



# Manual de Fertirriego

INCLUYE EJERCICIOS PARA LA NUTRICIÓN  
DE HORTALIZAS EN EL VALLE DE AZAPA

Pilar Carolina Mazuela Águila  
Fernando de La Riva Morales



Colección frutas y hortalizas  
Ediciones Universidad de Tarapacá  
2013





# Manual de Fertirriego

Incluye ejercicios para la nutrición de  
hortalizas en el valle de Azapa

PILAR CAROLINA MAZUELA ÁGUILA  
FERNANDO DE LA RIVA MORALES

Colección **frutas** y hortalizas

Departamento de Producción Agrícola,  
Universidad de Tarapacá

2013



Manual de Fertilización. Incluye ejercicios para la nutrición de hortalizas en el valle de Azapa  
© Universidad de Tarapacá, Arica, Chile  
Registro Propiedad Intelectual N° 230.919  
ISBN: 978-956-7021-36-9

Autores:  
Pilar Carolina Mazuela Águila  
Fernando de La Riva Morales

Colección **frutas** y hortalizas  
Facultad de Ciencias Agronómicas  
Universidad de Tarapacá  
Ediciones Universidad de Tarapacá  
2013

Diseño y maquetación: Andros, Santiago  
Imprenta: Andros, Santiago  
Tiraje: 500 ejemplares

La Universidad de Tarapacá no se responsabiliza de la información y opiniones contenidas en esta publicación, siendo responsabilidad exclusiva de los autores.

© Todos los derechos reservados. Queda prohibida la reproducción total o parcial de esta publicación, así como la edición de su contenido por medio de cualquier proceso reprográfico o fónico, electrónico o mecánico, especialmente imprenta, fotocopia, microfilm, offset o mimeógrafo, sin la previa autorización escrita del editor.

## Agradecimientos

Queremos agradecer al Gobierno Regional de Arica y Parinacota por la iniciativa de aportar recursos del Fondo de Innovación para la Competitividad (FIC) al CONICYT para el III Concurso Nacional Regionalizado de Proyectos de Investigación y Desarrollo FONDEF-R 2009–2010.

Agradecer al Intendente de la Región de Arica y Parinacota, Sr. José Durana Semir y a los exintendentes Sr. Rodolfo Barbosa Barrios y Sr. Luis Rocafull López por el apoyo que le han dado al desarrollo de la agricultura regional. Un especial agradecimiento al Seremi de Agricultura, Sr. Jorge Alache González, por las sugerencias que ha hecho para el desarrollo de este proyecto. También queremos agradecer al equipo del proyecto FONDEF-R D10R1026, verdaderos artífices en la generación de información que nos ha permitido conocer la forma como se fertiliza el cultivo de tomate en el valle de Azapa. Sin esta descripción no tendríamos puntos de comparación para evaluar la incidencia de la ejecución de este proyecto en el manejo del cultivo y, mucho menos, sugerir, a través de este Manual de Fertirriego, recomendaciones para la fertirrigación de los cultivos para las condiciones agronómicas del valle de Azapa. Todos los análisis se han realizado en el Laboratorio de Suelos y Aguas de la Facultad de Ciencias Agronómicas de la Universidad de Tarapacá.

LOS AUTORES



## Presentación

FONDEF de CONICYT tiene como objetivo fundamental contribuir al aumento de la competitividad de la economía nacional y al mejoramiento de la calidad de vida de los chilenos, promoviendo la vinculación entre organismos de investigación, empresas y otras entidades, en la realización de proyectos de investigación aplicada de interés para el sector productivo u orientados al interés público. El objetivo del Programa FONDEF Regional es contribuir al desarrollo científico, tecnológico y de innovación requerido por las regiones. Por lo tanto, en esa convocatoria, los objetivos específicos fueron:

- a) Aumentar la cantidad y calidad de la investigación y desarrollo, I+D, orientada a la innovación en áreas prioritarias o sectores productivos establecidos por cada región.
- b) Aumentar la vinculación de las instituciones de I+D con las empresas y otras entidades regionales desarrolladoras o demandantes de soluciones tecnológicas.
- c) Aumentar la vinculación de los organismos regionales de la investigación, desarrollo e innovación con otros actores nacionales y extranjeros, tanto instituciones de I+D como empresas y otras entidades del sistema de innovación.
- d) Aumentar las capacidades y competencias de las instituciones de I+D, empresas y otras entidades regionales para la formulación, gestión, ejecución y transferencia de los resultados de proyectos de investigación, desarrollo e innovación.

En este concurso, el Gobierno Regional de Arica y Parinacota definió como áreas prioritarias los sectores hídrico, minería y energías renovables. Los proyectos que postularon al Sector Hídrico de la Región requerían dar sustentabilidad a la economía regional, y en particular a aquellos sectores productivos en los que el recurso hídrico es fundamental, se debe realizar una gestión adecuada del recurso. Con ese objeto se requirió realizar una investigación sobre el uso óptimo del Recurso Hídrico en el Acuífero de Azapa. Los proyectos del sector minería de la región debían realizar una investigación, cuyo resultado principal fuera una propuesta de trabajo que diera sustentabilidad a la minería artesanal de la región, y en particular a aquella ubicada en los sectores precordilleranos de Caleta Vítor y Pampa Camarones. El sector energías renovables de la región solicitó realizar una investigación cuyo principal resultado fuera una propuesta de desarrollo de las alternativas más eficientes de uso de energías renovables en el sector productivo regional.

Este manual es un resultado del proyecto FONDEF-R D10R1026 “Desarrollo e implementación de un innovador paquete tecnológico para la producción de hortalizas que dé sustentabilidad al acuífero del río San José Región de Arica y Parinacota” cuyo objetivo fue mejorar la eficiencia en el uso del agua del valle de Azapa mediante el desarrollo de



una tecnología de producción de hortalizas en base a cultivos sin suelo y desarrollar un sistema de control y cuantificación de las emisiones de fertilizantes al medioambiente para dar sustentabilidad al acuífero del río San José. El resultado de este proyecto considera la publicación de tres manuales: Manual de riego, Manual de fertirriego y Manual para el paquete tecnológico en la producción de tomates.

Este proyecto se focalizó en la mejora en el proceso de producción de tomates debido a que es la hortaliza de mayor valor comercial en la región, tanto por la superficie cultivada, como en el valor económico de este producto por su comercialización durante el invierno cuando otras zonas del país no pueden producir debido a las bajas temperaturas que aumentan significativamente los costos de producción. En la región de Arica y Parinacota la producción de hortalizas, especialmente tomate, demanda mucha mano de obra durante el manejo del cultivo y, en poscosecha, para la selección, clasificación, embalaje y transporte del producto a los centros de consumo. Adicionalmente, genera el desarrollo de la industria anexa vinculada a estructuras de protección, insumos, desarrollo de nuevas semillas, materiales y técnicas de producción, así como nuevos diseños para cajas; logotipos; instrumentos de medición y control; técnicos que asesoren al productor y sistemas de transporte adecuados para que la hortaliza llegue en óptimas condiciones al resto del país.

Dra. PILAR CAROLINA MAZUELA ÁGUILA

## Prólogo

El gobierno del presidente Sebastián Piñera se ha planteado como prioridad promover el desarrollo e instauración de la producción limpia en todas las actividades económicas del país. No ha quedado ajeno a esto el sector agropecuario y forestal; en ese sentido el Ministerio de Agricultura, el gobierno regional y otras instituciones del Estado han decidido apoyar las iniciativas tendientes a conseguir esa meta, poniendo al servicio de los productores e instituciones los diferentes instrumentos en el ámbito de la investigación aplicada, la innovación, de incentivos y de fomento, con el objetivo de que se logre avanzar con la mayor velocidad posible en lograr ese objetivo. Por ello el Gore de Arica y Parinacota, en el marco del fondo de innovación para la competitividad (FIC-R), aprobó el financiamiento para la ejecución del proyecto “FONDEF-R D10R1026; Desarrollo e implementación de un innovador paquete tecnológico para la producción de hortalizas que dé sustentabilidad al acuífero del río San José Región de Arica y Parinacota” administrado por CONICYT y ejecutado por la Universidad de Tarapacá, que tiene como objetivo contribuir al desarrollo de la producción limpia.

Entre los compromisos del proyecto FONDEF-R D10R1026 se contempla establecer unidades productivas pilotos, mejorar el manejo agronómico en general y el uso del agua y fertilizantes en particular, transferencia y capacitación de los agricultores, profesionales y operarios que participan directamente en el proyecto y al sector productor en general, que se hará efectivo mediante jornadas de difusión, charlas, días de campo, giras tecnológicas, seminarios, como asimismo de la dictación de un diplomado de “Agricultura Sustentable”.

Del mismo modo como parte integrante de estos compromisos se ha confeccionado el presente manual, el cual tengo el agrado de presentar, que de manera sencilla adecúa la ciencia y tecnología a la realidad local dando cuenta del lenguaje universal de la fertirrigación, tendiente a la correcta aplicación de los fertilizantes y optimización del uso del recurso hídrico en el cultivo comercial del tomate, que sin embargo al provocar la familiarización de los involucrados con los conceptos, su aplicación se hará extensiva también a las otras especies de importancia comercial en la agricultura regional. Por tal motivo este manual se constituirá en una herramienta de gran utilidad tanto para los profesionales asesores como para estudiantes y también para los agricultores, que con mucho interés en estos últimos años vienen incorporando de forma progresiva técnicas y medidas conducentes a la obtención de productos inocuos, conscientes que de esta manera pueden mejorar la competitividad del sector y de paso mejorar sus ingresos,

proteger el ambiente y la salud de las personas, constituyéndose de esta forma en actores claves de una agricultura sustentable.

JORGE ANDRÉS ALACHE GONZÁLEZ  
Ingeniero Agrónomo M. Sc.  
Secretario Regional Ministerial de Agricultura  
Región de Arica y Parinacota

# Índice

## ÍNDICE DE CONTENIDOS

I.	Fertilización para las condiciones de suelo y agua del valle de Azapa.....	15
II.	Aspectos a considerar para la nutrición de las plantas .....	21
III.	La disolución nutritiva .....	29
IV.	Manejo del fertirriego según los objetivos de producción .....	33
V.	Cálculo de la disolución nutritiva, sin considerar el agua de riego	37
VI.	Cálculo de la disolución nutritiva, considerando el aporte del agua de riego.....	39
VII.	Cálculo de la disolución nutritiva, considerando agua de pozo de la parte baja del valle de Azapa.....	43
VIII.	Formas de expresar la concentración de sales y sus equivalencias	47
IX.	Glosario .....	49
X.	Referencias.....	57

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1</b>	Superficie (ha), total nacional y regional; rendimiento ( $\text{kg m}^{-2}$ ), media nacional y media regional, según especie .....	16
<b>Tabla 2</b>	Nutrientes esenciales para el crecimiento vegetal.....	19
<b>Tabla 3</b>	Composición media del agua de riego en el valle de Azapa .....	22
<b>Tabla 4</b>	Niveles de referencia para la disolución nutritiva para las principales hortalizas que se cultivan en el valle de Azapa, según autor.....	30
<b>Tabla 5</b>	Densidad y riqueza de los ácidos comerciales más usados en agricultura.....	30

<b>Tabla 6</b>	Pesos atómicos (Pa), moleculares o iónicos (Pm) para los diferentes iones presentes en las aguas de riego y fertilizantes más frecuentes en agricultura, así como su peso equivalente (Pe) en función de la valencia (v).....	31
<b>Tabla 7</b>	Lista de los fertilizantes comerciales más usados para el aporte de los micronutrientes a la disolución nutritiva, su riqueza (R), peso molecular (Pm), densidad (D, $g\ cm^{-3}$ ), el pH de máxima estabilidad para la molécula quelante (m) e intervalo de pH al que es estable (ie) en el pH. Así como algunos productos que suministran la combinación de micronutrientes más o menos.....	32
<b>Tabla 8</b>	Equilibrio de los macronutrientes en una disolución nutritiva universal para cultivos que crecen en ella. Proporción expresada en equivalente.....	34
<b>Tabla 9</b>	Relación de kg y L por $m^3$ de fertilizante en una disolución madre 100 veces concentrada para obtener una concentración final de $1\ me\ L^{-1}$ de cada ion.....	35
<b>Tabla 10</b>	Disolución nutritiva de Sonneveld (1980) para un cultivo de tomates según Tabla 4.....	37
<b>Tabla 11</b>	Transformación de unidad de los nutrientes a aportar.....	37
<b>Tabla 12</b>	Aporte de nutrientes a través de los fertilizantes.....	37
<b>Tabla 13</b>	Composición química del agua de riego (en $me\ L^{-1}$ ).....	39
<b>Tabla 14</b>	Disolución nutritiva deseada expresado en $mmol\ L^{-1}$ .....	39
<b>Tabla 15</b>	Transformación de unidad de los nutrientes a aportar, según valencia.....	40
<b>Tabla 16</b>	Disolución nutritiva deseada (DNd), considerando el agua de riego (Ar) y el aporte nutritivo que se debe hacer a través de los fertilizantes (DNfz).....	40
<b>Tabla 17</b>	Aporte de nutrientes a través de los fertilizantes.....	40
<b>Tabla 18</b>	Disolución nutritiva final (DNf), considerando el agua de riego (Ar) y el aporte nutritivo a través de los fertilizantes (DNfz).....	41
<b>Tabla 19</b>	Composición química del agua de riego (en $mmol\ L^{-1}$ ).....	43
<b>Tabla 20</b>	Disolución nutritiva para un cultivo de tomate, de acuerdo con García y Urrestarazu, 1999, de Tabla 4.....	43
<b>Tabla 21</b>	Disolución nutritiva deseada (DNd), considerando el agua de riego (Ar) y el aporte nutritivo que se debe hacer a través de los fertilizantes (DNfz).....	44

<b>Tabla 22</b>	Transformación de unidad de los nutrientes a aportar, según valencia.....	44
<b>Tabla 23</b>	Aporte final de nutrientes a través de los fertilizantes.....	44
<b>Tabla 24</b>	Disolución nutritiva final (DNf), considerando el agua de riego (Ar) y el aporte nutritivo a través de los fertilizantes (DNfz) .....	45
<b>Tabla 25</b>	Factores de conversión entre diferentes parámetros y unidades de concentración y conductividad eléctrica (CE) .....	47

### ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1</b>	Fotosíntesis donde las plantas transforman la energía en biomasa.	18
<b>Figura 2</b>	pH disponibilidad de los nutrientes .....	24
<b>Figura 3</b>	Concentración de fertilizantes en el agua de riego.....	26
<b>Figura 4</b>	Infraestructura básica de un sistema de fertirrigación.....	34
<b>Figura 5</b>	Infraestructura de un sistema de fertirrigación para una disolución nutritiva 100 veces concentrada .....	35



## I. Fertilización para las condiciones de suelo y agua del valle de Azapa

El desarrollo de las plantas y el nivel de producción están regulados por las condiciones ambientales y la disponibilidad de agua y nutrientes. A contar de la revolución verde, durante la segunda mitad del siglo pasado, los rendimientos medios mundiales se incrementaron significativamente gracias a los siguientes factores:

- Nuevas variedades
- Mayor protección fitosanitaria
- Incorporación de nuevos sistemas de riego
- Nuevas técnicas de cultivo
- Utilización de fertilizantes

En la agricultura tradicional, el suelo es la principal fuente de nutrientes. Sin embargo, con la masificación de los híbridos de hortalizas, de gran potencial productivo, es fundamental el uso de fertilizantes para llegar a los rendimientos esperados.

