

Principios de Fertirriego

Incluye ejercicios para la disolución
nutritiva de hortalizas

PILAR CAROLINA MAZUELA ÁGUILA
FERNANDO DE LA RIVA MORALES
JUAN FRANCISCO TREVIZAN RISPOLI

Colección *frutas* y hortalizas

Departamento de Producción Agrícola,
Universidad de Tarapacá

2020



Principios de Fertirriego. Incluye ejercicios para la disolución nutritiva de hortalizas

© Universidad de Tarapacá, Arica, Chile

ISBN: 978-956-6028-18-5

Registro de Propiedad Intelectual: 2020-A-10329

Autores:

Pilar Carolina Mazuela Águila

Fernando de La Riva Morales

Juan Francisco Trevizan Rispoli

Colaboradora

Yeny Alejandra Ángel Rojas

Nancy Águila Carrasco

Colección **frutas** y hortalizas

Facultad de Ciencias Agronómicas

Universidad de Tarapacá

Ediciones Universidad de Tarapacá

2020

Diseño y maquetación: Andros, Santiago

Imprenta: Andros, Santiago

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

Los autores quieren agradecer al Ministerio de Educación que adjudicó a la Universidad de Tarapacá el Proyecto Convenio de Desempeño UTA 1799 “Implemento de un plan de fortalecimiento institucional en los ámbitos de metodologías docentes, investigación transfronteriza con países vecinos de Perú y Bolivia y evaluación de impacto para la consolidación de programas de apoyo y acompañamiento estudiantil”. El proyecto ha hecho posible la elaboración e impresión de este libro que queda a disposición del sector productivo y académico. Con este texto entregamos principios de fertirrigación que incluyen ejercicios resueltos considerando la disponibilidad y calidad del agua de riego en la zona norte del país. Estos principios pueden ser aplicables a la realidad de la agricultura con características similares como un aporte al mejoramiento del manejo sustentable del agua para la fertirrigación en condiciones áridas y semiáridas.

LOS AUTORES

Presentación

El libro que ahora presentamos, *Principios de Fertirriego*, es la segunda edición actualizada del Manual de Fertirriego, con el que esperamos aportar nuevos conocimientos para el cálculo de la disolución nutritiva utilizando aguas salinas. El libro incluye ejercicios resueltos para que el técnico o asesor pueda hacer formulaciones de fertirriego de acuerdo con las características del agua de riego, los requerimientos del cultivo y el estado fenológico de la planta.

Queremos agradecer al Ministerio de Educación y a todo el equipo del Convenio de Desempeño CD UTA 1799 que ha hecho posible esta edición corregida que ponemos a disposición de los asesores, productores e investigadores vinculados a la agricultura. De esta manera, los autores desean contribuir a mejorar labores de cultivo que afectan el costo de producción y, con ello, aspectos de sostenibilidad económica y ambiental que inciden en la producción de hortalizas.

Este año la Facultad de Ciencias Agronómicas de la Universidad de Tarapacá cumple 57 años al servicio de la investigación, la formación de capital humano y la transferencia de conocimientos al sector productivo. Su origen está en la creación del Laboratorio de Investigación y Control de Plagas, en 1963, por iniciativa de la Honorable Junta de Adelanto de Arica. En 1966, el laboratorio se transformó en el Centro de Investigación y Capacitación Agrícola (CICA), que en 1969 se convirtió en el Departamento de Agricultura de la Universidad del Norte.

En 1981, cuando se crea la Universidad de Tarapacá, pasa a denominarse Instituto de Agronomía. En 1998, con la experiencia de más de 25 años investigando los principales cultivos de la antigua región de Tarapacá y el sur de Perú, en una decisión estratégica que permitiría la formación de ingenieros agrónomos, el Instituto de Agronomía se transforma en Facultad de Agronomía y en 2006 cambia su nombre a Facultad de Ciencias Agronómicas.

