoclorito. El porcentaje relativo de cada uno depende del pH del agua. El ácido hipocloroso es muchas veces más poderoso como biocida que el hipoclorito. Para un tratamiento efectivo con cloro, las aguas alcalinas deben acidificarse a un pH de 6.5, de tal manera que predomine el ácido hipocloroso.

La acidificación del agua y la inyección de cloro deben hacerse en dos puertos de inyección diferentes; mezclar ácido y cloro líquidos en el mismo tanque producirá gas de cloro tóxico. Nunca deben almacenarse juntos, ácidos y cloro (Forero, 2000).

2. Control de pH

Los tratamientos con ácidos acrecientan la efectividad del cloro y en muchos casos son suficientes por sí solos para eliminar bacterias limosas. Mientras muchos productores usan ácido sulfúrico o fosfórico, otros usan fertilizantes de nitrógeno acidificados, los cuales proporcionan tanto ácido como fertilizante. El uso exclusivo de fertilizante de nitrógeno acidificado o de larga duración para el control de bacterias, debe hacerse con precaución porque: (1) el nitrógeno no debe ser aplicado a algunos cultivos próximos a la cosecha y (2) el pH del suelo puede ser afectado en forma adversa.



Hierro y Manganeseo

Las concentraciones muy pequeñas de estos dos elementos (0.1 ppm – 0.3 ppm) pueden causar problemas. El primer paso es asegurarse de que el causante del problema es realmente el hierro o el manganeseo y en qué forma (Forero, 2000).

Sulfuros de Hierro y Manganeseo

El hierro y el manganeseo disueltos en presencia de sulfuros pueden formar un precipitado negro insoluble. El hierro es el problema principal en obstrucción, ya que el manganeseo es tóxico para muchos cultivos en concentraciones muy bajas y puede dañar los cultivos por toxicidad antes de que la obstrucción llegue a ser un problema. El problema con sulfuros está casi exclusivamente asociado con aguas de pozos y en estos el revestimiento se ensucia rápidamente. Una vez que el agua ha alcanzado la superficie del terreno, la combinación de aireación, acidificación y cloración pueden precipitar cualquier cantidad de sulfuro que aún permanezca.

En los dos casos anteriores la aplicación de ácido ayuda remover este tipo de precipitados que generan en los sistemas de riego y que obstruyen el paso del agua y reducen la eficiencia de dichos sistemas (Forero, 2000).

Precipitación de Carbonatos de Calcio y Magnesio

Las precipitaciones de carbonatos tienen lugar en los mismos emisores y puede ocasionar taponamiento de los mismos. Su presencia puede identificarse fácilmente colocando una gota de ácido muriático (ácido clorhídrico) sobre un emisor obstruido. Si se produce efervescencia sobre el material, se trata de carbonatos (Forero, 2000).

La solución más popular es la inyección de ácido para la remoción de carbonatos del agua, en forma de gas de CO₂, antes de que ocurra la precipitación. En este proceso se usan muchos tipos de ácidos incluyendo ácidos sulfúrico y fosfórico (el ácido fosfórico blanco se prefiere con respecto al verde debido a que tiene menos impurezas). Adicionalmente hay varios tipos de inyectores de gas, incluyendo varios inyectores de SO₂. El bajar el pH a 6.5 prevendrá la precipitación de carbonatos. Recientemente ha habido interés en el tratamiento de

agua magnética activa. Este tratamiento hace que los carbonatos formen aragonita, la cual pasa a través de los emisores como partículas microscópicas (Forero, 2000).

Intrusión de Raíces

A medida que se instalan más sistemas de riego por goteo subsuperficial (RGS), mayor es la atención que se presta a la prevención del crecimiento de raíces dentro de los emisores enterrados. En cultivos anuales tales como la lechuga, comúnmente se minimiza la intrusión de raíces al evitar estrés de humedad durante la estación de crecimiento y luego exterminando las raíces (y las plantas) por medio de inyección de ácido al final de la estación de cultivo.

La figura 2.1 muestra la obstrucción del paso del agua debido a un sedimento incrustado en la cinta de riego.

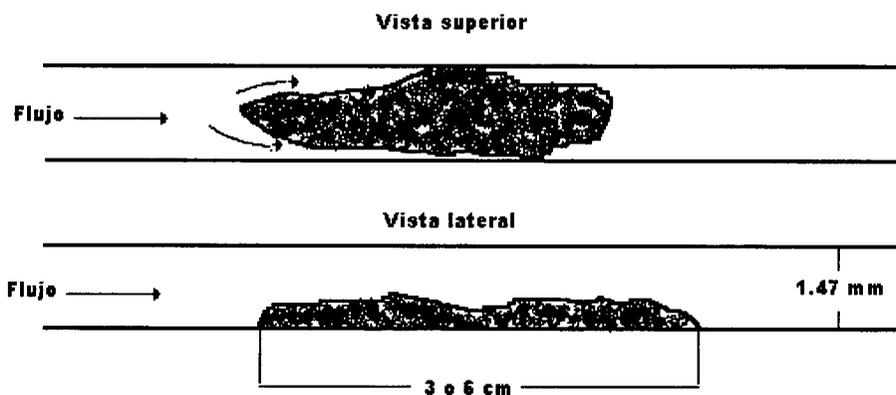


Fig. 2.1. Forma de un sedimento típico. Velocidad de flujo 0.3 m/s.