### **Producción sustentable**

Ya hacia fines de la década de los 90, en los países desarrollados se definió la necesidad de disponer de una agricultura sostenible. Esto quiere decir sistemas y prácticas que satisfagan las necesidades presentes y que no comprometan la capacidad de las generaciones futuras para atender sus necesidades. Así, los sistemas hortícolas intensivos han pasado de ser un sistema que busca mayor producción a uno que busca calidad, principalmente porque valoran aspectos vinculados a la inocuidad de los alimentos; la salud de los productores en el manejo de los cultivos; la salud de los consumidores, especialmente vinculado a las propiedades nutraceuticas de las hortalizas y el cuidado del medioambiente. Las características de estos sistemas de producción se basan en las Buenas Prácticas Agrícolas vinculadas a:

1. Rotación de cultivos para el control de plagas y enfermedades
2. Preparación de suelos para el control de malezas y plagas
3. Uso de enmiendas orgánicas
4. Utilización de productos biodegradables
5. Fertilización racional considerando el tipo de cultivo, estado fenológico y nivel de producción
6. Control de las emisiones al medioambiente
7. Manejo del contenido nutricional de las hortalizas.



Por lo tanto, permite la sustentabilidad de la producción.

Hoy no se entiende un cultivo y su producción desligado de las consideraciones medioambientales y sus efectos sobre la salud de consumidores y productores. Es común utilizar una serie de términos descriptivos o indicativos de una normativa o “etiqueta” que regula los procesos de producción y comercialización. Algunos ejemplos de estos términos cada vez más familiares para el horticultor que quiere ser competitivo tenemos: cultivo ecológico, cultivo biológico, agricultura sostenible, sustentable, agricultura no contaminante y amigable con el medioambiente, producción controlada, producción integrada, etcétera. Todos tienen de común un intento de racionalizar la producción con mayor o menor grado de exigencia y limitaciones en el sistema productivo.

### Producción de hortalizas en el valle de Azapa

En la región de Arica y Parinacota, la hortaliza con mayor superficie cultivada es el tomate para consumo fresco que supera las 840 ha; le siguen el poroto verde y pimiento con 171 y 138 ha, respectivamente (INE, 2008). Los rendimientos medios superan significativamente las medias nacionales, alcanzando medias de 113 t ha<sup>-1</sup> en tomate; 46,5 t ha<sup>-1</sup> en pimiento y 9,8 t ha<sup>-1</sup> en poroto verde respecto de la media nacional de 71; 37 y 8,4 t ha<sup>-1</sup>, respectivamente (INE, 2010). En la Tabla 1 se observan las medias nacionales para el cultivo de tomate, pimiento y porotos verdes.

Tabla 1. Superficie (ha), total nacional y regional; rendimiento (kg m<sup>-2</sup>), media nacional y media regional, según especie. Sin información (s.i.).

Región	Tomate		Pimiento		Poroto verde		Pepino ensalada	
	<sup>1</sup> ha	<sup>2</sup> kg m <sup>-2</sup>	<sup>1</sup> ha	<sup>2</sup> kg m <sup>-2</sup>	<sup>1</sup> ha	<sup>2</sup> kg m <sup>-2</sup>	<sup>1</sup> ha	<sup>2</sup> kg m <sup>-2</sup>
Nacional	6309	7,11	1567	3,70	2838	0,84	468	s.i.
XV	840	11,29	138	4,65	175	0,98	37	s.i.
III	212	6,16	22	4,25	149	0,72	0	s.i.
IV	358	3,08	601	3,25	820	0,85	78	s.i.
V	1179	9,44	127	3,50	181	0,70	54	s.i.
VI	1062	5,87	333	4,22	75	0,72	9	s.i.
VII	938	6,89	116	4,59	272	1,15	122	s.i.
VIII	467	4,97	1	3,30	162	0,78	34	s.i.
RM	1080	6,19	227	2,93	812	0,78	128	s.i.

Fuente: <sup>1</sup>INE, 2008, <sup>2</sup>INE, 2010.

Los agricultores del valle de Azapa han visto que con la instalación de las semilleras el costo de la tierra agrícola se ha cuadruplicado, lo que obliga a mejorar los sistemas productivos para hacer sostenible esta actividad. Las mediciones de campo que se han realizado a lo largo de todo el valle de Azapa por los agrónomos de la Universidad de

Tarapacá demuestran que la fertilización de hortalizas es una de las prácticas culturales que más afectan la sustentabilidad económica y medioambiental del productor. Desde el punto de vista económico, todos los fertilizantes que el agricultor aplica en su cultivo y no son aprovechados por la planta “genera una pérdida económica”, pues el productor incurre en un gasto innecesario con el consiguiente aumento en los costos de producción que inciden en la rentabilidad final de su cultivo. Desde el punto de vista medioambiental, la forma como se fertiliza en el valle de Azapa incide en la salinización de los suelos y afecta la calidad del agua del acuífero al lixiviar las sales. Cabe recordar que el acuífero del río San José, no solo es utilizado en agricultura, también es fuente de agua potable para toda la ciudad de Arica. Por lo tanto, una fertilización inadecuada afecta los costos de producción del cultivo, la sustentabilidad de la agricultura y la calidad del agua potable que se consume en Arica.

### **El clima**

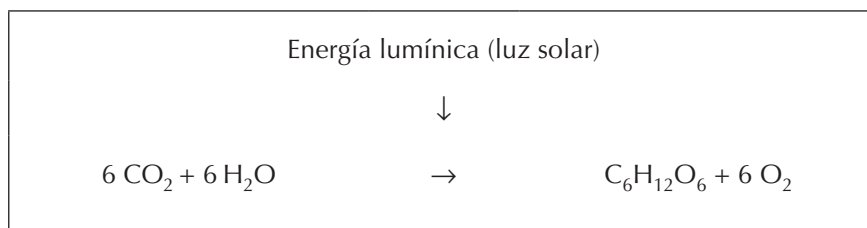
La región de Arica y Parinacota presenta condiciones climáticas excepcionales para el cultivo de hortalizas durante todo el año, siendo el principal proveedor de hortalizas de la zona central durante el invierno (Saavedra y Tapia, 2009). Predominan las condiciones de clima de desierto costero con nubosidad abundante, ausencia de heladas, vientos moderados, con alta humedad relativa y alta radiación solar directa, durante todo el año. La temperatura media anual es de 18 °C, las máximas medias anuales de 23,6 °C y mínimas de 13,8 °C (Torres y Acevedo, 2008). Pese al clima benigno, que permite la producción de hortalizas durante todo el año, para los agricultores no es atractivo producir durante el verano principalmente por el menor precio que obtienen al aumentar la oferta por la concentración de producción durante el verano de las zonas productoras de hortalizas desde la región de Coquimbo al Maule. Esta mayor oferta desde los centros productivos más próximos a la zona central se suma al mayor costo de transporte de los productos de la comuna de Arica hacia los centros de consumo del país. Sin embargo, hay una tendencia a mejorar los procesos de producción especialmente en los sistemas de protección de cultivos y mayor tecnología de riego que permitan mantener las plantas en buenas condiciones y se estima que en el valle de Azapa ya existen cerca de 500 hectáreas de cultivo bajo protección. Los sistemas de cultivo bajo malla disminuyen el uso de pesticidas, permiten la utilización de abejorros para la polinización y mantienen el cultivo en óptimas condiciones con lo que aumenta el calendario comercial de los cultivos al comercializar la producción en regiones cercanas de gran poder adquisitivo como las ciudades de Iquique, Calama y Antofagasta.

### **El agua y dióxido de carbono como aporte de C-H-O a la planta**

Uno de los fundamentos para fertilizar es dotar a la planta de los nutrientes que necesita cuando no sea posible que esta los obtenga desde el suelo (y sus enmiendas) o

desde el agua. Por esto, una de las prácticas más importantes que debe hacer el agricultor es tener un registro con los análisis de suelo y agua de cada año de cultivo. Junto con estos análisis debe haber registro de las aplicaciones de fertilizantes y la dosis, según fuente, época y forma de aplicación. Es necesario recordar que las plantas son organismos autótrofos que, a partir de elementos inorgánicos, son capaces de producir sus propios alimentos. Los factores de crecimiento de una planta son: luz, temperatura, humedad relativa, agua, dióxido de carbono, macroelementos (nitrógeno, fósforo, potasio, calcio, azufre y magnesio) y microelementos (cobre, manganeso, cinc, hierro, cloro, boro y molibdeno). En total, una planta requiere de 16 elementos esenciales para su crecimiento y desarrollo. Las características de los elementos esenciales en la planta son: a) su déficit produce un desarrollo incompleto en la planta; b) es insustituible y c) cumple una función específica (funcional o metabólica). El elemento es considerado esencial si ocurre en un amplio espectro de plantas. Estos elementos pueden estar en “deficiencia”, cuando están disponibles en cantidad insuficiente, o en “carencia”, cuando están en ninguna cantidad. Los elementos requeridos en mayor proporción son el carbono (C), oxígeno (O) e hidrógeno que la planta obtiene del agua (H<sub>2</sub>O) y del dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) que luego transforma en biomasa durante el proceso de fotosíntesis, tal como se aprecia en la Figura 1:

Figura 1. Fotosíntesis donde las plantas transforman la energía en biomasa.



Estos tres elementos (C-H-O) generan el 96% de la biomasa de las plantas y podemos observar que el oxígeno se obtiene tanto del agua como del aire. Es importante destacar esto, pues numerosas investigaciones han demostrado que las plantas en condiciones de hipoxia responden positivamente a la aplicación de oxígeno. Las condiciones de falta de oxígeno disponible en las raíces de la planta pueden deberse a: a) suelos delgados; b) suelos con mal drenaje y c) temperaturas superiores a 22 °C en las raíces. Esto se puede solucionar con una buena preparación de suelos y controlando la temperatura del agua de riego. Algunas hortalizas como el pimiento responden positivamente a la aplicación de oxigenantes aumentando significativamente su rendimiento (Urrestarazu y Mazuela, 2005).

Los elementos considerados esenciales para el crecimiento y desarrollo de las plantas puede ser clasificado de diferentes formas. En la Tabla 2 se clasifican los elementos

esenciales y la forma de absorción, en macro y micronutrientes y en metales y no metales. En esta tabla, Bennet (1993) incluye otros microelementos como silicio, sodio, cobalto y vanadio entre los microelementos esenciales.

Tabla 2. Nutrientes esenciales para el crecimiento vegetal<sup>1</sup>.

Elemento	Metal – No metal <sup>2</sup>	Símbolo químico	Forma (s) de absorción
<b>Macroelementos</b>			
Carbono		C	CO <sub>2</sub>
Hidrógeno		H	H <sub>2</sub> O
Oxígeno		O	H <sub>2</sub> O, O <sub>2</sub>
Nitrógeno	No metal	N	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> , NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>
Fósforo	No metal	P	H <sub>2</sub> PO <sub>4</sub> <sup>-</sup> , HPO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>
Potasio	Metal	K	K <sup>+</sup>
Calcio	Metal	Ca	Ca <sup>2+</sup>
Magnesio	Metal	Mg	Mg <sup>2+</sup>
Azufre	No metal	S	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>
<b>Microelementos</b>			
Hierro	Metal	Fe	Fe <sup>2+</sup> , Fe <sup>3+</sup>
Cinc	Metal	Zn	Zn <sup>2+</sup> , Zn(OH) <sub>2</sub>
Manganeso	Metal	Mn	Mn <sup>2+</sup>
Cobre	Metal	Cu	Cu <sup>2+</sup>
Boro	No metal	B	B(OH) <sub>3</sub>
Molibdeno	Metal	Mo	MoO <sub>4</sub> <sup>=</sup>
Cloro	No metal	Cl	Cl <sup>-</sup>
Silicio	No metal	Si	Cl <sup>-</sup>
Sodio	Metal	Na	Si(OH) <sub>4</sub>
Cobalto	Metal	Co	Na <sup>+</sup>
Vanadio	Metal	V	Co <sup>2+</sup>

Fuente: <sup>1</sup>Bennet, 1993, <sup>2</sup>Sánchez, 2004.