Con la creación de la carrera de Agronomía, a partir de 1998, se ha puesto especial énfasis en formar capital humano para dar respuesta a los problemas de la agricultura moderna, cuyo principal objetivo es proveer de alimentos a las personas y a los animales, en suelos degradados y marginales debido a enfermedades, salinización, escasez hídrica y cambio climático. En estos 57 años de participación en el desarrollo de la agricultura regional hemos sido protagonistas y testigos de la importancia de los valles de la región de Arica y Parinacota en la oferta de hortalizas para la zona Central durante los meses de invierno, en forma sostenible.

Hoy, en 2020, el desierto es considerado un laboratorio natural para aprender del manejo del fertirriego frente al cambio climático. Además, las condiciones edafoclimáticas

permiten que los productos sean de mejor calidad desde el punto de vista organoléptico y nutracéutico. El desafío para los próximos años es producir en forma sostenible desde el punto de vista económico, social y medioambiental. Los consumidores son cada vez más exigentes en su alimentación y demandan que los procesos de producción, el cuidado del medio ambiente y el respeto a las condiciones laborales de los productores sean sustentables.

Durante la década de los 60 y con apoyo de la Honorable Junta de Adelanto de Arica (JAA) se hicieron estudios sistemáticos de los factores que afectaban a los cultivos de los valles de Lluta, Azapa y Camarones, en riego, fertilización y fitosanidad, logrando que los investigadores dieran solución a problemas fitosanitarios nunca antes analizados en el país. Estos aspectos de manejo cultural siguen siendo de importancia agronómica debido a que afectan la rentabilidad del cultivo y la eficiencia de recursos como agua y tierra.

Revista *IDESIA*

Iniciada la década de los 70, se hizo imperativa la necesidad de divulgar la experiencia adquirida en los campos como resultado de los programas de investigación que se focalizaban en cuatro cultivos: tomate, fréjol, alfalfa y maíz. Así, en agosto de 1970, se publica el primer número de la revista *IDESIA*, cuya presentación fue hecha por el director del Departamento de Agricultura, don Juan F. Pacheco W., quien, hace 50 años, escribió:

Pero creemos que es mucho más importante el concepto generalmente olvidado, de que estas 10.000 hectáreas se cultivan todo el año, que pueden dar sorprendentes rendimientos, que se destinan al cultivo de "primores" para abastecer los grandes mercados consumidores del centro y del sur de Chile, además de los 100.000 habitantes del Departamento de Arica y, por último, que estas 10.000 ha pueden bien representar potencialmente, y desde luego mejor trabajadas, la producción de 30.000 o 50.000 y, hasta tal vez, 100.000 ha de suelos menos fértiles de latitudes australes.

Situación actual

Durante la década de los 70, la Junta de Adelanto de Arica (JAA) encargó un estudio agroeconómico para determinar la producción, organización, manejo y comercialización de la agricultura del valle de Azapa. Los principales resultados de este estudio demuestran los cambios de los últimos 50 años respecto del manejo cultural, donde la productividad ha mejorado significativamente cuadruplicando los rendimientos medios en torno a las de 30 t ha⁻¹ de principios de los años 70. Sin embargo, la introducción de sistemas de riego más eficientes, pasando del riego por caracol a riego por goteo, ha sido insuficiente para mejorar la eficiencia hídrica y la sustentabilidad del recurso hídrico, principalmente debido a que las tecnologías que se adoptan son transferidas tal como en el lugar de origen, sin considerar que las condiciones de clima, agua y suelo son diferentes.

En el estudio de la JAA se hace un especial énfasis al desconocimiento generalizado de las normas técnicas elementales de dosificación de nutrientes en la planta, situación que persiste hasta hoy. Una fertilización inadecuada causa diversos problemas que afectan al productor y la sustentabilidad de la agricultura debido a: 1) salinización del acuífero; 2) salinización del suelo cultivado; 3) aumento en los costos de producción por exceso en la aplicación de fertilizantes; 4) menor rendimiento del cultivo por envejecimiento prematuro de la planta. Con este libro pretendemos aportar, a la comunidad productiva, nuestros conocimientos para mejorar la eficiencia en el uso de los fertilizantes, de manera de contribuir a una agricultura más sostenible desde el punto de vista económico y ambiental.