Los riesgos potenciales de obturación por precipitación química pueden preverse mediante análisis de agua, pero los resultados analíticos correlacionan mal, en términos generales, con el grado de obturación de los diferentes emisores, puesto que su geometría influye decisivamente.

En el término geometría no sólo deben incluirse los diámetros y longitudes de los pasos de agua, sino también cuáles son las zonas del emisor que quedan llenas de agua al finalizar el riego, y cuáles están expuestas a la evaporación (Pizarro, 1990).

Debe tenerse presente la alta temperatura que, a veces, se alcanza en el interior de las mangueras de Polietileno y que disminuyen la solubilidad del CO_3Ca , con lo que aumenta el



riesgo de precipitación. A veces resultan unos volúmenes de ácido por m³ de agua lo suficientemente altos como para no inyectarlos durante todo el riego y se recurre a aplicarlos durante su última parte, para tratar solamente el agua que permanece dentro de la instalación al finalizar el mismo. El volumen de agua necesario para que el ácido llegue a los últimos emisores puede determinarse cubriendo la instalación y multiplicando su resultado por dos o tres como garantía. El tiempo que tarda el ácido en llegar a los últimos emisores de las subunidades más alejadas puede medirse utilizando un papel indicador de pH. En la práctica, como garantía, se comenzará la aplicación de ácido durante un tiempo un 50-100% superior al medido (Rodríguez, et al., 1992).

Ácidos que se aplican comúnmente para disminuir el pH del agua de riego

- Ácido clorhídrico
- Ácido sulfúrico
- Ácido fosfórico
- Ácido nítrico

Ácido clorhídrico

Se emplea comúnmente como reactivo químico y se trata de un ácido fuerte que se disocia completamente en disolución acuosa.

El HCl se obtiene en el laboratorio por adición de ácido sulfúrico (H₂SO₄) a sal (NaCl):



El ácido clorhídrico que se encuentra en el mercado suele tener una concentración del 38 % o del 25 % (Cotton, 1981).

Propiedades fisicoquímicas del ácido clorhídrico

- Peso molecular: 36.45 g/mol
- Punto de fusión: -25 °C
- Punto de ebullición: 85 °C



- Número CAS: 7647-01-0
- pH: <1 (20°C)

Aplicaciones

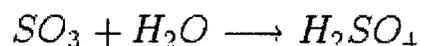
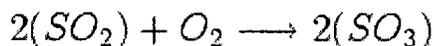
Se usa, por ejemplo, para limpiar, tratar y galvanizar metales, curtir cueros, y en la refinación y manufactura de una amplia variedad de productos. El clorhídrico se utiliza sobre todo como ácido barato fuerte y volátil. El uso más conocido es el de desincrustante para eliminar residuos de caliza (carbonato cálcico: CaCO_2). En esta aplicación se transforma el carbonato cálcico en cloruro cálcico más soluble y se liberan dióxido de carbono (CO_2) y agua (Cotton, 1981).

Ácido sulfúrico

El ácido sulfúrico es un compuesto químico muy corrosivo cuya fórmula es H_2SO_4 . Es el compuesto químico que más se produce en el mundo. Generalmente se obtiene a partir de dióxido de azufre, por oxidación con óxidos de nitrógeno en disolución acuosa. Normalmente después se llevan a cabo procesos para conseguir una mayor concentración del ácido. Antiguamente se lo denominaba aceite o espíritu de vitreolo, porque se producía a partir de este mineral. En agua se comporta como un ácido fuerte en su primera disociación, dando el anión monohidrogenosulfato, y como un ácido débil en la segunda, dando el anión sulfato. Además reacciona violentamente con agua y compuestos orgánicos con desprendimiento de calor (Huheey, 2005).

Formación del ácido

Se forma a partir de la siguiente reacción:





Aplicaciones industriales

Una gran parte se emplea en la obtención de fertilizantes. También se usa para la síntesis de otros ácidos y sulfatos y en la industria petroquímica.

Además de las mencionadas, también se emplea para la elaboración de baterías, como las baterías de los automóviles (Huheey, 2005).

Ácido fosfórico

El ácido ortofosfórico, a veces llamado sólo ácido fosfórico es un compuesto químico de fórmula H_3PO_4 (Cotton, 1981)

Propiedades químicas

El anión asociado con el ácido fosfórico se llama ión fosfato, muy importante en la biología, especialmente en los compuestos derivados de los azúcares fosforilados, como el ADN, el ARN y la adenosina trifosfato (ATP) (Cotton, 1981).

Propiedades físicas

- Punto de fusión: 42°C
- Densidad relativa (agua = 1): 1.88
- Solubilidad en agua: Muy elevada
- Presión de vapor, Pa a 20°C: 4
- Densidad relativa de vapor (aire = 1): 3.4 (Cotton, 1981).

Ácido nítrico

El compuesto químico ácido nítrico o ácido trioxonítrico (V) (HNO_3) es un líquido corrosivo, tóxico, que puede ocasionar severas quemaduras.

El ácido nítrico se obtiene mezclando dióxido de nitrógeno (NO_2) y agua. Sintetizar ácido nítrico puro impone habitualmente la destilación con ácido sulfúrico, ya que el ácido nítrico forma un azeótropo con el agua en una composición del 68% de ácido nítrico y 32% de



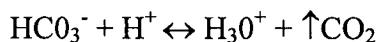
agua. Las soluciones comerciales incluyen entre un 52% y un 68% de ácido nítrico. Si la solución incluye más de un 86% de ácido nítrico se nombra fumante y viene en dos variedades, blanco y rojo. El ácido nítrico blanco fumante también se llama 100% ya que no tiene casi agua (menos de un 2%) (Cotton, 1981).