Sánchez (2004) clasifica a los nutrientes esenciales en función del papel que estos desempeñen:

- Componentes de compuestos orgánicos o inorgánicos: N, S, P, Ca, B, Fe y Mg.
- Activador, cofactor o grupo prostético de sistemas enzimáticos: K, Mg, Ca, Fe, Zn, Mn, Cu, Mo, Na y Cl.
- Transportador de cargas en reacciones de óxido-reducción: P, S, Fe, Mn, Cu y Mo.
- Osmorregulador del equilibrio electroquímico de las células: K, Na y Cl.



## II. Aspectos a considerar para la nutrición de las plantas

Tal como se explicó anteriormente, siempre es recomendable hacer análisis de suelo y agua al inicio del cultivo para recomendar el programa de fertilización inicial del cultivo en base a los elementos que se encuentran en deficiencia y en carencia. La aplicación de fertilizantes y la dosis, según fuente, época y forma de aplicación son parte del manejo cultural y dependen del cultivo, estado fenológico, condiciones ambientales y objetivos de producción. Es muy importante llevar registros de las aplicaciones para un mejor control del cultivo.

### Fertirriego

Se entiende como fertirriego a la aplicación de los nutrientes que necesita la planta junto con el agua de riego. El primer objetivo del fertirriego es poner a disposición de la planta el agua y los nutrientes necesarios para su crecimiento y desarrollo, por lo tanto, se debe ajustar en función del cultivo, época del año, estado de desarrollo de la planta y el objetivo de producción. Para el correcto manejo del fertirriego es fundamental conocer las características del agua y puede definirse en relación con el manejo del cultivo como dotar a la planta del agua necesaria para la absorción y transporte de nutrientes, disminuir la salinidad de la rizosfera y equilibrar el balance de nutrientes que permita manejar la floración y/o la maduración de los frutos. Además, permite bajar la temperatura del suelo y oxigenar las raíces, es decir, cumplir los denominados objetivos del riego o fertirriego (Salas y Urrestarazu, 2001). Es sabido que las plantas no absorben ni la misma cantidad de cada ion por las raíces ni necesariamente la misma cantidad de sales en conjunto con relación proporcional al agua, siendo en general mayor la de esta última. A la cantidad de iones nutrientes y agua absorbida por las raíces de la planta se conoce como concentración de absorción (Sonneveld, 2004). Cuanto mayor es la conductividad del agua de riego mayor será la proporción de volumen de lavado con el que se ha de trabajar para mantener el óptimo en cuanto a las condiciones nutritivas de la planta en su rizosfera. Estas condiciones clásicas de la nutrición mineral de las plantas en realidad son poco dependientes del suelo, es por ello que las recomendaciones en general se hacen para la disolución nutritiva óptima para cada planta, y en su caso el estado de desarrollo fenológico, y no específicamente para el suelo. Sin embargo, el suelo puede llegar a tener un papel importante y debemos considerar este hecho a la hora del manejo del fertirriego oportuno, citaremos algunos ejemplos: 1) no es indiferente si tiene o no una alta capacidad de intercambio catiónico, ya que si la tiene esta ejercerá un papel activo en la interacción con la disolución nutritiva que aportemos haciéndola

variar, 2) las enmiendas pueden aportar cierta cantidad de nutrientes como es el caso del compost que puede suministrar una importante cantidad de amonio y sulfatos, 3) cuando el suelo presenta de por sí una alta salinidad, 4) cuando no presenta un adecuado pH y 5) cuando las enmiendas aplicadas al suelo tengan actividad microbiana y se produzca el secuestro nitrógeno en el material. Entre los controles quincenales o mensuales se debe realizar un análisis químico completo de los nutrientes, con este comprobamos si los niveles se ajustan a la disolución tipo.

### Conductividad eléctrica del agua y la disolución nutritiva

Según indica Adams (2004), la conductividad eléctrica (CE) de la disolución nutritiva es una medida de la concentración total de las sales disueltas y es a menudo referida como la salinidad. Aunque es fácil de medir, la CE no entrega información acerca de las concentraciones de los nutrientes presentes en forma individual. No obstante ello, se utiliza ampliamente para seguir el estado de los nutrientes totales de los suelos y disoluciones.

El control de la CE del agua y la disolución nutritiva es muy importante en el manejo del fertirriego, pues indica la concentración de sales que estamos aportando al cultivo. En general, y bajo las condiciones ambientales de los cultivos protegidos del valle de Azapa, la conductividad eléctrica del agua de riego varía desde  $0,72 \text{ dS m}^{-1}$  (del canal Lauca) hasta  $2,52 \text{ dS m}^{-1}$  en agua de pozo de la parte baja del valle. Esta variación en la conductividad eléctrica a lo largo del valle de Azapa, con una menor concentración de sales en la parte alta del valle, es el resultado de la actividad agrícola, lavados de suelos y sobre fertilización que se lixivia en el suelo hasta concentrar las sales en la parte más próxima a la ciudad de Arica. Para un buen manejo del fertirriego, no sólo es importante la CE del agua de riego, sino, además, es importante conocer la composición química del agua de riego. En general, el agua de Azapa tiene una alta concentración de sodio, cloruros, calcio y sulfatos y es pobre en fosfatos, nitratos y potasio, según se observa en la Tabla 3.

Tabla 3. Composición media del agua de riego en el valle de Azapa.

	pH	CE (mmol L <sup>-1</sup> )								
		(dS m <sup>-1</sup> )	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Cl <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>
Canal Lauca km 4	8,16	0,74	3,20	0,16	1,86	1,12	2,26	0,78	3,20	0,19
Canal Lauca km 10	8,25	0,72	3,60	0,18	2,02	1,02	2,22	0,82	3,05	0,12
Agua de pozo km 20	7,57	1,86	2,80	0,42	9,60	2,60	6,00	1,03	4,22	0,14
Agua de pozo km 13	6,90	2,52	1,16	0,04	16,30	2,94	9,00	1,16	4,30	0,24

Fuente: Laboratorio de Química, Universidad de Tarapacá, 2013.

### **Manejo de la CE bajo condiciones de agua salinas**

En general, se recomienda que la CE de la disolución nutritiva sea entre 1,7 y 2,5 dS m<sup>-1</sup>, dependiendo de la CE del agua de riego. En términos prácticos, significa que, si se fertirriega con agua del canal Lauca con 0,8 dS m<sup>-1</sup>, puede agregarse hasta 0,9 dS m<sup>-1</sup> de fertilizantes para llegar a una concentración de 1,7 dS m<sup>-1</sup>. Esto trae el inconveniente que si partimos con agua de alta concentración inicial en sales, queda poco margen para dotar a la planta con los nutrientes esenciales que necesita y que no es aportado por el agua. En este caso, no queda más alternativa que aumentar la CE de la consigna de fertirriego hasta 3,5 dS m<sup>-1</sup>. En el ejemplo de agua con CE de 2,52 dS m<sup>-1</sup> podía agregarse hasta 1 dS m<sup>-1</sup> de la disolución nutritiva para asegurarnos que el cultivo está siendo fertilizado según sus requerimientos. En este caso, el agricultor debe considerar que una alta concentración de sales desde el inicio del cultivo genera un envejecimiento prematuro de la planta que se manifiesta en el vigor de la planta y la merma en producción.

En estos casos, cuando se tiene agua con alto contenido de sales, la primera recomendación es seleccionar un cultivo que sea tolerante a la salinidad, como es el caso de los tomates. Dentro de una misma especie, es importante elegir cultivares o híbridos tolerantes a la salinidad. Independientemente de la calidad del agua, siempre se recomienda aplicar al cultivo los nutrientes que están faltando, de otra manera la planta no llegará al nivel de producción esperada. En el caso del tomate, y otras plantas de frutos, si bien es cierto las sales disminuyen la producción, esto se ve compensado con una mayor calidad de frutos, al tener mayor dulzor que se expresa en los sólidos solubles totales y se mide en grados Brix. Entre las prácticas culturales que se recomiendan es hacer un fertirriego de lavado, con mayor frecuencia en los casos con consignas de CE altos. Este riego debe ser con disolución nutritiva, no con agua, para asegurar el equilibrio de nutrientes en la zona donde crecen las raíces.

### **Temperatura**

La temperatura ambiental es un factor a considerar durante el manejo del fertirriego y se recomienda que los cultivos de verano sean regados con una conductividad eléctrica menor que cultivos de invierno. Esto se debe a que, durante el verano, el aumento de la temperatura ambiental induce a una mayor transpiración de la planta. Cuando los frutos están madurando y se quiere privilegiar la calidad, el agricultor o técnico tiende a aumentar la conductividad eléctrica. Esto se puede hacer, disminuyendo los riegos o aumentando la conductividad eléctrica de consigna en el fertirriego. Esto es una práctica común en horticultura, aunque tiene que tomarse en cuenta que con esta práctica se castiga la producción futura.

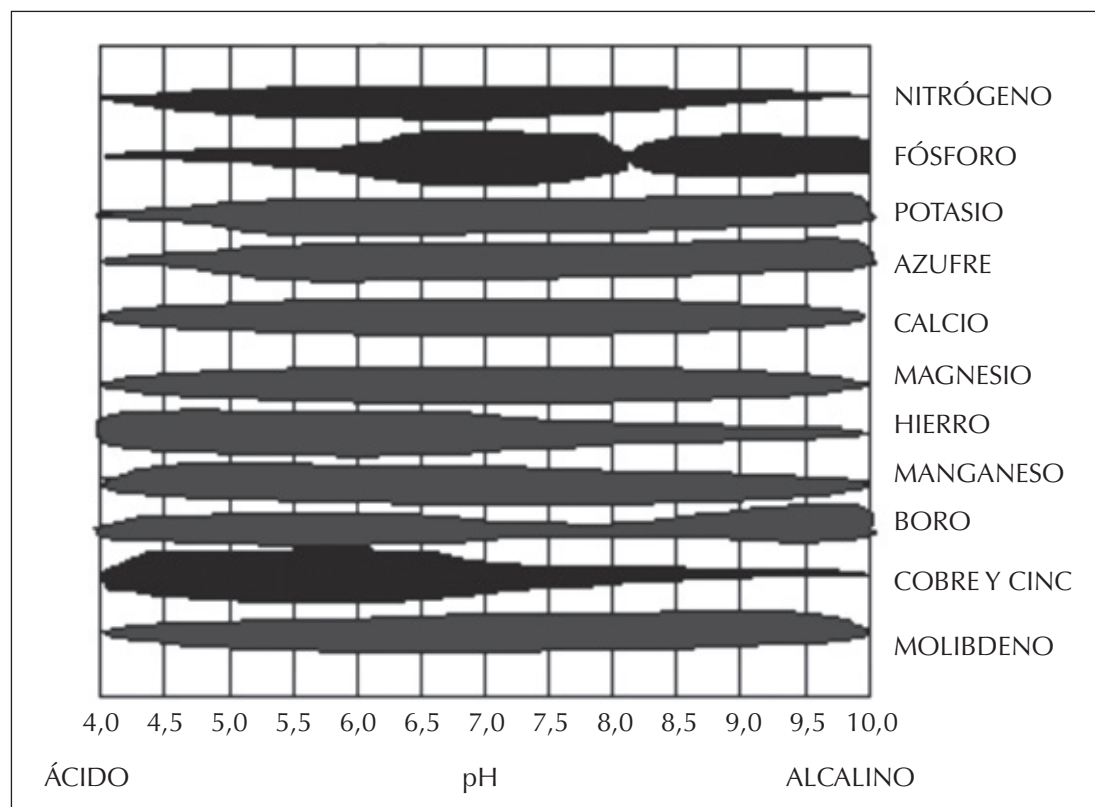
### **pH**

Es muy importante mantener el control del pH en el fertirriego durante todo el cultivo, ya que de este dependerá la disponibilidad de los nutrientes para el cultivo, siendo el



óptimo para la solubilidad de la mayoría de los elementos un pH entre 5,5 y 6,5 (Figura 2). El pH de la disolución nutritiva depende de la especie cultivada. Vega *et al.* (2004) recomienda el pH y CE para las principales hortalizas cultivadas: tomate, pH 6 y CE 1,8 a 3,2  $\text{dSm}^{-1}$ ; pimiento pH 5,8 y CE 1 a 1,8  $\text{dSm}^{-1}$ ; pepino pH 5,5 y CE 1,5 a 2,6  $\text{dSm}^{-1}$ ; poroto verde pH 5,8 y CE 1,5 a 2,2  $\text{dSm}^{-1}$  y melón, pH 5,5 y CE 1,8 a 2,8  $\text{dSm}^{-1}$ . Cuando se trabaja con cultivos aprovechables por los frutos como tomate, melón, pimiento, etcétera, se debe mantener en el nivel superior e incluso eliminar la adición de ácido si la rizosfera supera este nivel. Se debe considerar esta observación sobre todo en la época de plena maduración y alta irradiación. La explicación fisiológica es que en la época de desarrollo-maduración de los frutos predomina la absorción de  $\text{K}^+$  (el catión absorbido mayoritariamente) sobre el anión mayoritario  $\text{NO}_3^-$ , consecuentemente el pH de los drenajes tiende a bajar respecto del de la disolución nutritiva de entrada. La variación de pH de la rizosfera depende de tres factores básicos a considerar: 1) la composición de disolución de fertilizantes empleada 2) el agua de riego utilizada, su composición y, sobre todo, la presencia de iones bicarbonatos; y 3) el tipo de ácido que se utilice para bajar el pH de la disolución final.

Figura 2. pH disponibilidad de los nutrientes.



Fuente: Trough, 1951.