Índice

ÍNDICE DE CONTENIDOS

I.	Antecedentes generales para la nutrición de las plantas.....	15
II.	Aspectos a considerar para la nutrición de las plantas	21
III.	La disolución nutritiva	27
IV.	Manejo del fertirriego según los objetivos de producción.....	31
V.	Cálculo de la disolución nutritiva, sin considerar el agua de riego..	35
VI.	Cálculo de la disolución nutritiva, considerando el aporte del agua de riego	37
VII.	Cálculo de la disolución nutritiva, considerando agua de riego de un valle costero de la región de Arica y Parinacota	41
VIII.	Formas de expresar la concentración de sales y sus equivalencias ..	47
IX.	Glosario	49
X.	Referencias.....	57

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1	Superficie (ha), total nacional y regional; rendimiento (kg m^{-2}), medida nacional y medida regional, según especie.....	16
Tabla 2	Nutrientes esenciales para el crecimiento vegetal.....	19
Tabla 3	Composición media del agua de riego en el norte de Chile.....	22
Tabla 4	Niveles de referencia para la disolución nutritiva para las principales hortalizas que se cultivan en el valle de Azapa, según autor.....	28
Tabla 5	Densidad y riqueza de los ácidos comerciales más usados en la agricultura	28

Tabla 6	Pesos atómicos (Pa), moleculares o iónicos (Pm) para los diferentes iones presentes en las aguas de riego y fertilizantes más frecuentes en la agricultura, así como su peso equivalente (Pe) en función de la valencia (v).....	29
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	30
Tabla 8	Equilibrio de los macronutrientes en una disolución nutritiva universal para cultivos que crecen en ella. Proporción expresada en equivalente.....	32
Tabla 9	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 ión	33
Tabla 10	Disolución nutritiva de Sonneveld (1980) para un cultivo de tomates según Tabla 4.....	35
Tabla 11	Transformación de unidad de los nutrientes a aportar.....	35
Tabla 12	Aporte de nutrientes mediante los fertilizantes.....	35
Tabla 13	Composición química del agua de riego (en me L ⁻¹).....	37
Tabla 14	Disolución nutritiva deseada expresado en mmol L ⁻¹	37
Tabla 15	Transformación de unidad de los nutrientes a aportar, según valencia.....	38
Tabla 16	Disolución nutritiva deseada (DNd), considerando el agua de riego (Ar) y el aporte nutritivo que se debe hacer mediante los fertilizantes (DNfz)	38
Tabla 17	Aporte de nutrientes mediante los fertilizantes.....	38
Tabla 18	Disolución nutritiva final (DNf), considerando el agua de riego (Ar) y el aporte nutritivo mediante los fertilizantes (DNfz)	39
Tabla 19	Composición química del agua de riego (en mmol L ⁻¹)	41
Tabla 20	Disolución nutritiva para un cultivo de tomate, según García y Urrestarazu, 1999.....	41

Tabla 21	Transformación de unidad de los nutrientes a aportar, según valencia.....	42
Tabla 22	Disolución nutritiva deseada (DNd), considerando el agua de riego (Ar) y el aporte nutritivo que se debe hacer mediante los fertilizantes (DNfz).....	42
Tabla 23	Aporte final de nutrientes mediante los fertilizantes, usando ácido nítrico.....	42
Tabla 24	Aporte final de nutrientes mediante los fertilizantes, usando ácido fosfórico.....	43
Tabla 25	Disolución nutritiva final (DNf), considerando el agua de riego (Ar) y el aporte nutritivo mediante los fertilizantes (DNfz), con ácido nítrico.....	43
Tabla 26	Disolución nutritiva final (DNf), considerando el agua de riego (Ar) y el aporte nutritivo mediante los fertilizantes (DNfz), con ácido fosfórico.....	44
Tabla 27	Factores de conversión entre diferentes parámetros y unidades de concentración y conductividad eléctrica (CE).....	47

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1	Fotosíntesis donde las plantas transforman la energía en biomasa.....	18
Figura 2	pH disponibilidad de los nutrientes.....	24
Figura 3	Concentración de fertilizantes en el agua de riego.....	26
Figura 4	Infraestructura básica de un sistema de fertirrigación.....	32
Figura 5	Infraestructura de un sistema de fertirrigación para una disolución nutritiva 100 veces concentrada.....	33

I. Antecedentes generales para la nutrición de las plantas

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 medio ambiente. 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 medio ambiente
7. Manejo del contenido nutricional de las hortalizas

Por tanto, permite la sustentabilidad de la producción.