Propiedades físicas

- Masa molecular: 63.016 g/mol
- Densidad (g/cm³): 1.52
- Temperatura ebullición: 81.4 °C
- Temperatura solidificación: -41.6 °C
- Solubilidad en agua: Miscible en todas proporciones
- Presión de vapor: 62 mm/Hg (25 °C)
- Índice de refracción: 1.3970 (25 °C)
- Viscosidad: 0.761 cp (25 °C) (Cotton, 1981).

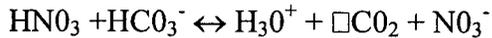
Adición de ácidos a soluciones con presencia de bicarbonatos

Según Alarcón (1995a), el poder amortiguador de las aguas de riego frente a la adición de ácidos depende casi exclusivamente de la presencia de ión bicarbonato (HCO₃⁻), que es la especie predominante del equilibrio del ácido carbónico en disolución para pHs comprendidos entre 4 y 8, y es un factor determinante del valor de pH de la disolución. La reacción de neutralización que se produce en un agua con bicarbonatos al adicionar un ácido es la siguiente:



Los ácidos se inyectan en el sistema de fertirrigación de la misma forma que un fertilizante, sin embargo, hay que tener especial cuidado en los parámetros que controlan esta inyección y en la capacidad del agua para amortiguar el efecto de la adición de estos (Alarcón, 1995a).

Un miliequivalente (meq) de ácido neutraliza un meq de base presente en el agua (generalmente bicarbonatos).



Se sabe por experiencia que neutralizando totalmente los bicarbonatos presentes en el agua, disminuye drásticamente la capacidad tampón de la misma y el pH desciende muy rápidamente por debajo de los límites deseados con adiciones posteriores muy pequeñas. Por esto, es conveniente neutralizar hasta dejar una concentración de 0.3 a 0.5 meq, con lo que el pH de la solución nutritiva se situará entre 5.3 y 5.5. Este valor se considera idóneo para la solución de fertirriego ya que proporciona la máxima disponibilidad de nutrientes en la rizósfera y previene la formación de precipitados.

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 (Alarcón, 1995a).

Aguas con escasa presencia de bicarbonatos

La adición de ácidos para disminuir el pH en ausencia de sustancias que tengan capacidad tampón, supone un riesgo elevado si no se controlan todos los parámetros que intervienen en el sistema de cultivo. La adición de cantidades menores a las necesarias, pueden no solucionar el problema presente, mientras que adiciones mayores pueden invertir el signo del problema actual y presentar problemas futuros de igual o mayor orden de magnitud que el que teníamos.

En algunos casos es necesario ajustar el pH de un agua o una solución sin capacidad de taponamiento. Es aconsejable realizar un seguimiento continuo del pH de la solución de fertirriego en los puntos de emisión, para modificar los aportes de ácido si este alcanza valores no deseados. La solución más segura suele ser adicionar al agua sustancias que presenten esta capacidad de taponamiento, antes de adicionar el ácido y realizar los cálculos de acidificación con posterioridad (Alarcón, 1995a).

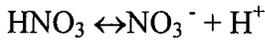


En estos casos, la acidificación de las soluciones se reduce a un simple problema químico. Veamos un ejemplo en el que pretendemos reducir el pH de una solución de fertirriego de 6 a 5:

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

$$\text{pH} = 6 \Rightarrow [\text{H}^+] = \frac{1}{10^6}; \text{pH} = 5 \Rightarrow [\text{H}^+] = \frac{1}{10^5}$$

para reducir el pH de 6 a 5 con ácido nítrico del 38 % de pureza; $\rho = 1.24$



$$\frac{1}{10^6} + x = \frac{1}{10^5}; x = \frac{9}{10^6}; \frac{1}{10^6} + \frac{9}{10^6} = \frac{10}{10^6} = \frac{1}{10^5}; \text{deberán aportarse } 9 \text{ eq de } \text{H}^+ / 10^6$$

9 equivalentes H^+ se encuentran en 1492.6 g

$$g = n(\text{eq}) \frac{pm}{riqueza} = 9 \frac{63.02}{38\%} = 1492.6 \text{ g}$$

La densidad del ácido comercial es 1.24, y es más fácil medir volumen que pesar líquidos: aportaremos $1203.3 \text{ cm}^3 \approx 1.2 \text{ L}$ de ácido comercial/ m^3 de agua.

Por analogía con el peso molar de los fertilizantes, podemos utilizar el volumen molar de los líquidos.

$$V_{\text{mol}} = \frac{\frac{pm}{riqueza}}{\rho\%} = \frac{100 * pm}{riqueza * \rho} = 133.74$$

$$9 * 133.74 = 1203.6 \text{ cm}^3; \approx 1.2 \text{ L} * \text{m}^3$$

Cuando se riega con aguas de buena calidad o con escasa presencia de bicarbonatos, la neutralización de la totalidad de estos agota la capacidad tampón de la solución, que se encuentra en un pH cercano a 4. La adición de pequeñas cantidades de ácido en estas condiciones puede hacer descender el pH hasta valores extremadamente peligrosos para el sistema radical del cultivo (especialmente cuando el sistema de cultivo se realiza en substratos diferentes del suelo. Si la concentración de bicarbonatos en la solución de riego es menor de



1.5 – 2.0 meq/l, las necesidades de las plantas no pueden cubrirse en su totalidad utilizando ácido fosfórico, por lo que debe recurrirse a otros fertilizantes utilizables en fertirrigación (fosfato monoamónico o fosfato mono potásico) (Alarcón, 1995a).