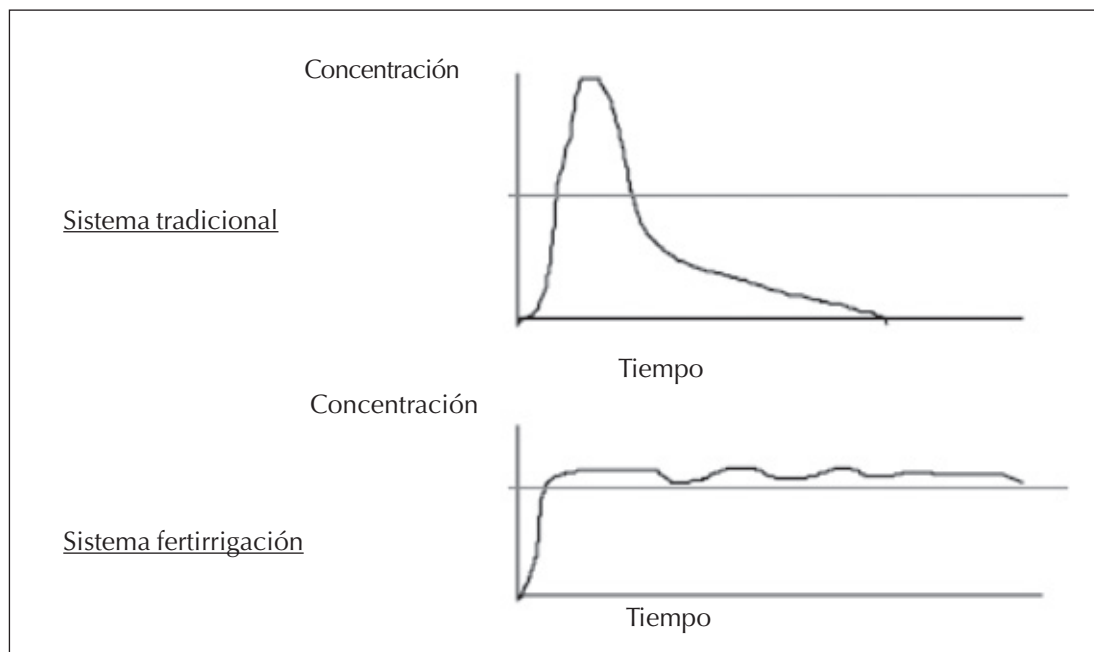
Hay varias formas de lograr este objetivo siendo los más frecuentes la incorporación de un tanque con ácido para regular el pH. Para las condiciones del valle de Azapa, con pH en torno a 6,8 a 8,3 y atendiendo los requerimientos del cultivo, se recomienda que la acidificación se haga con ácido nítrico o ácido fosfórico, según la cantidad de bicarbonatos a neutralizar. Esto, debido a que tanto los nitratos como los fosfatos son elementos esenciales para el desarrollo de la planta y no están contenidos en el agua de riego proveniente del Lauca o del acuífero del río San José. En el valle de Azapa es muy frecuente ver que los agricultores acidifican con ácido sulfúrico; sin embargo, Adams (2004) indica que una alta salinidad puede deberse a la acumulación de iones no utilizados provenientes del agua o sales fertilizantes empleadas, como sodio, cloruro y sulfato (los cuales abundan en las aguas de riego del valle de Azapa) requiriéndose un riguroso lavado del sistema. Varley y Burrage (1983) encontraron una alta incidencia de *tipburn* debido a la acumulación de cantidades apreciables de sulfato desde los agroquímicos, por esta razón, recomendamos utilizar ácido nítrico, en primer lugar, y ácido fosfórico, como alternativa, para neutralizar los bicarbonatos.

Mientras se desarrolla la planta encontraremos que durante su crecimiento vegetativo, el pH de los drenajes tiende a subir, debido a una mayor absorción de nitratos y al momento de maduración de los frutos, esta baja, llegando a niveles cercanos a pH 4, por la mayor absorción de potasio. Por lo tanto, hay que estar muy pendiente de los drenajes para ir corrigiendo estos desequilibrios en forma inmediata.

### **Elección de fertilizantes para fertirrigación**

En la agronomía tradicional, el concepto de abonado relaciona solo los kilogramos de fertilizantes por unidad de superficie, sin considerar el volumen de agua aportado en su aplicación. La fertirrigación relaciona los fertilizantes con el agua de riego, independientemente de la superficie que se vaya a regar, porque es importante que la incorporación de los fertilizantes al agua de riego sea lo más uniforme posible. La disponibilidad de nutrientes depende de la concentración de fertilizantes en el agua de riego, en la Figura 3 se puede observar que en el sistema tradicional no es uniforme. En este caso, el fertilizante se concentraría al principio del riego, con un aumento de la conductividad eléctrica en ese tramo que induce a que el sistema radical tenga dificultades para la captación de agua y nutriente debido a la alta concentración. En este caso, los nutrientes que se pretenden aportar al cultivo podrían ser lixiviados o alejados de la rizosfera al aportar solamente agua al final del riego. En el caso que los fertilizantes sean aportados en el último tramo del riego, puede ocurrir una acumulación de sales en las proximidades del sistema radical, con el agravante de que las sales puedan precipitar y obturar el sistema de riego.

Figura 3. Concentración de fertilizantes en el agua de riego.



Fuente: Galindo, 2005.

Con el sistema de fertirrigación, el aporte de los fertilizantes en la disolución nutritiva es más homogéneo y de más fácil asimilación de agua y nutrientes por parte de la planta. En este caso, el grado de uniformidad va a depender del sistema de inyección de fertilizantes a emplear. Los fertilizantes que se utilizan en fertirrigación deben tener un alto grado de solubilidad, para un mayor aprovechamiento de los nutrientes y para evitar obturaciones en el sistema de inyección o en el sistema de riego.

### **Código de buenas prácticas agrícolas**

La optimización del uso de fertilizantes para minimizar el impacto ambiental en los suelos del valle de Azapa y en el acuífero del río San José, no solo obedece a razonamientos ecológicos y de sustentabilidad ambiental, sino también por aspectos agronómicos. El abuso o mal uso de los fertilizantes genera un mal aprovechamiento de estos recursos, con el consiguiente aumento en el costo de producción, que en definitiva significa un despilfarro económico para el productor y posibles mermas en la producción por envejecimiento prematuro de las plantas. El planeamiento previo para la optimización del uso de los fertilizantes que, además, disminuyan los efectos negativos a nivel medioambiental requiere que los profesionales y técnicos que asesoren al agricultor consideren los siguientes aspectos:

1. Análisis de suelo y agua
2. Corrección de desequilibrios según el análisis previo
3. Elección de fertilizantes
4. Dosificación de los fertilizantes
5. Seguimiento de un plan de fertilización.

En la práctica, algunos factores que dificultan seguir estas normas para los cultivos del valle de Azapa son:

- Disponibilidad y calidad de agua de riego, que es muy variable según se utilice agua del canal Lauca o agua de pozo que, a la vez, varía según la ubicación del pozo a lo largo del valle.
- Los niveles de referencia no están optimizados para las características edafoclimáticas del valle de Azapa.
- La oferta de fertilizantes en el mercado local es insuficiente, en variedad de productos y en cantidad de oferentes.



### III. La disolución nutritiva

La disolución nutritiva se refiere a la concentración y relación de nutrientes ideal para un determinado cultivo en las condiciones de manejo que le da el agricultor y su objetivo productivo. Existen numerosas disoluciones de referencia (Tabla 4) que cada agricultor deberá adaptar a las necesidades de su propio cultivo y en las cuales es muy importante el análisis de agua de riego, ya que, según esto se elegirá los fertilizantes para su preparación. Siempre es recomendable tener, al menos, tres tanques para el almacenamiento de la solución madre porque en ningún caso debe mezclarse en un mismo tanque el calcio con el sulfato y el fosfato, debido a que altas concentraciones producen sales que precipitan. Para neutralizar los bicarbonatos se debe recurrir a la aplicación de ácidos, donde hay que tener la precaución de conocer su pureza (Tabla 5) para calcular la cantidad exacta que permita neutralizar los bicarbonatos del agua de riego. Sin embargo, hay que destacar que los bicarbonatos dan un poder tampón a la disolución nutritiva por lo que debe mantenerse en  $0,5 \text{ me L}^{-1}$ , esto asegura un pH entre 5,5 y 5,8 que es el más adecuado para la disponibilidad de nutrientes en la disolución, según se observa en la Figura 2. Sonneveld (2004) indica que a pH muy bajos se debe evitar el uso de amonio y con pH alcalinos debe aumentarse el amonio hasta un 15% del aporte de nitrógeno total, por cortos periodos al inicio del cultivo. Es frecuente que los análisis de agua se expresen en miliequivalentes litro ( $\text{me L}^{-1}$ ) y las disoluciones de referencia en milimoles litro ( $\text{mmol L}^{-1}$ ) por lo que se recomienda llevar toda a la misma unidad con un sencillo cálculo donde se multiplica la valencia del ion por  $\text{mmol L}^{-1}$  para expresar todo en  $\text{me L}^{-1}$  (ver conversiones en Tabla 25). A la disolución nutritiva de referencia se le resta los aportes del agua y se calcula la cantidad necesaria que se debe aplicar según la fuente de fertilizantes (Tabla 6) necesarios para completar los nutrientes. Se debe facilitar esta labor al agricultor ajustando la disolución nutritiva con los fertilizantes de mayor disponibilidad en el mercado, de menor costo por unidad de nutriente y con la menor cantidad de fertilizantes posibles.

Tabla 4. Niveles de referencia para la disolución nutritiva para las principales hortalizas que se cultivan en el valle de Azapa, según autor.

Especie según Autor	mmol L <sup>-1</sup>						
	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	H <sub>2</sub> PO <sub>4</sub> <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>
<b>Tomate</b>							
Sonneveld, 1980	10,5	1,5	2,5	0,5	7,0	3,75	1,0
García y Urrestarazu, 1999	12,5	2,0	1,75		5,0	5,0	1,8
Urrestarazu <i>et al.</i> , 2005	13,0	1,75	1,25	1,0	7,5	4,0	1,25
<b>Pimiento</b>							
Sonneveld y Straver, 1994	15,5	1,25	1,75	1,25	6,5	4,75	1,5
Escobar, 1993	13,5	1,5	1,35		5,5	4,5	1,5
Urrestarazu <i>et al.</i> , 2005	13,0	2,0	2,0	1,0	6,0	4,25	2,0
<b>Pepino</b>							
Sonneveld y Straver, 1994	16,0	1,25	1,375	1,25	8,0	4,0	1,375
Urrestarazu <i>et al.</i> , 2005	15,0	1,75	1,25	1,0	7,75	4,00	1,25
<b>Poroto verde</b>							
Sonneveld y Straver, 1994	12,5	1,25	1,125	1,0	5,5	3,25	1,25
García y Urrestarazu, 1999	13,5	1,75	1,65		6,0	3,25	1,75

Tabla 5. Densidad y riqueza de los ácidos comerciales más usados en agricultura.

Densidad	Riqueza del ácido en %			
	HNO <sub>3</sub>	H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub>	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	HCl
1,10			15	20
1,20	33	34	27	40
1,23	37			
1,25		37		
1,30	48	46	39	
1,37	59			
1,40	65	58	50	
1,50	95	69	60	
1,58		75		
1,60		77	69	
1,70		86	77	

Fuente: Martínez y García, 1993.

Para el aporte de los micronutrientes, estos deben ser incorporados a la disolución nutritiva. En el mercado nacional se comercializan diferentes fórmulas que se indican en la Tabla 7.

Tabla 6. Pesos atómicos (Pa), moleculares o iónicos (Pm) para los diferentes iones presentes en las aguas de riego y fertilizantes más frecuentes en agricultura, así como su peso equivalente (Pe) en función de la valencia (v)\*.

Elemento	Pa	Forma iónica	Pm mol	v	Pe e	Formulación de la sal o fertilizante	Nombre	Pm mol	v	Pe e
N	14	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	18	1	18	HNO <sub>3</sub>	Ácido nítrico	63	1	63
		NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	62	1	62	NH <sub>4</sub> NO <sub>3</sub>	Amonio Nitrato	80	1	80
						(NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	Amonio Sulfato	132	2	66
P						Ca(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> 4H <sub>2</sub> O	Calcio Nitrato 4-hidrato	236	2	118
						Ca(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> H <sub>2</sub> O	Calcio Nitrato 1-hidrato	182	2	91
	31	H <sub>2</sub> PO <sub>4</sub> <sup>-</sup>	97	1**	97	KNO <sub>3</sub>	Potasio Nitrato	101	1	101
K						H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub>	Ácido fosfórico	98	1	98
						NH <sub>4</sub> H <sub>2</sub> PO <sub>4</sub>	Amonio di-hidrógeno Fosfato	115	1	115
	39	K <sup>+</sup>	39	1	39	KH <sub>2</sub> PO <sub>4</sub>	Potasio di-hidrógeno Fosfato	136	1	136
Ca						KNO <sub>3</sub>	Potasio Nitrato	101	1	101
						KH <sub>2</sub> PO <sub>4</sub>	Potasio di-hidrógeno Fosfato	136	1	136
	40	Ca <sup>2+</sup>	40	2	20	K <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	Fosfato Potasio Sulfato	174	2	87
Mg						Ca(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> 4H <sub>2</sub> O	Calcio Nitrato 4-hidrato	236	2	118
						MgSO <sub>4</sub> 7H <sub>2</sub> O	Magnesio Sulfato 7-hidrato	246	2	123
	24	Mg <sup>2+</sup>	24	2	12	Mg(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> 6H <sub>2</sub> O	Magnesio Nitrato 6-hidrato	256	2	128
S						K <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	Potasio Sulfato	174	2	87
						MgSO <sub>4</sub> 7H <sub>2</sub> O	Magnesio Sulfato 7-hidrato	246	2	123
	32	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	96	2	48	(NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	Amonio Sulfato	132	2	66
Cl										
	35,5	Cl <sup>-</sup>	35,5	1	35,5					
Na	23	Na <sup>+</sup>	23	1	23					
C										
	12	CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup>	60							
		HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	61							

\*Para el intervalo de pH en el que se debe mover la disolución.