Hoy no se entiende un cultivo y su producción desligado de las consideraciones medioambientales y sus efectos en la salud de consumidores y productores. Es común utilizar ciertos 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 son: cultivo ecológico, cultivo biológico, agricultura sostenible, sustentable, agricultura no contaminante y amigable con el medio ambiente, producción controlada, producción integrada. Todos tienen en común un intento de racionalizar la producción con mayor o menor grado de exigencias 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⁻¹ en tomate; 46,5 t ha⁻¹ en pimiento, y 9,8 t ha⁻¹ en poroto verde respecto de la media nacional de 71, 37 y 8,4 t ha⁻¹, 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⁻²), media nacional y media regional, según especie.
Sin información (s.i.)

Región	Tomate		Pimiento		Poroto verde		Pepino ensalada	
	¹ ha	² kg m ⁻²						
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: ¹INE, 2008, ²INE, 2010.

Los agricultores de los valles costeros de la región de Arica y Parinacota han visto que con la instalación de la industria semillera el costo de la tierra agrícola ha aumentado, lo que obliga a mejorar los sistemas productivos para hacer sostenible esta actividad. Las mediciones de campo que han sido realizadas 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 no son aprovechados por la planta, lo que aumenta el costo de producción innecesariamente, afectando la rentabilidad final del cultivo. Desde el punto de vista medioambiental, la forma cómo se fertiliza incide en la salinización del suelo.

El clima

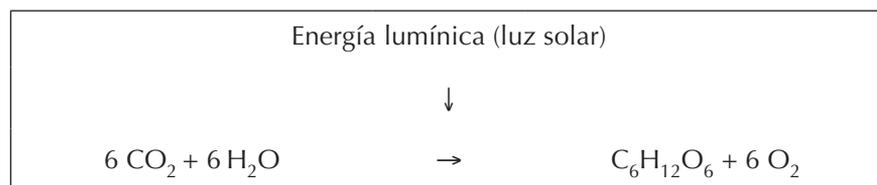
La región de Arica y Parinacota presenta condiciones climáticas excepcionales para el cultivo de hortalizas durante todo el año, y es el principal proveedor de hortalizas de la zona central durante el invierno (Saavedra y Tapia, 2009). Predominan las condiciones de clima de desierto costero con nubosidad 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 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. Se estima que en la región se han superado las 1.000 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 los obtenga desde el suelo (y sus enmiendas) o desde el agua. Por esto, una de las prácticas más importantes que debe implementar 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, zinc, 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 no están disponibles en ninguna cantidad. Los elementos requeridos en mayor proporción son el carbono (C), oxígeno (O) e hidrógeno que la planta obtiene del agua (H₂O) y del dióxido de carbono (CO₂) que luego transforma en biomasa durante el proceso de fotosíntesis, así como se aprecia en la Figura 1:

Figura 1
Fotosíntesis donde las plantas transforman la energía en biomasa



Fuente: Gil, 1995.

Se estima que la composición media de una planta es 80% de agua (H-O) y 20% de materia orgánica. De este 20%, el 40% es oxígeno y 48% carbono. Estos tres elementos (C-H-O) generan el 97,6% de la biomasa de las plantas. Del 2,4% restante, 1,008% está compuesto por N-P-K y el resto (1,392%) corresponde a los macroelementos secundarios (K-S-Mg) y a los microelementos. Se observa 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 de manera significativa su rendimiento (Urrestarazu y Mazuela, 2005).

Los elementos considerados esenciales para el crecimiento y desarrollo de las plantas pueden ser clasificados de diferentes formas. En la Tabla 2 se clasifican los elementos esenciales e incluye otros microelementos como esenciales.