Relación entre CE y pH: el caso de los ácidos

La utilización de ácidos como fertilizantes requiere de un conocimiento de las relaciones entre la CE y el pH. Esta relación es especialmente interesante cuando en el agua de riego existen sales neutralizables por el ácido adicionado. La adición de un equivalente de ácido, neutralizará un equivalente de bicarbonatos presentes en el agua.

Dado que la CE de la disolución depende de la constante de disociación de las sales presentes en la disolución, la CE final, obtenida después de la neutralización, dependerá de la diferencia, en las mencionadas constantes, de las especies iónicas presentes antes y después de la neutralización.

Es conveniente recordar que la riqueza de los ácidos comerciales es muy variable y es conveniente conocer la relación que existe entre la riqueza en elemento, la pureza del ácido comercial y la densidad de la presentación como se muestra en el cuadro 2.7 (Alarcón, 1995c).

Cuadro 2.7. Pureza y densidad de los ácidos comerciales.

Producto	Pureza (%)	Densidad(gr/cm ³)	CE
H ₃ PO ₄	55	1.38	Baja
	75	1.58	
HNO ₃	38	1.24	Sube
	59	1.36	
H ₂ SO ₄	98	1.84	Varía

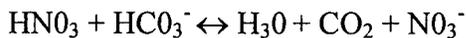
Fuente: (Alarcón, 1995c)

La neutralización de los bicarbonatos de una solución es una reacción química en la que se produce un cambio en las formas iónicas presentes en la solución, es decir:

Si adicionamos ácido nítrico a un agua que presenta bicarbonatos en disolución se



produce la siguiente reacción:



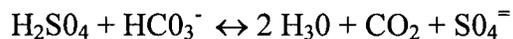
Este cambio de especies iónicas (desaparición de bicarbonatos y aparición de nitratos) presentes en , la disolución tiene un efecto sobre la conductividad eléctrica de la misma. Los nitratos tienen una mayor contribución sobre la conductividad que los bicarbonatos, debido fundamentalmente a su mayor movilidad. Por esto, la CE de la solución se verá incrementada, (pero no en la proporción esperada por la adición de ácido a un agua que no contuviera bicarbonatos), ya que hay que descontar a este incremento la CE debida a la desaparición de los iones bicarbonato neutralizados (Alarcón, 1995c).

En el caso del ácido fosfórico:



Los iones generados serían fosfato, que presentan una menor contribución a la CE de la disolución que los iones bicarbonato, lo que implica que tras la acidificación, la conductividad eléctrica de la disolución no solo no se incrementa sino que disminuye respecto de la inicial (Alarcón, 1995c).

La utilización de ácido sulfúrico:



Su carácter de ión divalente le hace actuar de forma diferente: Para bajas concentraciones de bicarbonatos se produce un ligero incremento de la CE de la solución (hasta 5 meq/l +60 $\mu\text{S}/\text{cm}$), mientras que para mayores concentraciones de bicarbonatos a neutralizar se produce un descenso de la CE de la solución (15 meq/l suponen -155 $\mu\text{S}/\text{cm}$).

Dada la peligrosidad potencial de los ácidos fertilizantes, no es recomendable preparar las soluciones de ferti-riego partiendo directamente de sus presentaciones concentradas. Lo más habitual es diluir el producto comercial antes de utilizarlo como fertilizante o acidificador de agua (Alarcón, 1995c).



Acidificación de las soluciones nutritivas

La mayoría de las aguas utilizadas para fertirriego presentan pH superiores a 7. Los valores de pH considerados como adecuados para la mayoría de los cultivos hortícolas suelen ser ligeramente ácidos. Los elementos nutritivos se encuentran disponibles en su mayoría a pH comprendido entre 5 y 6. Estas tres afirmaciones son de sobra conocidas y nos obligan a hacer el siguiente razonamiento: Puesto que al utilizar técnicas de fertirriego podemos modificar el pH del agua de riego, ¿porqué no acercamos a aquellos que son ideales para nuestro cultivo y ponen a su disposición la mayoría de los elementos nutritivos? De acuerdo con esta idea, las soluciones de fertirriego deberían aplicarse (salvo situaciones excepcionales) a aquellos valores de pH que representen un menor costo energético para la absorción de elementos nutritivos por el cultivo (Alarcón, 1995a).

pH>7: Problemas con la solubilidad de algunos fertilizantes. Es posible que precipiten algunos minerales. Dificultad para la absorción de Fe, P, Mn, B y Zn.

Medidas correctoras:

Bajar el pH en la solución de fertirriego 5.5.

Incrementar las concentraciones de NH_4^+ .

Incrementar la concentración de Fe.

pH< 5: Con valores de 4.5, daño en el sistema radical. Problemas con la absorción de Mg y Mo. Alta solubilidad del Mn que puede causar toxicidad.

Medidas correctoras:

Subir el pH en gotero hasta 6.0.

Disminuir NH_4^+ (Alarcón, 1995a).