Fuente: Urrestarazu, 2004.



Tabla 7. Lista de los fertilizantes comerciales más usados para el aporte de los micronutrientes a la disolución nutritiva, su riqueza (R), peso molecular (Pm), densidad (D,  $g\ cm^{-3}$ ), el pH de máxima estabilidad para la molécula quelante (m) e intervalo de pH al que es estable (ie) en el pH. Así como algunos productos que suministran la combinación de micronutrientes más o menos.

Fertilizante	Fórmula	% R	Pm	D	m	ie
Manganeso Sulfato 1-hidrato	$MnSO_4 \cdot H_2O$	32 Mn	169	3,258		
Cinc Sulfato 7-hidrato	$ZnSO_4 \cdot 7H_2O$	23 Zn	287,5	1,957		
Cobre Sulfato 5-hidrato	$CuSO_4 \cdot 5H_2O$	25 Cu	249,7	2,284		
Edta-Fe.Na <sup>(1)</sup>	-	13 Fe	421,1	0,650	4,5	0-8
EDTA.Fe.K <sup>(1)</sup>	-	6 Fe	397,2	1,350	7,0	0-8
DTPA.Fe.HNa <sub>2</sub> <sup>(1)</sup>	-	11 Fe	468,2	0,750	3,0	0-10
DTPA.Fe.(NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> <sup>(1)</sup> Especial para hidroponía		6 Fe	480,2	1,300	6,5	0-10
HEDTA.Fe <sup>(1)</sup>		6 Fe	331,1	1,300	7,0	0-10
EDDHA.Fe.Na <sup>(1)</sup>		6 Fe	435,2	0,750	6,0	
EDTA.Mn.Na <sub>2</sub> <sup>(1)</sup>		13 Mn	389,1	0,625	6,5	2-14
EDTA.Mn.K <sub>2</sub> <sup>(1)</sup>		6 Mn	421,4	1,330	6,5	2-14
EDTA.Zn.Na <sub>2</sub> <sup>(1)</sup>		15 Zn	399,6	0,625	6,5	3-11
EDTA.Zn.(NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> <sup>(1)</sup>		10 Zn	389,7	1,300	6,0	3-11
EDTA.Cu.Na <sub>2</sub> <sup>(1)</sup>		15 Cu	397,7	0,625	6,5	0-14
EDTA.Cu.(NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> <sup>(1)</sup>		9 Cu	387,8	1,300	6,0	0-14
Di-Sodio Tetraborato 10-hidrato	$Na_2B_4O_7 \cdot 10H_2O$	11 B	381,2	1,73		
Ácido bórico	$H_3BO_3$	17 B	61,8	1,423		
Sodio Molibdato 2-hidrato	$Na_2MoO_4 \cdot 2H_2O$	40 Mo	241,9	3,28		
Amonio Heptamolibdato	$(NH_4)_6Mo_7O_{24}$	58 Mo	1163,3			
Composición expresada en %						
Producto comercial <sup>(2)</sup>		Fe	Mn	Zn	Cu	B
Microcat <sup>*</sup>		1,71	1,12	0,34	0,05	0,21
Mix LHR <sup>**</sup>		0,82	1,64	1,64	0,25	0,16
Nutrel C <sup>*</sup>		7,5	3,3	0,6	0,3	0,7
Trichoquel Mix-Q <sup>*</sup>		7,5	3,5	0,5	0,2	0,5
Zipolox		9	4,5	0,6	0,15	0,03
Dosificación para plantas hortícolas (Tanque de 1000 L disolución concentrada 100 veces)						
						12 L (líquido)
						3-4,5 kg <sup>(3)</sup>
						3-4 kg
						1,5-2,5 kg

Fuente: <sup>(1)</sup> Catálogo de Akzo Nobel, citado por Urrestarazu, 2004; <sup>(2)</sup> Liñan (2001); <sup>(3)</sup> Martínez y García (1993) recomiendan de 2 a 3 kg.

\* Agente quelante: HEDTA.

\*\* Agente quelante: EDTA.

## IV. Manejo del fertirriego según los objetivos de producción

Existen diversos trabajos con recomendaciones para dar al cultivo aquellas proporciones de agua y nutrientes que las plantas estén demandando o demandarían en cada momento que correspondería a la aplicación de la ley de la restitución. Sin embargo, habría que matizar que no siempre la demanda de la planta, que podríamos denominar *demanda potencial* en las mejores condiciones para dicha planta, coincide con las pretensiones deseadas por el productor. Por ejemplo, si un cultivo está en pleno desarrollo vegetativo y esta tendencia del cultivo no coincide con nuestros fines, puesto que tenemos la necesidad de vender nuestro producto (frutos), podemos acelerar la “derivación” del cultivo al desarrollo reproductivo con un manejo adecuado del fertirriego consistente en disminuir la proporción de agua, aumentar los fertilizantes ricos en K y pobres en N y el aumento general de la CE de la disolución. El aumento de la CE de la disolución nutritiva también es deseable cuando se producen fisiopatías muy concretas como son los problemas de rajado de frutos (*cracking* en países de habla inglesa) o para que cultivos como el melón desarrollen un alto contenido en sólidos solubles con el fin de que puedan ser comercializados con mejores propiedades organolépticas, vale decir, vinculados a un mayor dulzor. Si, por el contrario, nos encontramos en una etapa del cultivo donde la planta tiende a primar el desarrollo reproductivo, podemos variar algo de esta tendencia del cultivo favoreciendo mediante el fertirriego el desarrollo vegetativo o de nuevos brotes y follaje, disminuyendo la CE de la disolución. De esta forma hacemos un manejo de la fertirrigación que puede modificar parcialmente la tendencia del cultivo propia de su edad, genotipo, o el resto del ambiente microclimático. Steiner (1997) después de amplias investigaciones obtiene unos equilibrios para los macronutrientes, absorbidos preferentemente como cationes e iones, como muestra la Tabla 8, cuya oscilación depende de cada cultivo, su estado fenológico y condiciones medioambientales.

Tabla 8. Equilibrio de los macronutrientes en una disolución nutritiva universal para cultivos que crecen en ella. Proporción expresada en equivalente.

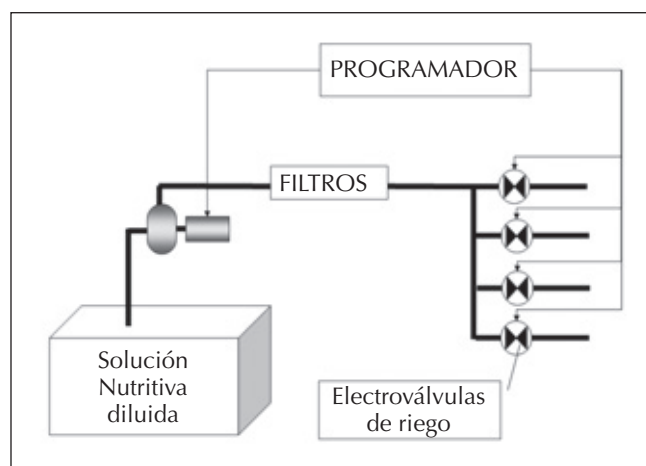
Relación en equivalente expresada como:	Cationes				Aniones			
	K <sup>+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Na <sup>+</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	H <sub>2</sub> PO <sub>4</sub> <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	Cl <sup>-</sup>
Disolución Nutritiva Universal	35	45	20	0	60	5	35	0
Límites tolerables	25/45	35/55	6	**	35/65	3/12	25/45	0/20
Cultivos aprovechables por frutos*	50	44	6	**	69	9	22	**
Cultivos aprovechables por frutos*	50	44	6	**	69	9	22	**
Cultivos de hojas de crecimiento rápido*	38	56	6	**	90	0,5	9,5	**
Cultivos de hojas de crecimiento lento*	67	31	2	**	79	1,5	19,5	**

\*Valores medios de diversos cultivos, \*\*No determinado.

Fuente: Steiner, 1997.

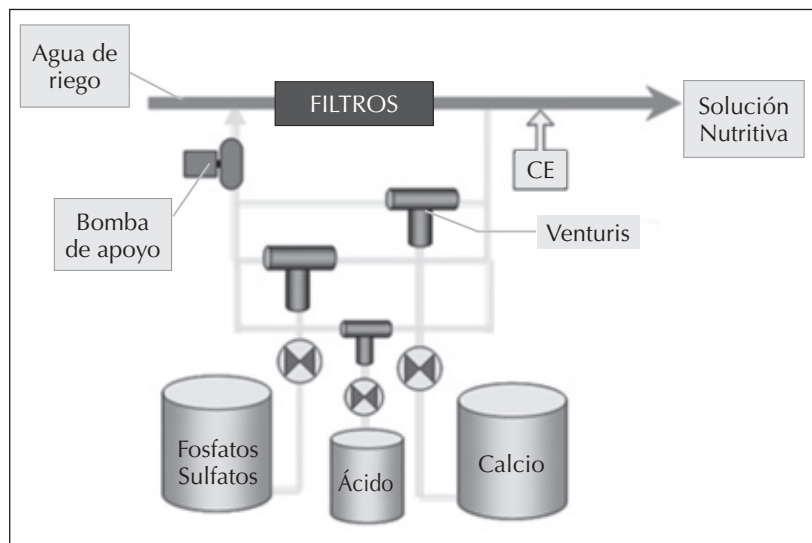
En las explotaciones comerciales se recomienda que la disolución nutritiva se prepare concentrada en estanques de 1 o 2 m<sup>3</sup> de capacidad, según el tamaño de la explotación, de manera de facilitar el manejo del cultivo. Si la disolución nutritiva está diluida o se concentra entre 10 y 15 veces, se puede contener en un estanque donde se incluye el ácido para neutralizar los bicarbonatos presentes (Figura 4) y se recomienda tener sensores de pH y CE para el control de las consignas de fertirriego. En el caso que se requiera preparar disolución nutritiva 50 o 100 veces concentrada se recomienda, al menos, tres estanques: uno para colocar el calcio, otro para los sulfatos y el tercero para el ácido (Figura 5). Los micronutrientes se pueden colocar en el estanque con el calcio. Con la Tabla 9 se facilita el cálculo para tener una disolución madre 100 veces concentrada en un estanque de metro cúbico de capacidad.

Figura 4. Infraestructura básica de un sistema de fertirrigación.



Fuente: Urrestarazu, 2004.

Figura 5. Infraestructura de un sistema de fertirrigación para una disolución nutritiva 100 veces concentrada.



Fuente: Urrestarazu, 2004, modificado.

Tabla 9. Relación de kg y L por m<sup>3</sup> de fertilizante en una disolución madre 100 veces concentrada para obtener una concentración final de 1 me L<sup>-1</sup> de cada ion.

Fertilizante	anión	catión	kilogramos	litros
Ácido nítrico (37%)	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>		17,0	13,8
Ácido nítrico (59%)	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>		10,7	7,8
Ácido fosfórico (37%)	PO <sub>4</sub> <sup>-</sup>		26,5	21,2
Ácido fosfórico (75%)	PO <sub>4</sub> <sup>-</sup>		13,0	8,2
Nitrato potásico	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	K <sup>+</sup>	10,1	
Nitrato amónico	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	8,0	
Nitrato cálcico (4 H <sub>2</sub> O)	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Ca <sup>2+</sup>	11,8	
Nitrato cálcico (1 H <sub>2</sub> O)	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Ca <sup>2+</sup>	9,1	
Nitrato magnésico	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Mg <sup>2+</sup>	12,8	
Fosfato monopotásico	PO <sub>4</sub> <sup>-</sup>	K <sup>+</sup>	13,6	
Fosfato monoamónico	PO <sub>4</sub> <sup>-</sup>	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	11,5	
Fosfato monocálcico (2 H <sub>2</sub> O)	PO <sub>4</sub> <sup>-</sup>	Ca <sup>2+</sup>	11,1	
Sulfato potásico	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	K <sup>+</sup>	8,7	
Sulfato magnésico	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	Mg <sup>2+</sup>	12,3	
Sulfato amónico	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	6,6	

Fuente: Urrestarazu, 2004.



## V. Cálculo de la disolución nutritiva, sin considerar el agua de riego

El ejercicio más simple lo haremos sin considerar el aporte de nutrientes del agua de riego de manera que todos los elementos de la disolución nutritiva de referencia se aportarán a través de los fertilizantes. Supongamos que tenemos un cultivo de tomate que se fertilizará según el nivel de referencia recomendado por Sonneveld (1980) en la Tabla 10.

Tabla 10. Disolución nutritiva de Sonneveld (1980)  
 para un cultivo de tomates según Tabla 4.

mmol L <sup>-1</sup>						
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	H <sub>2</sub> PO <sub>4</sub> <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	Ca <sup>2+</sup>	K <sup>+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>
10,5	1,50	2,50	3,75	7,00	1,00	0,50

En primer lugar, debemos transformar los mmol L<sup>-1</sup> a me L<sup>-1</sup>, multiplicando los mmoles por la valencia de cada nutriente (Tabla 11). Luego, se hace el cálculo de nutrientes que debemos aportar con los fertilizantes, según se indica en la Tabla 12.

Tabla 11. Transformación de unidad de los nutrientes a aportar.