Tabla 2
Nutrientes esenciales para el crecimiento vegetal¹

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

Fuente: ¹Bennet, 1993, ²Sánchez, 2004.

Sánchez (2004) clasifica los nutrientes esenciales en función del papel que 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 oxidoreducción: 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

Como se explicó anteriormente, siempre es aconsejable hacer análisis de suelo y agua al inicio del cultivo, para recomendar el programa de fertilización inicial del cultivo con base en 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 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 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 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). 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 y, en general, es 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 deberá trabajar para mantener 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 de 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, 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, el cultivo de hortalizas se hace con aguas de riego con conductividad eléctrica entre $0,82 \text{ dS m}^{-1}$ (del canal Lauca) hasta $2,50 \text{ dS m}^{-1}$. Para un buen manejo del fertirriego, no solo es importante la CE del agua de riego, sino que además es importante conocer la composición química del agua de riego que se describe en la Tabla 3, donde se observa que el agua de los valles y oasis del norte tiene una alta concentración de sodio, cloruros, calcio y sulfatos y es pobre en fosfatos, nitratos y potasio.

Tabla 3
Composición media del agua de riego en el norte de Chile

	CE		me L ⁻¹								
	pH	(dS m ⁻¹)	HCO ₃ ⁻	NO ₃ ⁻	H ₂ PO ₄ ⁻	Cl ⁻	SO ₄ ⁻²	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	K ⁺
Lluta km 19	7,23	2,50	1,32	0	0	14,37	9,77	9,32	2,82	12,75	0,63
Azapa, Canal Lauca	7,17	0,82	1,90	0	0,13	3,15	3,50	3,63	0,88	3,60	0,08
Azapa, Pozo km 10	6,78	2,31	2,85	0,06	0,06	8,74	11,21	16,1	2,50	4,23	0,36
Cerro Sombrero, Arica	6,90	2,36	4,67	0,22	0,51	11,10	8,44	5,75	4,19	10,26	3,49
Caleta Vítor, Arica	7,33	1,93	2,60	0	0	6,40	11,18	11,72	2,21	7,11	0,24
Pica, Iquique	7,23	1,89	4,00	0,34	0	4,03	10,10	6,94	1,06	10,96	0,44

Fuente: Laboratorio de Química, Universidad de Tarapacá.

Manejo de la CE bajo condiciones de aguas salinas

En general, se recomienda que la CE de la disolución nutritiva sea entre $1,7$ y $2,5 \text{ dS m}^{-1}$, dependiendo de la CE del agua de riego. En términos prácticos, significa que,

si se fertirriega con agua con CE de $0,8 \text{ dS m}^{-1}$, puede agregarse hasta $0,9 \text{ dS m}^{-1}$ de fertilizantes para llegar a una concentración de $1,7 \text{ dS m}^{-1}$. Esto tiene el inconveniente de que si partimos con agua de alta concentración inicial en sales, queda poco margen para dotar a la planta de los nutrientes esenciales en la proporción que necesita y que no es aportada por el agua. En este caso, no queda más alternativa que aumentar la CE de la consigna de fertirriego hasta $3,5 \text{ dS m}^{-1}$. En el ejemplo de agua con CE de $2,52 \text{ dS m}^{-1}$ podía agregarse hasta 1 dS m^{-1} de la disolución nutritiva para asegurarnos de que el cultivo está siendo fertilizado según sus requerimientos nutritivos. 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. Según la calidad del agua, se recomienda aplicar al cultivo los nutrientes que están faltando, de otra manera la planta no llegará al nivel de producción esperado. En las hortalizas de frutos, el exceso de sales disminuye la producción, aunque se observa mejor calidad en las características organolépticas, al tener mayor dulzor que se expresa en los sólidos solubles totales ($^{\circ}\text{Brix}$). Entre las prácticas culturales que se recomiendan para disolución nutritiva de alta conductividad eléctrica está hacer riegos de lavado con mayor frecuencia. Este riego debe ser con disolución nutritiva, no con agua, para asegurar el equilibrio de nutrientes en la zona donde crecen las raíces.

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. Es una práctica común en horticultura, aunque tiene que tomarse en cuenta que con ella se castiga la producción futura.