Ventajas de la acidificación de las soluciones nutritivas

El ajuste del pH de la solución de fertirrigación proporciona dos ventajas importantes:

1. Proporciona el pH idóneo para maximizar la disponibilidad de los elementos nutritivos. En términos generales, el pH de la solución de fertirrigación debe ajustarse en torno a 5.5; este pH sufre posteriormente cambios debidos a reajustes de equilibrio con el CO_2 generado que lo sitúan entre 6.0 y 6.5 a la salida de los emisores. Sin embargo, este valor de pH debe de modificarse para conseguir el definido como óptimo para la especie que deseemos cultivar.

2. Previene o elimina las obturaciones y depósitos en redes de riego y de los emisores. Estas se producen fundamentalmente por tres causas filtrantes:

- Físicas (sólidos en suspensión).
- Químicas (formación de precipitados) Aguas de origen subterráneo.
- Biológicas (presencia en la solución de algas y bacterias) Aguas de origen o con una permanencia superficial prolongada.

La mayoría de las aguas utilizadas en la cuenca SUR y en el sudeste español, son de origen subterráneo, y la mayor parte de ellas presentan un elevado contenido en sales solubles. La solubilidad de cualquier sustancia en agua depende de las condiciones de temperatura, presión, pH, Potencial REDOX y de las concentraciones relativas de las otras sustancias que se encuentren en solución.

El CO₂ tiene una importancia fundamental en la disolución y precipitación de las sales disueltas en el agua. Bajo presión (como sucede en las aguas subterráneas) la concentración de CO₂ aumenta hasta formar ácido carbónico (H₂CO₃). Este ácido débil puede disolver fácilmente compuestos minerales como calizas y dolomitas formando bicarbonatos de Ca y Mg que son solubles en agua. Las obturaciones químicas resultan normalmente de la precipitación de estos carbonatos en combinación con los siguientes cationes: calcio, magnesio, hierro y manganeso. Estos son frecuentes en nuestras aguas, y a pH >7 presentan un alto riesgo de provocar precipitaciones. Particularmente comunes son las precipitaciones de carbonato cálcico en forma de calcita, que son mayores a medida que aumentan la temperatura y el pH (Alarcón, 1995a).

El riesgo de formación de precipitaciones químicas en los elementos del sistema de fertirrigación es elevado cuando:

- El pH del agua es superior a 7.5
- Los niveles de hierro y manganeso superan 1.5 ppm.

La inyección de ácidos minerales en el agua puede evitar o redissolver estos precipitados químicos y generar un ambiente hostil para la proliferación microbiana.



Por otro lado algunas de las sales minerales que se aportan como elementos nutritivos para el crecimiento de los cultivos pueden presentar también inconveniente desde el punto de vista químico al encontrarse en disolución. Las sales que presentan mayores problemas de precipitación son los fosfatos debido a la posibilidad de formación de fosfatos tricalcicos en forma de apatito, altamente insolubles y dependiente del pH de la disolución:

A $\text{pH} > 7$, la mayor parte de los fosfatos se encuentran como ión monohidrógenofosfato (HPO_4), que reacciona con el calcio formando CaHPO_4 , que es muy poco soluble en agua.

A $\text{pH} 6$, las mayor parte del P se encuentra como ión dihidrógenofosfato (H_2PO_4^-), que también se une al calcio formando $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$, que es un compuesto con una solubilidad mucho mayor que el anterior (Alarcón, 1995b).

Procedimiento para tratar agua con ácido

1. Calcular el volumen de la instalación.
2. Volumen de agua a tratar es el doble del volumen de la instalación.
3. Colocar la cantidad de ácido necesaria en el tanque de abonado.

$$\text{vol. de ácido (l)} = \frac{\text{vol. de agua a tratar (l)} \times \text{conc. deseada (\%)}}{\text{conc. del ácido usado (\%)}}$$

4. Comenzar la aplicación a baja presión.
5. Suspender el riego cuando haya pasado el volumen calculado en paso 2, durante 20 minutos.
6. Presurizar el sistema a alta presión (Alarcón, 1995a).

Importancia del pH para los cultivos

El pH es un valor variable entre 0 y 14 que indica la acidez o la alcalinidad de una solución. Y, además, se 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 (Alarcón, 1995b).



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.

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 disponibilidad 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), cuando el pH es muy ácido (Alarcón, 1995b).

En las condiciones agroclimáticas del Sureste español, con pH de suelos y aguas de riego cercano o superior 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 corregir estos estados carenciales de fósforo, hierro y manganeso (Alarcón, 1995b).

III. ESTADO ACTUAL DEL CONOCIMIENTO

Se señala, que el fósforo de suelos calcáreos de Arizona se encuentra como hidroxapatita, la cual es relativamente insoluble, potencialmente aprovechable. Se demostró que el H_2SO_4 incrementó el P aprovechable y por lo tanto el crecimiento de las plantas en suelos deficientes en P (Ryan y Stroehlein, 1973).

Posteriormente, aplicándose H_2SO_4 en el agua de riego para observar su efecto sobre el pH, Ca^{++} , HCO_3^- , H_2CO_3 y basada su evaluación sobre relaciones conocidas del equilibrio de carbonato, comparándose los resultados teóricos con los experimentales obtenidos de aguas con clase de salinidad C_2 , C_3 , C_4 y clases de alcalinidad S_1 y S_2 el nivel de ácido aplicado fue de 6.0 meq/litro. Los resultados indicaron que el análisis teórico puede ser útil en calcular la cantidad de ácido necesario para prevenir la precipitación de Ca y también para producir cambios en el pH y acerca de las especies iónicas sobre la adición de H_2SO_4 , dentro del rango probado (Miyamoto et al., 1975).