	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	H <sub>2</sub> PO <sub>4</sub> <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	Ca <sup>2+</sup>	K <sup>+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>
mmol L <sup>-1</sup>	10,5	1,50	2,50	3,75	7,00	1,00	0,50
Valencia	1	1	2	2	1	2	1
me L <sup>-1</sup>	10,5	1,50	5,00	7,50	7,00	2,00	0,50

Tabla 12. Aporte de nutrientes a través de los fertilizantes.

Aniones	Cationes (me L <sup>-1</sup> )					Total aniones
	H <sup>+</sup>	Ca <sup>+2</sup>	K <sup>+</sup>	Mg <sup>+2</sup>	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>		7,50	2,50		0,50	1,50
H <sub>2</sub> PO <sub>4</sub> <sup>-</sup>			1,50			1,50
SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup>			3,00	2,00		5,00
Total cationes		7,50	7,00	2,00	0,50	17,0

### **¿Cuánto fertilizante se debe aplicar?**

Supongamos que la capacidad del estanque es de  $4 \text{ m}^3$  y se debe calcular los kilos o litros de fertilizantes que hay que colocar para regar una pequeña estación de  $1000 \text{ m}^2$  con aporte hídrico medio de  $2 \text{ L m}^{-2} \text{ día}^{-1}$ . Los fertilizantes a aplicar son  $7,5 \text{ me L}^{-1}$  de nitrato de calcio;  $2,5 \text{ me L}^{-1}$  de nitrato de potasio;  $1 \text{ me L}^{-1}$  de nitrato de amonio;  $1,5 \text{ me L}^{-1}$  de fosfato potásico;  $3 \text{ me L}^{-1}$  de sulfato potásico y  $2 \text{ me L}^{-1}$  de sulfato de magnesio. Según la Tabla 6, sabemos el peso equivalente (pe) de los distintos fertilizantes y que un  $\text{me L}^{-1}$  multiplicado por pe es igual a  $\text{mg L}^{-1}$ . Los pasos a seguir son pesar los fertilizantes:

- Nitrato de calcio:  $7,5 \text{ me L}^{-1} * 118 = 885 \text{ mg L}^{-1}$ . Para  $4 \text{ m}^3$  se necesita  $3,54 \text{ kg}$ .
- Nitrato de potasio:  $2,5 \text{ me L}^{-1} * 101 = 252,5 \text{ mg L}^{-1}$ . Para  $4 \text{ m}^3$  se requiere  $1010 \text{ g}$ .
- Nitrato de amonio:  $0,5 \text{ me L}^{-1} * 80 = 40 \text{ mg L}^{-1}$ . Para  $4 \text{ m}^3$  se requiere  $160 \text{ g}$ .
- Fosfato monopotásico:  $1,5 \text{ me L}^{-1} * 136 = 204 \text{ mg L}^{-1}$ . Para  $4 \text{ m}^3$  se requiere  $816 \text{ g}$ .
- Sulfato potásico:  $3,0 \text{ me L}^{-1} * 87 = 261 \text{ mg L}^{-1}$ . Para  $4 \text{ m}^3$  se requiere  $1044 \text{ g}$ .
- Sulfato de magnesio:  $2,0 \text{ me L}^{-1} * 123 = 246 \text{ mg L}^{-1}$ . Para  $4 \text{ m}^3$  se requiere  $984 \text{ g}$ .

### **¿Cuántos días durará el estanque?**

En este caso, se preparó la disolución nutritiva diluida (1:1). Se está aplicando  $2 \text{ L m}^{-2} \text{ día}^{-1}$  en una superficie de  $1000 \text{ m}^2$ . Por lo tanto, al día se gasta  $2000 \text{ L}$ , esto significa que el agricultor debe preparar la disolución nutritiva día por medio, pues en dos días se agota el contenido del estanque con capacidad de  $4000 \text{ L}$  ( $4 \text{ m}^3$ ).

## VI. Cálculo de la disolución nutritiva, considerando el aporte del agua de riego

En general, la mayoría de las aguas de riego usadas en zonas áridas y semiáridas tienen una importante cantidad de bicarbonato disuelto que requiere especial cuidado desde el punto de vista fisiológico vinculado a la nutrición mineral. Como se ha indicado anteriormente, se debe incorporar una cantidad de ácido para neutralizar los bicarbonatos presentes en el agua de riego para asegurar un pH para las condiciones óptimas de absorción de nutrientes. Renunciar a aplicar ácidos en la práctica supondría no disponer en la rizosfera del pH adecuado para la absorción de nutriente y en definitiva un desajuste o desorden nutricional. Este aporte de ácido será proporcional a los bicarbonatos disueltos que estén presentes en el agua de riego, cautelando mantener  $0,5 \text{ me L}^{-1}$  de bicarbonato para asegurar un pH entre 5,5 y 5,8. A continuación se hará un ejercicio práctico considerando las características del agua de riego. Se dispone de un agua de riego con un pH 7,38 y CE de  $0,9 \text{ dS m}^{-1}$  con una composición química según se indica en la Tabla 13:

Tabla 13. Composición química del agua de riego (en  $\text{me L}^{-1}$ ).

$\text{HCO}_3^-$	$\text{NO}_3^-$	$\text{SO}_4^{2-}$	$\text{Cl}^-$	$\text{Ca}^{2+}$	$\text{K}^+$	$\text{Mg}^{2+}$	$\text{Na}^+$
3,50	0,10	1,43	4,09	2,49	0,01	3,02	3,52

Por las características del cultivo deseamos aportar una disolución nutritiva según la composición química que se indica en Tabla 14.

Tabla 14. Disolución nutritiva deseada expresada en  $\text{mmol L}^{-1}$ .

$\text{HCO}_3^-$	$\text{NO}_3^-$	$\text{H}_2\text{PO}_4^-$	$\text{SO}_4^{2-}$	$\text{Ca}^{2+}$	$\text{K}^+$	$\text{Mg}^{2+}$	$\text{NH}_4^+$
0,50	14,0	1,5	<3,00	4,25	6,00	2,00	<1,00

En primer lugar, debemos transformar los  $\text{mmol L}^{-1}$ , expresados en la disolución nutritiva deseada de la Tabla 14, a  $\text{me L}^{-1}$ . Por lo tanto, hay que multiplicar los mmoles por la valencia de cada nutriente (Tabla 15).



Tabla 15. Transformación de unidad de los nutrientes a aportar, según valencia.

	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	H <sub>2</sub> PO <sub>4</sub> <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	Ca <sup>2+</sup>	K <sup>+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>
mmol L <sup>-1</sup>	0,50	14,0	1,50	<3,00	4,25	6,00	2,00	<1,00
Valencia	1	1	1	2	2	1	2	1
me L <sup>-1</sup>	0,50	14,0	1,50	<6,00	8,50	6,00	4,00	<1,00

Para el cálculo de los fertilizantes hay que descontar el aporte de nutrientes que hace el agua de riego, según se indica en la Tabla 16.

Tabla 16. Disolución nutritiva deseada (DNd), considerando el agua de riego (Ar) y el aporte nutritivo que se debe hacer a través de los fertilizantes (DNfz).

	me L <sup>-1</sup>							
	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	H <sub>2</sub> PO <sub>4</sub> <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	Ca <sup>2+</sup>	K <sup>+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>
DNd	0,50	14,0	1,50	<6,00	8,50	6,00	4,00	<1,00
Ar	3,50	0,10	0	1,43	2,49	0,01	3,02	0
DNfz	(3,00)	13,9	1,50	4,57	6,01	5,99	0,98	<1,00

Por lo tanto, una de las posibilidades de ajuste con fertilizantes para satisfacer los nutrientes que están faltando se indica en la Tabla 17.

Tabla 17. Aporte de nutrientes a través de los fertilizantes.

Aniones	Cationes (me L <sup>-1</sup> )					Total aniones
	H <sup>+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	K <sup>+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>		6,01	5,99	0,98	1,00	13,98
H <sub>2</sub> PO <sub>4</sub> <sup>-</sup>	1,50					1,50
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	1,50					1,50
Total cationes	3,00	6,01	5,99	0,98	1,00	

### ¿Cuántos fertilizantes y en qué cantidad se debe aplicar?

Con 1,5 me L<sup>-1</sup> ácido fosfórico y 1,5 me L<sup>-1</sup> ácido sulfúrico se neutraliza el bicarbonato para ajustarlo a 0,5 me L<sup>-1</sup> y asegurar un pH entre 5,5 y 5,8. Los otros fertilizantes a

aplicar son  $6,01 \text{ me L}^{-1}$  de nitrato de calcio;  $5,99 \text{ me L}^{-1}$  de nitrato de potasio;  $0,98 \text{ me L}^{-1}$  de nitrato de magnesio y  $1 \text{ me L}^{-1}$  de nitrato de amonio.

El aporte final de nutrientes para el cultivo en la disolución nutritiva se indica en la Tabla 18 y considera la sumatoria de nutrientes que aporta el agua de riego y los fertilizantes.

Tabla 18. Disolución nutritiva final (DNf), considerando el agua de riego (Ar) y el aporte nutritivo a través de los fertilizantes (DNfz).

	me L <sup>-1</sup>							
	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	H <sub>2</sub> PO <sub>4</sub> <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	Ca <sup>2+</sup>	K <sup>+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>
DNfz	(3,0)	13,98	1,50	1,50	6,01	5,99	0,98	1,00
Ar	3,50	0,10	0	1,43	2,49	0,01	3,02	0
DNf	0,50	14,08	1,50	2,93	8,50	6,00	4,00	1,00

Supongamos que tenemos un estanque de  $4 \text{ m}^3$  y necesitamos calcular los kilos o litros de fertilizantes que hay que colocar para regar una estación de  $2.500 \text{ m}^2$  con un aporte hídrico medio de  $2 \text{ L m}^{-2} \text{ día}^{-1}$ . En este caso, la capacidad del estanque no satisface los requerimientos hídricos diarios de la estación de cultivo, pues  $2 \text{ L m}^{-2} \text{ d}^{-1}$  en una superficie de  $2.500 \text{ m}^2$ , demanda  $5.000 \text{ L}$  diarios de disolución nutritiva. En este caso, se recomienda concentrar la disolución madre hasta 15 veces.

Los pasos a seguir:

- Si utilizamos ácido fosfórico al 37%:  $1,5 \text{ me L}^{-1} * 265 = 397,5 \text{ mg L}^{-1}$ . Como los estanques son de  $4000 \text{ L}$ , se debe multiplicar por este número. Al convertir los mg a kg, da un total de  $1,59 \text{ kg}$  de ácido fosfórico (pe del ácido fosfórico es 98). Como la disolución madre está 15 veces concentrada, se debe agregar  $23,85 \text{ kg}$  de ácido fosfórico.
- Para el ácido sulfúrico al 60%:  $1,5 \text{ me L}^{-1} * 82 = 123 \text{ mg L}^{-1}$ . Para los  $4 \text{ m}^3$  se requiere  $492 \text{ g}$  (pe del ácido sulfúrico es 49). Para la disolución madre 15 veces concentrada, se debe agregar  $7,38 \text{ kg}$  de ácido sulfúrico.
- Nitrato de calcio:  $6,01 \text{ me L}^{-1} * 118 = 709 \text{ mg L}^{-1}$ . Para  $4 \text{ m}^3$ , 15 veces concentrada, se necesita  $42,54 \text{ Kg}$ .
- Nitrato de potasio:  $5,99 \text{ me L}^{-1} * 101 = 605 \text{ mg L}^{-1}$ . Se requiere  $36,3 \text{ Kg}$ .
- Nitrato de magnesio:  $0,98 \text{ me L}^{-1} * 128 = 125 \text{ mg L}^{-1}$ . Se necesita  $7,5 \text{ Kg}$ .
- Nitrato de amonio:  $1 \text{ me L}^{-1} * 80 = 80 \text{ mg L}^{-1}$ . Se requiere  $4,8 \text{ Kg}$ .

### **¿Cuántos días durará el estanque?**

En este caso, se preparó la disolución madre que está concentrada 15 veces; por lo tanto, el volumen de agua de riego que se puede aportar es de  $60 \text{ m}^3$ . Se está dotando de  $2 \text{ L m}^{-2} \text{ día}^{-1}$  en una superficie de  $2.500 \text{ m}^2$ , por lo tanto, al día se gastan 5000 L. La disolución madre le permite dotar al cultivo de 60.000 L de agua, por lo tanto, el estanque dura 12 días.

En el caso que se hiciera 10 veces concentrada, la frecuencia de reposición de la disolución madre sería mayor, una vez por semana.

*Tarea:*

Para el ejemplo recién expuesto, calcule el peso de cada fertilizante para tener una disolución madre 10 veces concentrada, de manera de recomendar al agricultor que haga su reposición una vez a la semana.

*Respuesta:*

- Ácido fosfórico al 37%: 15,9 kg.
- Ácido sulfúrico al 60%: 4,92 kg.
- Nitrato de calcio: 28,36 kg.
- Nitrato de potasio: 24,2 kg.
- Nitrato de magnesio: 5 kg.
- Nitrato de amonio: 3,2 kg.

## VII. Cálculo de la disolución nutritiva, considerando agua de pozo de la parte baja del valle de Azapa

A continuación se hace el ejercicio considerando el agua de riego de Arica utilizando agua del canal Lauca a la altura del pueblo de San Miguel. El agricultor cultiva tomates en una explotación de una hectárea y dispone de un equipo de fertirriego con tres estanques de un metro cúbico cada uno de capacidad. Dispone de un agua de riego con pH 7,57 y CE 1,86 dS m<sup>-1</sup> (de la Tabla 3) con una composición química según se indica en la Tabla 19:

Tabla 19. Composición química del agua de riego (en mmol L<sup>-1</sup>).

HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	Cl <sup>-</sup>	Ca <sup>2+</sup>	K <sup>+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Na <sup>+</sup>
3,60	0,18	1,02	2,02	2,22	0,12	0,82	3,05

Por las características del cultivo de tomate, según la Tabla 4, se preparará la disolución nutritiva recomendada por García y Urrestarazu (1999), de Tabla 20.

Tabla 20. Disolución nutritiva para un cultivo de tomate, de acuerdo con García y Urrestarazu, 1999, de Tabla 4.

mmol L <sup>-1</sup>						
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	H <sub>2</sub> PO <sub>4</sub> <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	Ca <sup>2+</sup>	K <sup>+</sup>	Mg <sup>2+</sup>
0,50	12,50	2,00	1,75	5,00	5,00	1,80

En primer lugar, se debe calcular los fertilizantes que se necesitan, considerando el aporte del agua de riego (Tabla 21). Luego hay que expresar los requerimientos nutritivos en me L<sup>-1</sup> (Tabla 22). Finalmente, se debe hacer el ajuste de nutrientes para el cálculo de los fertilizantes a aportar (Tabla 23).

Tabla 21. Disolución nutritiva deseada (DNd), considerando el agua de riego (Ar) y el aporte nutritivo que se debe hacer a través de los fertilizantes (DNfz).

	mmol L <sup>-1</sup>						
	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	H <sub>2</sub> PO <sub>4</sub> <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	Ca <sup>2+</sup>	K <sup>+</sup>	Mg <sup>2+</sup>
DNd	0,50	12,50	2,00	1,75	5,00	5,00	1,80
Ar	3,60	0,18	0	1,02	2,22	0,12	0,82
DNfz	(3,10)	12,32	2,00	0,73	2,78	4,88	0,98

Tabla 22. Transformación de unidad de los nutrientes a aportar, según valencia.

	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	H <sub>2</sub> PO <sub>4</sub> <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	Ca <sup>2+</sup>	K <sup>+</sup>	Mg <sup>2+</sup>
mmol L <sup>-1</sup>	(3,10)	12,32	2,00	0,73	2,78	4,88	0,98
Valencia	1	1	1	2	2	1	2
me L <sup>-1</sup>	(3,10)	12,32	2,00	1,46	5,56	4,88	1,96

Tabla 23. Aporte final de nutrientes a través de los fertilizantes.

Aniones	Cationes (me L <sup>-1</sup> )				Total aniones
	H <sup>+</sup>	Ca <sup>+2</sup>	K <sup>+</sup>	Mg <sup>+2</sup>	
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	3,10	5,56	1,42	1,96	12,04
H <sub>2</sub> PO <sub>4</sub> <sup>-</sup>			2,00		2,00
SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup>			1,46		1,46
Total cationes	3,10	5,56	4,88	1,96	

Con 3,1 me L<sup>-1</sup> ácido nítrico se neutraliza el bicarbonato para ajustarlo a 0,5 me L<sup>-1</sup> y asegurar un pH entre 5,5 y 5,8. Los otros fertilizantes a aplicar son 5,56 me L<sup>-1</sup> de nitrato de calcio; 1,42 me L<sup>-1</sup> de nitrato de potasio; 1,96 me L<sup>-1</sup> de nitrato de magnesio; 2 me L<sup>-1</sup> de fosfato monopotásico y 1,46 me L<sup>-1</sup> de sulfato de potasio.

El aporte final de nutrientes para el cultivo, considerando el agua de riego, se indica en la Tabla 24.

Tabla 24. Disolución nutritiva final (DNf), considerando el agua de riego (Ar) y el aporte nutritivo a través de los fertilizantes (DNfz).

	me L <sup>-1</sup>						
	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	H <sub>2</sub> PO <sub>4</sub> <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	Ca <sup>2+</sup>	K <sup>+</sup>	Mg <sup>2+</sup>
DNfz	(3,10)	12,04	2,00	1,46	5,56	4,88	1,96
Ar	3,60	0,18	0	2,04	4,44	0,12	1,64
DNf	0,50	12,22	2,00	3,50	10,00	5,00	3,60

Este agricultor desea hacer una disolución madre 100 veces concentrada. Para el cálculo de esta disolución se usa la Tabla 9. La dosis de fertilizantes considerando que se preparará un metro cúbico de solución madre 100 veces concentrada, es:

- Ácido nítrico al 37%:  $3,1 \text{ me L}^{-1} * 13,8$  (de la Tabla 9) = 42,78 L.
- Nitrato de calcio:  $5,56 \text{ me L}^{-1} * 11,8$  = 65,61 Kg.
- Nitrato de potasio:  $1,42 \text{ me L}^{-1} * 10,1$  = 14,34 Kg.
- Nitrato de magnesio:  $1,96 \text{ me L}^{-1} * 12,8$  = 25,10 Kg.
- Fosfato monopotásico:  $2 \text{ me L}^{-1} * 13,6$  = 27,2 Kg.
- Sulfato de potasio:  $1,46 \text{ me L}^{-1} * 8,7$  = 12,70 Kg.

En este caso, se recomienda distribuir de la siguiente forma los fertilizantes en los estanques A, B y C:

#### Estanque A:

65,61 kg de nitrato de calcio, más 4 kg de complejo de micronutrientes (Ej. Tarssan).  
Total: 69,61 kg de fertilizantes.

#### Estanque B:

14,34 kg de nitrato de K + 25,1 kg de nitrato de Mg + 27,2 kg de fosfato monopotásico + 12,7 kg de sulfato de K. Total: 79,34.

#### Estanque C.

42,78 L de ácido nítrico.

Es muy importante recordar que **no debe mezclar el calcio con los sulfatos y los fosfatos** pues este precipita a tan **altas concentraciones** y no queda disponible para la planta. Además, las sales formadas pueden obturar su sistema de riego por goteo.

*Tarea:*

Suponiendo que el agricultor aplica un caudal de  $2 \text{ L m}^{-2} \text{ día}^{-1}$  en su cultivo, ¿cada cuánto tiempo tendrá que preparar la solución madre el agricultor?

*Respuesta:*

Su explotación es de  $10.000 \text{ m}^2$  (una hectárea) y diariamente aplica  $2 \text{ L m}^{-2}$ , por lo tanto el gasto diario es de  $20.000 \text{ L}$ . Se ha preparado  $1000 \text{ L}$  (un metro cúbico) de la disolución madre que está 100 veces concentrada, por lo tanto, se puede regar hasta  $100.000 \text{ L}$ . El agricultor debe preparar la disolución cada cinco días.

## VIII. Formas de expresar la concentración de sales y sus equivalencias

Cuando se habla de concentración de sal en el agua de riego o en la disolución nutritiva esta se expresa de las siguientes formas:

- Milimoles/litro ( $\text{mmol L}^{-1}$ ): número de moles dividido por mil que hay en un litro.
- Miliequivalentes/litro ( $\text{me L}^{-1}$ ): número de equivalentes dividido por mil que hay en un litro.
- Gramos por litro ( $\text{g L}^{-1}$ ): número de gramos por cada litro.
- Partes por millón (ppm): miligramos por litro de agua.

Tabla 25. Factores de conversión entre diferentes parámetros y unidades de concentración y conductividad eléctrica (CE).

Valor que se transforma	Multiplicar por	Para convertir en
Parte por millón (ppm)	1	$\text{mg L}^{-1}$
ppm	0,001	$\text{g L}^{-1}$
ppm	0,0001	%
$\text{mg L}^{-1}$	PM**	$\text{mmol L}^{-1}$
$\text{mg L}^{-1}$	$V^*/\text{PM}^{**}$	$\text{me L}^{-1}$
$\text{mmol}_c$ (milimoles carga)	1	me
$\text{mmol L}^{-1}$ (milimoles por litro)	1	mM (milimolar)
$\text{me L}^{-1}$ (miliequivalentes por litro)	1	mN (milinormal)
CE ( $\text{dSm}^{-1}$ )	640	ppm (intervalo de 0-1 $\text{dSm}^{-1}$ )
$\Sigma$ Cationes ( $\text{me L}^{-1}$ )	0,1	CE (intervalo de 1,5-4 $\text{dSm}^{-1}$ )

\* V: Valencia del átomo o radical; \*\* PM: peso molecular del átomo o radical iónico.

Fuente: Urrestarazu, 2004.





## IX. Glosario

A continuación se recogen algunas acepciones de los términos más frecuentes utilizados con su denominación en lengua inglesa y las acepciones que se utilizaron en este texto. Encontrará que a veces no se define estrictamente, sino que nos ha parecido más útil o conveniente explicarlos, elaborando acepciones propias. “~” sustituye a la palabra definida.

**Aclimatación.** Hace referencia aquí a la capacidad de adaptación ontogénica de los cultivos a condiciones ambientales fuera de lo común o del óptimo, sin sufrir o la muerte o una disminución drástica del rendimiento, también alude al periodo de adaptación de plantas que han sido cultivadas en unas condiciones ambientales muy delimitadas y es necesario pasarlas a otras de más amplio intervalo de variación para poder soportar estas últimas sin morir o mermar su desarrollo o posibilidad de supervivencia.

**Agricultura de ambiente controlado** (*Controlled environment agriculture*). Se refiere a la agricultura caracterizada por concentración constante de iones y bajo potencial hídrico en las raíces, potencial de evaporación bajo, temperaturas moderadas y aplicación de dióxido de carbono.

**Aniones.** Son los iones de carga negativa (-). Ejemplo: nitratos, fosfatos, cloruros, sulfatos.

**Aporte de riego.** O fertirriego, referido aquí al volumen de agua que se suministra al cultivo por unidad de superficie y tiempo (ver gasto de agua).

**Autómata.** Referido aquí al *cabezal de riego*.

**Bondad.** Referida a la fiabilidad del sistema de riego o fertirriego en su integridad, es decir, la relación que guarda la programación de cualquier parámetro de fertirriego con la realidad de la disolución que se incorpora a la rizosfera de la planta considerando el funcionamiento de cualquier infraestructura usada.

**Cabezal de riego o fertirriego.** Conjunto de instrumentos que recibe los componentes, los trata y hace la disolución nutritiva y, posteriormente, distribuye por la red de riego a la presión y disponibilidad necesaria; incluye, las bombas, filtros, tanques, sensores y aparatos de automatización para cumplir su función.

**Capacidad de intercambio catiónico** (*Cation exchange capacity*). Propiedad de retener los iones cargados positivamente en la superficie de las partículas sólidas que componen el sustrato gracias a sus cargas libres negativas, se suele medir moles de carga adheridos por peso de sustrato.

**Capacidad tampón** (*Buffer capacity*). Referida a la propiedad de un medio de no cambiar significativamente el pH, normalmente de una cantidad fija de sustrato, al ir añadiendo un ácido o base. También se puede entender esta para un nutriente.

**Cationes**. Son los iones de carga positiva (+). Ejemplo: calcio, magnesio, potasio, sodio.

**Caudal**. Volumen de agua que fluye a través de una sección transversal de un río o canal en la unidad de tiempo.

**Clorosis** (*Chlorosis*). Pérdida del color verde impropio en su ubicación o en el tiempo de algún órgano de la planta, normalmente referido a la hoja o parte de ella, suele reflejar alguna patología o desorden de las plantas

**Coefficiente de uniformidad**. Expresión de homogeneidad en el reparto de volumen de fertirriego por los diferentes emisores.

**Compost**. Material de origen orgánico, más o menos descompuesto por la acción de los microorganismos usados, generalmente mezclado con otros sustratos, para el desarrollo de las raíces en cultivo sin suelo, proveniente de un proceso de *compostaje*.

**Compostaje**. Es un proceso biooxidativo controlado, que se desarrolla sobre residuos o sustratos orgánicos en estado sólido y con la humedad adecuada para originar un material *compost* que pueda tener un posterior uso como material incorporado a un agrosistema.

**Concentración de absorción** (*Uptake concentration*). Concepto reciente que hace referencia a la concentración que absorbe la raíz en una parte de la *rizosfera* o en toda ella. Se trata de un concepto virtual que resulta de dos ecofisiológicos reales que se dan independientemente o no en el espacio: la absorción de iones y la del agua en la unidad de tiempo se expresan como tal unidad de concentración, por ejemplo  $mmol L^{-1}$ .

**Concentración umbral**. O valor umbral, referido al máximo de concentración salina por encima del cual disminuye el rendimiento.

**Conductividad eléctrica** (*Electrical conductivity*). Aplicada a una disolución de electrolitos, es la propiedad de esta de transmitir la electricidad, referida de forma indirecta a la cantidad de sales disueltas al estar estas ionizadas.

**Consigna de riego.** Valor numérico cuyo límite supone una decisión manual o automatizada sobre una operación del manejo del fertirriego o control climático.

**Consumo de lujo** (*Luxurious products*). Se dice de fase de absorción o uso de un elemento (agua, nutriente, etcétera) que no tiene como consecuencia un aumento del rendimiento del producto cosechable o beneficio para el cultivo; se entiende que la *eficiencia* de uso no aumenta.

**Control de riego.** Cada una de las operaciones que se realizan para verificar que los *objetivos del riego* se están cumpliendo.

**Disolución ideal.** Referida aquí a la disolución nutritiva que se considera óptima por todo y cada uno de sus componentes para un determinado cultivo, fin y pretensiones del agricultor.

**Disolución tipo.** Sinónimo de disolución ideal.

**Dotación de riego.** Aplicado a los sistemas riego o *fertirriego* localizados y de *flujo intermitente*, hace referencia al volumen de fluido suministrado, ya sea por unidad de emisor (gotero), unidad de cultivo contenedor, por planta, etcétera.

**Eficiencia** (*Efficiency*). Referido a la ~ de uso, es la relación que guarda una cantidad de nutriente –u otro parámetro como el agua aplicada, absorbida, etcétera– con la unidad de rendimiento del producto cosechable, por ej., eficiencia de agua absorbida, de nitrógeno aplicado, etcétera.