Temperatura

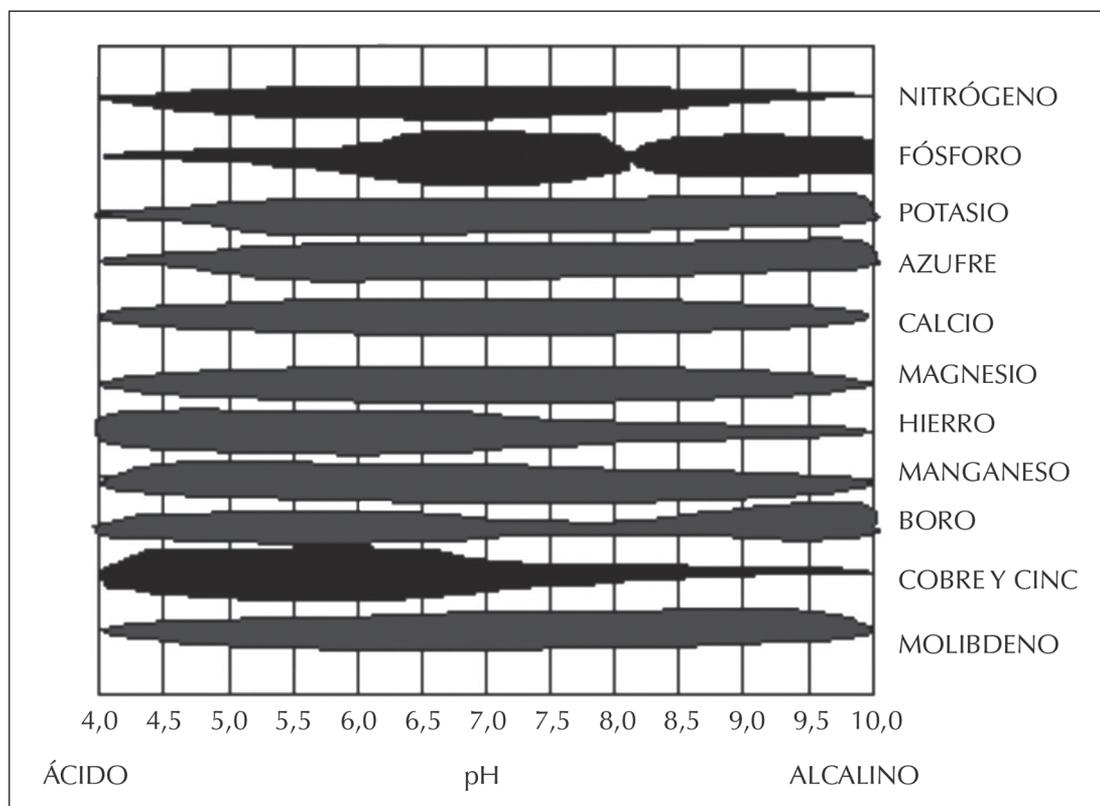
La temperatura ambiental es un factor a considerar durante el manejo del fertirriego y se recomienda que los cultivos de verano sean regados con una conductividad eléctrica menor que cultivos de invierno. Esto se debe a que, durante el verano, el aumento de la temperatura ambiental induce a una mayor transpiración de la planta.

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. El pH óptimo para la solubilidad de la mayoría de los elementos pH está entre 5,5 y 6,5 (Figura 2). El pH de la disolución nutritiva depende de la especie cultivada. Vega *et al.* (2004) recomiendan el pH y CE para las principales hortalizas cultivadas: tomate, pH 6 y CE 1,8 a $3,2 \text{ dS m}^{-1}$;

pimiento pH 5,8 y CE 1 a 1,8 dS m⁻¹; pepino pH 5,5 y CE 1,5 a 2,6 dS m⁻¹; poroto verde pH 5,8 y CE 1,5 a 2,2 dS m⁻¹ y melón pH 5,5 y CE 1,8 a 2,8 dS m⁻¹. Cuando se trabaja con cultivos aprovechables por los frutos como tomate, melón o pimiento, 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 K⁺ (el catión absorbido mayoritariamente) sobre el anión mayoritario NO₃⁻, liberando H⁺, y consecuentemente el pH de los drenajes tiende a bajar respecto del de la disolución nutritiva de entrada. La variación de pH de la rizósfera depende de tres factores básicos: 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 y la más frecuente es la incorporación de un tanque con ácido para regular el pH. Para agua 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. 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, así como sodio, cloruro y sulfato (los que abundan en las aguas de riego), 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.