En estudios realizados en invernadero con lechuga en suelo calcáreo, se encontró que la aplicación de azufre y H_2SO_4 , aumentaron la disponibilidad de fósforo en el suelo y el desarrollo y concentración de fósforo en las plantas. El aumento de este elemento fue proporcional a los cambios en el pH (Clement, 1978).

Se asevera que el H_2SO_4 controla la precipitación de calcio y bicarbonatos provenientes del agua de irrigación, reduce los daños por sodio provenientes de agua de alta relación sodio/calcio y magnesio, causante de la destrucción de la estructura del suelo, reduce la volatilización del amoníaco anhidro o agua amoníaco hasta en un 50 % o más y recupera los suelos afectados por sodio (Stroehlein et al., 1978).

En otros estudios se establecieron experimentos con tomate, en suelos tratados con H_2SO_4 para reducir la capacidad buffer, en donde hubo respuestas significativas en rendimiento de materia seca. Y se aumentó significativamente el P soluble y la capacidad de abastecimiento de fósforo por el suelo.

Los resultados indican que el H_2SO_4 como producto de desecho de industrias, tiene un alto potencial como mejorador de suelos calcáreos deficientes en fósforo (Ryan y Stroehlein, 1979).

Al comparar diferentes mejoradores químicos en suelos calcáreos en Sinaloa, se encontró que aplicaciones de H_2SO_4 , azufre y yeso agrícola, en el agua de riego y el suelo, respectivamente, aumentaron el rendimiento de soya y la cantidad de fósforo aprovechable para el cultivo. Se indica que $600 \text{ l}\cdot\text{ha}^{-1}$ de H_2SO_4 incrementaron el rendimiento de soya y el contenido de sulfatos en las hojas (Mascareño, 1980; citado por Avalos, 1986).

Se evaluó las respuestas del cultivo de tomate en el Valle de Culiacán ante la aplicación de fertilización fosfórica, evaluando 13 tratamientos en combinación con los mejoradores de suelo (azufre y H_2SO_4 industrial), además de un testigo sin mejorador, y se encontró que el pH del suelo disminuyó conforme se incrementó la dosis del mejorador, con $526 \text{ l}\cdot\text{ha}^{-1}$ de H_2SO_4 el pH bajó de 7.5 a 6.5 en 30 días y con $600 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ de azufre en 60 días. El H_2SO_4 incrementó la disponibilidad del P mas que con azufre. Con aplicación de 526 l de ácido sulfúrico se logró aumentar la producción total de tomate de 0.6 a $1.5 \text{ ton}\cdot\text{ha}^{-1}$ (Avalos, 1986).

En otro estudio se evaluó el uso de soluciones fertilizantes acidificadas, que se aplicaron tanto en el agua de riego como al suelo. La investigación se desarrollo en invernadero y campo en la Universidad Autónoma de Chihuahua. En invernadero las macetas se trataron con tres niveles de H_2SO_4 , tres de $\text{FeSO}_4 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ (SF) y cinco frecuencias de aplicación (FA); el cultivo indicador fue sorgo. En campo se manejó la rotación trigo-sorgo durante tres años y se estudiaron las dosis de $15 \text{ l}\cdot\text{ha}^{-1}$ de AS, $20 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ de SF entre otros. La aplicación de SF con AS comercial corrigió la clorosis férrica en sorgo y la aplicación de $20 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ de SF con $15 \text{ l}\cdot\text{ha}^{-1}$ de AS industrial con FA fue el mejor tratamiento tanto a nivel invernadero como de campo y se obtuvieron las mejores producciones de sorgo y trigo. La metodología de aplicar al AS comercial en dosis bajas, solo y/o con Fe, Zn o Mn en el riego, puede ser usada en suelos calcáreos para corregir deficiencias, resultando más económico y eficiente (Lee, et al., 1998).

De acuerdo a las condiciones ambientales y manejo del cultivo y respuesta de chile pimiento morrón var. Júpiter con acolchado plástico y fertirrigación evaluado en el Centro de Investigación en Química Aplicada (CIQA), se tiene que:

- El uso de soluciones nutritivas y acidificación en el agua de riego, no influyó en los parámetros morfológicos de crecimiento, desarrollo y materia seca en el cultivo de pimiento morrón var. Júpiter.
- La acidificación de la solución nutritiva no mostró efectos positivos sobre aspectos fisiológicos de la planta, como en la fotosíntesis y la resistencia estomática.
- Las variables de rendimiento (numero de frutos, peso del fruto y rendimiento total) fueron superiores al aplicar ácido a la solución nutritiva; el mejor tratamiento con ácido fue la formula de 150-75-225; en el caso de los tratamientos con la formula de 300-150-450, nuevamente el tratamiento con aplicación de ácido fue superior.
- El rendimiento total en los tratamientos con ácido (150-75-225 y 300-225-450) fue de 43.6 y 38.7 $\text{ton}\cdot\text{ha}^{-1}$, respectivamente; mientras los tratamientos sin ácido (150-75-225 y 300-225-450) tuvieron un rendimiento promedio de 40.1 el primero y 33.4 $\text{ton}\cdot\text{ha}^{-1}$ para el segundo.
- Los tratamientos a los que se le aplicó ácido tuvieron pH promedio de 6.25 en comparación a los tratamientos sin ácido que se mantuvieron en 7.48 (Martínez, 2005).