**Electroválvula.** Dispositivo eléctrico que a una orden recibida por una señal eléctrica abre o cierra su mecanismo interno para permitir o no el paso del fluido.

**Elemento.** Cada uno de los nutrientes simples. Ejemplo: oxígeno, hidrógeno, etcétera.

**Emisor** (*Dripping*). Dispositivo que controla la salida del riego o *fertirriego* a un flujo más o menos constante dentro de un intervalo de presión de la tubería secundaria o portagotero.

**Endurecimiento.** Ver aclimatación.

**Enmienda** (*Amendment*). Añadir al suelo o sustrato una sustancia con el fin de mejorar las propiedades físicas o fisicoquímicas del mismo.

**Estrés** (*Stress*). Situación no deseada en la que la planta reduce su rendimiento o actividad por un ambiente hostil, producida por parámetros medioambientales extremos, muy superiores o inferiores a los intervalos óptimos, ya sea referidos a las dosis de nutrientes, a parámetros climáticos u otros.

**Fertirriego** (*Fertigation*). Modalidad de riego que consiste en distribuir o suministrar los nutrientes minerales que la planta necesita mediante la disolución de estos en el agua de riego.

**Frecuencia de riego.** Aplicado al sistema de riego o *fertirriego* de flujo intermitente, hace referencia al número de veces y su reparto en el tiempo que se produce al inicio de riego o *fertirriego*, que termina después de la aplicación de una determinada *dotación de riego*. Forma en la que se maneja el riego o *fertirriego*, ya sea manual o automatizada para obtener los *objetivos del riego*; se considera aquí el manejo de toda la infraestructura utilizada tanto en el espacio como en el tiempo.

**Fog system.** Ver *nebulización*.

**Gasto**, de riego o *fertirriego*. Se refiere al volumen de agua que es necesario utilizar para el cultivo ya sea porque las plantas lo transpiran o por que se pierde por drenaje al terreno subyacente necesariamente como parte del manejo cultural.

**Granulometría.** Ver *textura*.

**Gotero.** Ver *emisor*.

**Humectación** (*Humidification, moistening*). Efecto de humedecer, referido a la acción de incorporación de agua a los poros del suelo.

**Humidificación.** Sinónimo de humectación.

**Incompatibilidad.** Referida a los fertilizantes, alude a las sales que juntas en disoluciones concentradas provocan la aparición de precipitados no deseados.

**Índice de cosecha** (*Harvest index*). Relación entre el peso del producto aprovechable o cosechable y la biomasa de la planta, normalmente se expresa en peso seco.

**Insumo** (*Input*). Referido a los elementos o factores que entran en un proceso (sustratos) para dar unos determinados resultados (productos) en dicho proceso o reacción, por ej., los nutrientes absorbidos necesarios para el desarrollo de los cultivos.

**Iones.** Son el producto de la disociación de las moléculas, estos iones pueden estar constituidos por un solo elemento o por la combinación de ambos.

Ejemplo:	Cloruro sódico:	NaCl	→	Cl <sup>-</sup> + Na <sup>+</sup>
	Nitrato potásico:	KNO <sub>3</sub>	→	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> + K <sup>+</sup>

**Irradiación.** Suma de la energía solar incidente en una superficie dada para un tiempo determinado.

**Irradiancia.** Flujo de radiación solar incidente en una unidad de área y de tiempo.

**Lixiviación.** Acción de eliminar por arrastre una parte del sustrato, por ej., lavado de sales y su posterior drenaje.

**Método de riego.** Forma en la que se maneja el riego o *fertirriego* ya sea manual o automatizada para obtener los *objetivos del riego*; se considera aquí el manejo de toda la infraestructura utilizada tanto en el espacio como en el tiempo.

**Molécula.** Es la combinación de varios elementos entre sí.

Ejemplo: cloro (Cl) + sodio (Na) = cloruro sódico.

**Nutriente fácilmente disponible** (*Nutrient absorbed easily*). Acuñado aquí para expresar la mejor dosis a aplicar para que se obtengan los mejores resultados de la producción, similar a la aplicación de *agua fácilmente disponible*.

**Nebulización** (*Fog system*). Sistema para aumentar la humedad relativa del aire que consiste en incorporar al ambiente gotas de agua de diámetro muy reducido, para de esta forma aumentar la vaporización de las mismas.

**Necrosis** (*Necrosis*). Muerte de las células del tejido vivo, apariencia negruzca de los órganos de la planta especialmente en las hojas.

**Objetivo del riego.** Pretensión perseguida al aplicar el riego o *fertirriego* en los cultivos sin suelo, por ej., dotar a la planta del agua necesaria, disminuir la salinidad de la rizosfera, equilibrar el balance de nutriente, etcétera.

**Organoponía.** Término acuñado en meso y Sudamérica que alude a un sistema de cultivo basado en el uso de sustratos, 100% puros o en gran parte constituido por materiales orgánicos variados. Usado como sinónimo de hidroponía orgánica: producción intensiva de hortalizas en pequeñas unidades agrícolas, con sustratos orgánicos y técnicas de una agricultura sostenible (Carrión *et al.*, 1996).

**Peso atómico (Pa).** Peso de cada elemento.

**Peso equivalente (Pe).** Es el peso molecular dividido por la valencia.

**Peso molecular (Pm).** Es la suma de los pesos atómicos de cada uno de los elementos o iones que componen una molécula. La unidad es el mol.

**Portagotero**, línea ~. Referida a la tubería de riego o fertirriego última, que está en contacto con el cultivo y lleva conectados directamente los emisores.

**Potencial mátrico**. Componente del potencial de agua que se origina por la cohesión y la adherencia originada a la fracción sólida del suelo.

**Potencial osmótico**. Componente del potencial de agua causado por la presencia de sales disueltas en la disolución nutritiva existente en el sustrato o en relación directa de esta misma en cultivo en agua.

**Pureza**. Referida a la expresión porcentual, normalmente en peso, que existe en una sustancia una vez descontada la que estrictamente no corresponde a esta, por ej., la pureza de un NaCl del 98% expresa que el 2% de su peso pertenece a otras sales o materia. Ver también *riqueza*.

**Quelato**. Referido aquí a un compuesto orgánico que posibilita la disponibilidad por la *rizosfera* de iones nutrientes al evitar su precipitación.

**Residuo**. Se entiende aquí como el material susceptible para usarlo como *sustrato* de cultivo, con algún tipo de manipulación o *compostaje*. Se trata de un material generado en actividades humanas de producción y/o consumo que no tienen una posterior aplicación directa.

**Riego a la demanda** (= riego por demanda). Riego que se suministra en función de una necesidad del cultivo determinada por cualquier elemento de riego destinado a restablecer mediante dicho riego la necesidad hídrica del cultivo y/o sistema.

**Riego a tiempo**. Riego que se suministra con una programación temporal previa que no varía con las condiciones climáticas y/o del cultivo, no se puede modificar hasta un nuevo establecimiento de la programación de riego.

**Riego de salvaguarda**. Riego que se suministra como una *consigna* de protección del cultivo en el caso de que el riego automatizado no se haya producido para asegurarse la supervivencia del cultivo.

**Riqueza**. Expresión porcentual de la cantidad de materia de una forma dada en otra que la contiene, referida generalmente a un nutriente dentro de un fertilizante simple o complejo. Por ej., la riqueza del  $K_2O$  en  $K_2NO_3$  es de 44-46%. Ver también *pureza*.

**Rizosfera** (*Rhizosphere*). Volumen del *sustrato* o disolución nutritiva íntimamente ligada a la raíz y de la que directamente toma esta el agua y nutriente.

**Salinidad** (*Salinity*). Referido aquí a la concentración en sales disueltas en una disolución, normalmente en la *rizosfera*, disolución nutritiva, etcétera. No se debe aplicar solo a su dosis más alta que provoca estrés salino.

**Salinización** (*Salinization*). Acumulación hasta niveles no adecuados para el desarrollo de las raíces en un determinado suelo o disolución nutritiva donde crecen estas.

**Sodización** (*Sodicity*). Problemas que surgen por el exceso de presencia del ion sodio.

**Textura** (*Texture*). Medida de la proporción de cada uno de los tipos de tamaños de partículas de un suelo o sustrato, normalmente referida a los tamaños arena, limo y arcilla.

**Valencia**. Número de carga eléctrica con la que actúan los átomos o iones, puede ser positiva o negativa. Ejemplos:

Valencia del cloruro:	$\text{Cl}^-$	= 1
Valencia del nitrato:	$\text{NO}_3^-$	= 1
Valencia del potasio:	$\text{K}^+$	= 1
Valencia del calcio:	$\text{Ca}^{++}$	= 2





## X. Referencias

- ADAMS, P. 2004. Aspectos de la nutrición mineral en cultivos sin suelo en relación al suelo, pp. 81-111. En: M. Urrestarazu (ed.), *Tratado de cultivo sin suelo*. 3ª Ed. Mundi-Prensa, Madrid.
- BENNETT, W.F. 1993. *Nutrient deficiencies and toxicities in crops plants*. Bennett W.F. Ed. A.P.S. Press, Minnesota, USA, 202 pp.
- ESCOBAR, I. 1993. Cultivo del pimiento en sustratos en las condiciones del sudeste español, pp. 109-113. En: E. Martínez y M. García (ed.). *Cultivo sin suelo: hortalizas en clima mediterráneo*. Ediciones de Horticultura.
- GALINDO, P. 2005. *Módulo 11: Fertilizantes minerales: sólidos y líquidos*. Universidad Politécnica de Cartagena, España, 59 pp.
- GARCÍA, M.; URRESTARAZU, M. 1999. *Recirculación de la disolución nutritiva en los invernaderos de la Europa del Sur*. Caja Rural de Granada, España, 171 pp.
- INSTITUTO NACIONAL DE ESTADÍSTICAS. 2010. *Información Hortícola*. Publicación Especial 2008-2009. INE Ediciones, Santiago de Chile, 128 pp.
- INSTITUTO NACIONAL DE ESTADÍSTICAS. 2008. VII Censo Agropecuario y Forestal 2006-2007. Resultados preliminares. INE Ediciones, Santiago de Chile, 444 pp.
- LIÑAN, C. DE. 2001. *Vademecum de productos fitosanitarios y de nutrición vegetal*. Ediciones Agrícolas, Madrid, 592 pp.
- MARTÍNEZ, E.; GARCÍA, M. 1993. *Cultivos sin suelo: Hortalizas en clima mediterráneo*. Ediciones de Horticultura, S.L., Reus, España, 123 pp.
- SAAVEDRA, A. y TAPIA, L. 2009. Evaluación de las estrategias de producción de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill) fuera de estación para la agricultura de la provincia de Arica, Chile, entre los años 1995-2005. *Idesia* 27 (2): 91-96.
- SALAS, M.C.; URRESTARAZU, M. 2001. Técnicas de fertirrigación en cultivo sin suelo, Manuales de la Universidad de Almería, Servicios de Publicaciones de la Universidad de Almería. España, 280 pp.

- SÁNCHEZ, A. 2004. Análisis y diagnóstico nutricional en cultivos sin suelo, pp. 49-79. En: M. Urrestarazu (ed.), *Tratado de cultivo sin suelo*. 3ª Ed. Mundi-Prensa, Madrid.
- SONNEVELD, C. 1980. Growing cucumbers and tomatoes in Rockwool. Proceedings Fifth International Congress on Soilless Culture. Wageningen, Netherlands, pp. 253-262.
- SONNEVELD, C. 2004. La nutrición mineral y salinidad en los cultivos sin suelo: su manejo, pp. 305-367. En: M. Urrestarazu (ed.), *Tratado de cultivo sin suelo*. 3ª Ed. Mundi-Prensa, Madrid.
- SONNEVELD, C. y STRAVER, N. 1994. Nutrient solutions for vegetables and flower grow in water o substrates. 10ª ed. Poefstation voor tuinbouw onder glas te Naaldwijk. Pa Netherlands, N° 8, 45 pp.
- STEINER, A.A. 1997. Principles for plant nutrition by a recirculating nutrient solutions. Proceedings 9th Int. Congre. Soilless Culture (ISOSC). Jersey, Reino Unido, pp. 505-513.
- TORRES, A. y ACEVEDO, E. 2008. El problema de salinidad en los recursos suelo y agua que afectan el riego en los valles de Lluta y Azapa en el norte de Chile. *Idesia* 26 (3): 31-44.
- TROUGH, E. 1951. *Mineral nutrition of plants*. University of Wisconsin Press, USA.
- URRESTARAZU, M. 2004. La disolución de fertirrigación, pp. 263-303. En: M. Urrestarazu (ed.), *Tratado de cultivo sin suelo*. 3ª Ed. Mundi-Prensa, Madrid.
- URRESTARAZU, M. y MAZUELA, P. 2005. Effect of slow-release oxygen supply by fertigation on horticultural crops under soilless culture. *Scientia Horticulturae* 106 (4): 484-490.
- URRESTARAZU, M.; MAZUELA, P.; DEL CASTILLO, J.; SABADA, S. y MURO, J. 2005. Fibra de pino: un sustrato ecológico. *Horticultura Internacional*, 49: 28-33.
- VARLEY, M.J.; BURRAGE, S.W. 1981. New solution for lettuce. *Grower* 95 (15), 19-21, 23, 25.
- VEGA, M. y RAYA, J.L. 2004. I. Cultivo en lana de roca, pp. 603-621. En: M. Urrestarazu (ed.), *Tratado de cultivo sin suelo*. 3ª Ed. Mundi-Prensa, Madrid.







Colección frutas y hortalizas  
Ediciones Universidad de Tarapacá  
2013

ISBN 978-956-7021-36-9



9 789567 021369