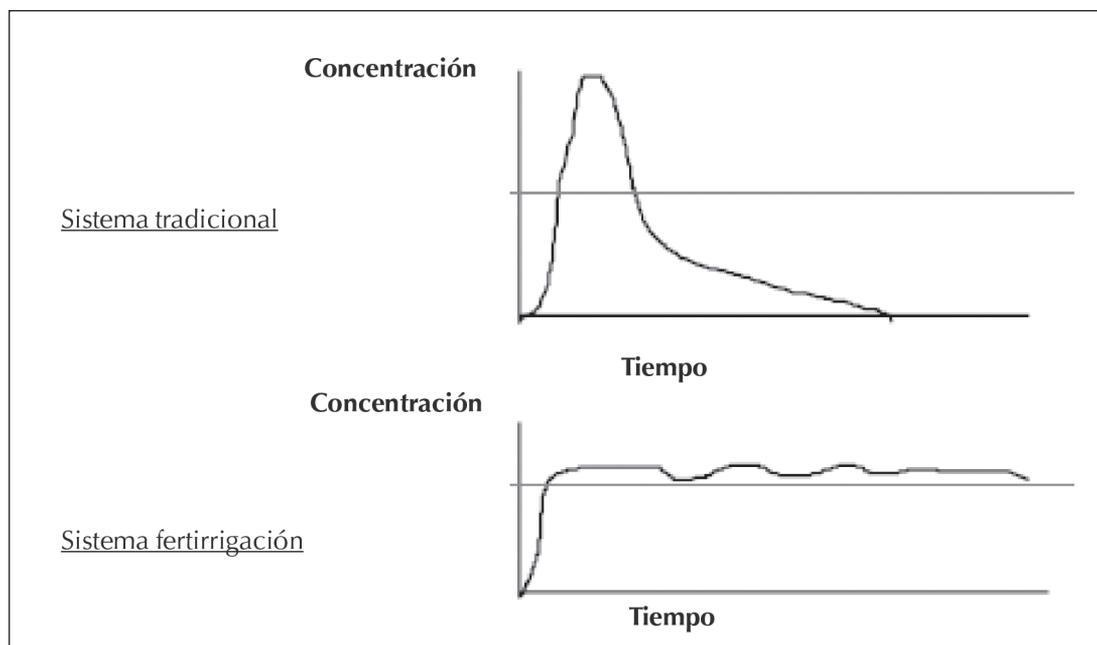
Mientras se desarrolla la planta encontraremos que durante su crecimiento vegetativo el pH de los drenajes tiende a subir, debido a una mayor absorción de nitratos, y al momento de maduración de los frutos, esta baja, llegando a niveles cercanos a pH 4, por la mayor absorción de potasio. Por tanto, hay 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 nutrientes debido a la alta concentración. En este caso, los nutrientes que se pretende aportar al cultivo podrían ser lixiviados o alejados de la rizosfera al proporcionar solamente agua al final del riego. En el caso de 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.

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. 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.

Figura 3
Concentración de fertilizantes en el agua de riego



Fuente: Galindo, 2005.

Código de buenas prácticas agrícolas

La optimización del uso de fertilizantes para minimizar el impacto ambiental en los suelos no solo obedece a razonamientos ecológicos y de sustentabilidad ambiental, sino también a 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. Consigna de referencia para la disolución nutritiva
3. Corrección de desequilibrios según el análisis previo
4. Elección de fertilizantes
5. Dosificación de los fertilizantes
6. Seguimiento de un plan de fertilización

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 que es muy importante el análisis de agua de riego, ya que según esto se elegirán 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 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 (me L^{-1}) y las disoluciones de referencia en milimoles litro (mmol L^{-1}), por lo que se recomienda llevar todo a la misma unidad con un sencillo cálculo donde se multiplica la valencia del ion por mmol L^{-1} para expresar todo en me L^{-1} (ver conversiones en Tabla 27). A la disolución nutritiva de referencia se le restan 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.