Se llevó a cabo una práctica sobre la disminución del pH del agua de riego del Centro de Investigación en Química Aplicada (CIQA), utilizando tres tipos de ácidos: ácido sulfúrico, fosfórico y nítrico. La prueba se realizó en 10 litros de agua colectados del sistema de riego y se procedió a titular con el primer ácido hasta llegar hasta el pH deseado 3.5, este procedimiento se repitió para cada uno de los ácidos. Los resultados obtenidos muestran que para el ácido sulfúrico se necesitó de 2.7 ml para disminuir el pH de 7.24 a 3.48, para el ácido fosfórico se requirió 6.75 ml para llevar el pH de 7.0 a 3.5 y por ultimo para el ácido nítrico se aplicó 6.5 ml para bajar el pH de 7.33 a 3.49 en un volumen de 10 litros de agua.

Entonces si para disminuir el pH del agua en un volumen de 10 litros, se requiere para el caso del ácido sulfúrico 2.7 ml por lo tanto utilizando un volumen de 1000 litros (1 m^3) se requiere 270 ml de ácido sulfúrico. Para el ácido fosfórico utilizando un volumen igual a 1000 litros se requerirá 675 ml y para el ácido nítrico se necesita en los mismos 650 ml, aclarando que estos resultados son para el caso del agua del CIQA.

IV. ÁREAS DE OPORTUNIDAD (APLICACIONES)

Se puede decir que no solo a nivel nacional, sino a nivel mundial existen grandes posibilidades del uso de los ácidos en la producción de cultivos para mejorar la calidad del agua de riego para abastecer a los cultivos.

Con esta técnica, el productor tiene otras opciones para utilizar aguas con pH alto sin quedarse con el impedimento de que por ser aguas no aptas para sus cultivos no pueda utilizarlas, además de que el uso de ácido puede ser un aporte de fertilizante de acuerdo al ácido usado y un método para el tratamiento del sistemas de riego, ante las comunes obturaciones por precipitados de calcio y magnesio, ya que con la aplicación de ácidos podemos removerlos.

Es importante difundir esta técnica y promover el uso de ácidos a diferentes partes para hacer de la producción agrícola algo más eficiente, y capaz de satisfacer las exigencias de demanda del mercado nacional e internacional, además poniendo en práctica esta técnica se puede obtener alta calidad y rendimiento en los cultivos.

Su uso se debe realizar con los cuidados requeridos ya que se trata de materiales muy corrosivos, hay que tomar en cuenta que se debe aplicar el ácido al agua, nunca al revés por la reacción que desencadena el ácido.

Hay que considerar que el uso de ácido clorhídrico no es muy común en este tipo de práctica debido a que su concentración es muy alta e inestable, lo que podría traer serios problemas como corrosión en las líneas de conducción además de otros efectos al momento de utilizarlo.

Dentro del campo de la investigación, esta técnica va dirigida hacia los efectos de las plantas a la aplicación de agua de riego tratada con cualquier tipo de ácido, que esto es muy importante para conocer las respuestas fisiológicas.

V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

La recopilación de información de este trabajo nos permite concluir que:

Mediante la aplicación de ácidos al agua de riego se logra disminuir considerablemente el pH del agua por lo que es una gran ventaja para los cultivos, ya que así pueden asimilar mejor los nutrientes que van diluidos en el agua de riego, logrando así mayor rendimiento debido a que el ácido pone a disposición los nutrientes para las plantas y reduce la posibilidad de taponamientos en los sistemas de riego, lo que aumenta su eficiencia y la disponibilidad de agua hacia las plantas.

Otra ventaja del uso de ácidos es para la limpieza de sistemas de conducción debido a la obstrucción por la acumulación principalmente de precipitados de carbonatos de calcio y magnesio.

Es recomendable tomar en cuenta la concentración del ácido a usar, ya que todos los ácidos comerciales tienen diferente concentración y el mal uso de estos ácidos pueden conllevar a problemas muy drásticos que afectan la fisiología de las plantas.

VI. NOMENCLATURA

HCl	Ácido clorhídrico
H ₂ SO ₄	Ácido sulfúrico
H ₃ PO ₄	Ácido fosfórico
HNO ₃	Ácido nítrico
NH ₄	Amonio
B	Boro
HCO ₃	Bicarbonatos
CO ₃	Carbonatos
CaCO ₃	Carbonato de calcio
MgCO ₃	Carbonato de magnesio
CIC	Capacidad de intercambio catiónico
C.E.	Conductividad eléctrica
Ca	Calcio
Cl	Cloro
P	Fósforo
LPH	Litros por hora
Mg	Magnesio
NO ₃	Nitrato
N	Nitrógeno
ppm	Partes por millón
pH	Potencial de hidrógeno
K	Potasio
Na	Sodio
SO ₄	Sulfato

VII. REFERENCIAS

- Alarcón, V. A. 1995. a) Acidificación de soluciones nutritivas en fertirrigación. Dpto. Producción Agraria. Área Edafología y Química Agrícola. ETSIA. Universidad Politécnica de Cartagena.
- Alarcón, V. A. 1995. b) Concepto de pH e importancia en fertirrigación. Dpto. Producción Agraria. Área Edafología y Química Agrícola. ETSIA. Universidad Politécnica de Cartagena.
- Alarcón, V. A. 1995. c) Modificaciones de conductividad eléctrica en fertirrigación. Dpto. Producción Agraria. Área Edafología y Química Agrícola. ETSIA. Universidad Politécnica de Cartagena.
- Ávalos, M.J. 1986. Efecto del azufre y del ácido sulfúrico sobre la disponibilidad del fósforo y producción del tomate en el valle de Culiacán, Sinaloa. Tesis de maestría en ciencias en la especialidad de suelos. UAAAN, Saltillo, Coahuila, México. Pag. 23-25.
- Cadahia, L. C. 2005. Fertirrigación cultivos hortícolas, frutales y ornamentales. España.
- Clement, L. 1978. Sulphur increases availability of phosphorus in calcareous soils. Sulphur in Agriculture (a publication of the sulphur institute). Washington, U.S.A. Vol. 2, pp 9-12.
- Cotton, F. A., Wilkinson, G. 1981. Química inorgánica avanzada. U.S.A
- Cook, G. W. 1983. Fertilización para rendimientos máximos. Editorial continental México.
- Fesa-Enfersa. 1991. Fertilizantes sólidos y líquidos para fertirrigación en riego por goteo. Pag. 36-38.
- Forero, S. J. A. 2000. Riego por goteo y microaspersión para árboles, vides y cultivos anuales. Bogota, Colombia.

- Goldberg, D. 1976. Drip irrigation principles design and agriculture practices, Kfah Shmaryahu.
- Huheey, J. A., Keiter, E. A., Keiter, R. L. 2005. Química inorgánica. Principios de estructura y reactividad. Oxford, U.S.A.
- Lee, R.V, M., J. Beltrán F., J. N. Lerma, M. L. P. Licon T. 1998. Aplicación de ácido sulfúrico en el riego corrige la clorosis férrica de los cultivos en suelos calcáreos. Revista Terra volumen 16. Numero 2. Chapingo, México. Pag.149-161.
- Martínez, R. J. y García, L. M. 1993. Cultivos sin suelo: Hortalizas en clima mediterráneo. Ediciones de Horticultura S. L. España. Pag. 35.
- Martínez, S. M. 2005. Comparación de dos soluciones nutritivas con pH diferente en el rendimiento y calidad del fruto en pimiento morrón (*Capsicum annum L.*) var. Júpiter con acolchado plástico y fertirrigación. Tesis licenciatura. División de ingeniería. Departamento de riego y drenaje. UAAAN. México.
- Miyamoto, S., R.J. Prather, J.L. Stroehlein, 1975. Sulfuric acid for controlling calcite precipitation. Arizona Agricultural Experiment Station. Soil Science. Vol. 120. Tucson, Arizona, U.S.A. pp 264-271.
- Muñoz, R. J. de J. y J. Z. Castellanos. 2003. Manual de producción hortícola en invernadero. Impreso en talleres de: Impresos profesionales del centro S.A. de C.V.
- Pizarro, F. 1990. Riegos localizados de alta frecuencia goteo-microaspersión-exudación. Madrid, España.
- Rodríguez, D. E. 2004. Problemática en el manejo del fertirriego. Seminario internacional de fertirriego. Editores John Fabio Acuña C. Jorge Alberto Medina P. Miguel Guzmán, P. Víctor Julio Flores R. Colombia.

Rodríguez, L. J., Hernández, A. J. M., Pérez, R. A., González, H. J. F. 1992. Riego localizado. España.

Roman, C.M. 2002. Manual de fertirriego de SQM Chile. Pag. 38.

Ryan, J., J.L. Stroehlein. 1973. Use of sulfuric acid on phosphorus deficient Arizona soils. Progressive Agriculture in Arizona. College of Agricultura, University of Arizona. Vol. 25. No. 6. Tucson, Arizona, U.S.A. pp 11-13.

Ryan, J., J.L. Stroehlein. 1979. Sulfuric acid treatment of calcareous soils: Effects on phosphorus solubility, inorganic phosphorus form, and plant growth. Soil Science Society of America Journal. U.S.A. Vol. 43. pp. 731-735.

Stroehlein, J.L., S. Miyamoto, J. Ryan. 1978. Sulfuric acid for improving irrigation waters and reclaiming sodic soils. University of Arizona. Technical Bulletins. Tucson, Arizona, U.S.A. Vol. 78. pp. 5.

Urbano, T.P. 1991. Tratado de fitotecnia general. 2ª. Edición. Editorial Mundi-Prensa. España. Pag. 311-313.

Valadez, L.A. 2001. Producción de hortalizas. Editorial UTEACH. Segunda edición.

VIII. APÉNDICE

Fertilización

Tiene como objetivo primordial aportar los nutrimentos que son esenciales para los cultivos agrícolas, cuando el suelo no los provee en la cantidad adecuada y en el tiempo oportuno en que son demandados por las plantas.

Demanda nutrimental

Es la cantidad de elementos esenciales que necesita el cultivo para mantener sus funciones metabólicas en óptimas condiciones, indistintamente del medio donde crece la planta o el manejo que se practique en el sistema de producción.

Ácidos

Se denomina ácido a una sustancia que en solución desprende iones hidrógeno y por lo tanto causa que el pH de una solución sea menor de 7.0.

Nutrición mineral

Las plantas requieren de los nutrientes minerales para realizar sus procesos metabólicos y completar su ciclo de vida. Estas pueden tomar los nutrientes del suelo o a través de los sustratos utilizados en hidroponía.

Catión

Un catión es un ión (sea átomo o molécula) con carga eléctrica positiva, esto es, con defecto de electrones. Los cationes se describen con un estado de oxidación positivo.

Anión

Un anión es un ión (sea átomo o molécula) con carga eléctrica negativa, esto es, con exceso de electrones. Los aniones se describen con un estado de oxidación negativo.