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 4
Niveles de referencia para la disolución nutritiva para las principales hortalizas, según autor

Especie según autor	mmol L ⁻¹						
	NO ₃ ⁻	H ₂ PO ₄ ⁻	SO ₄ ²⁻	NH ₄ ⁺	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺
Tomate							
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 y Mazuela, 2005	13,0	1,75	1,25	1,0	7,5	4,0	1,25
Urrestarazu <i>et al.</i> , 2005	13,0	2,0	2,0	1,0	7,5	4,0	2,0
Pimiento							
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
Pepino							
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	4,0	1,25
Poroto verde							
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
Melón							
Urrestarazu <i>et al.</i> , 2005	13,0	2,3	2,2	1,0	7,0	4,25	2,2

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

Densidad	Riqueza del ácido en %			
	HNO ₃	H ₃ PO ₄	H ₂ SO ₄	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.

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 ₄ ⁺	18	1	18	HNO ₃	Ácido nítrico	63	1	63
		NO ₃ ⁻	62	1	62	NH ₄ NO ₃	Amonio Nitrato	80	1	80
						(NH ₄) ₂ SO ₄	Amonio Sulfato	132	2	66
						Ca(NO ₃) ₂ ·4H ₂ O	Calcio Nitrato 4-hidrato	236	2	118
						Ca(NO ₃) ₂ ·H ₂ O	Calcio Nitrato 1-hidrato	182	2	91
						KNO ₃	Potasio Nitrato	101	1	101
P	31	H ₂ PO ₄ ⁻	97	1**	97	H ₃ PO ₄	Ácido fosfórico	98	1	98
						NH ₄ H ₂ PO ₄	Amonio di-hidrógeno Fosfato	115	1	115
						KH ₂ PO ₄	Potasio di-hidrógeno Fosfato	136	1	136
K	39	K ⁺	39	1	39	KNO ₃	Potasio Nitrato	101	1	101
						KH ₂ PO ₄	Potasio di-hidrógeno Fosfato	136	1	136
						K ₂ SO ₄	Potasio Sulfato	174	2	87
Ca	40	Ca ²⁺	40	2	20	Ca(NO ₃) ₂ ·4H ₂ O	Calcio Nitrato 4-hidrato	236	2	118
Mg	24	Mg ²⁺	24	2	12	MgSO ₄ ·7H ₂ O	Magnesio Sulfato 7-hidrato	246	2	123
						Mg(NO ₃) ₂ ·6H ₂ O	Magnesio Nitrato 6-hidrato	256	2	128
S	32	SO ₄ ²⁻	96	2	48	K ₂ SO ₄	Potasio Sulfato	174	2	87
						MgSO ₄ ·7H ₂ O	Magnesio Sulfato 7-hidrato	246	2	123
						(NH ₄) ₂ SO ₄	Amonio Sulfato	132	2	66
Cl	35,5	Cl ⁻	35,5	1	35,5					
Na	23	Na ⁺	23	1	23					
C	12	CO ₃ ²⁻	60							
		HCO ₃ ⁻	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 .H ₂ O	32 Mn	169	3,258		
Zinc Sulfato 7-hidrato	ZnSO ₄ .7H ₂ O	23 Zn	287,5	1,957		
Cobre Sulfato 5-hidrato	CuSO ₄ .5H ₂ O	25 Cu	249,7	2,284		
Edta-Fe.Na ⁽¹⁾	–	13 Fe	421,1	0,650	4,5	0-8
EDTA.Fe.K ⁽¹⁾	–	6 Fe	397,2	1,350	7,0	0-8
DTPA.Fe.HNa ₂ ⁽¹⁾	–	11 Fe	468,2	0,750	3,0	0-10
DTPA.Fe.(NH ₄) ₂ ⁽¹⁾ Especial para hidroponía		6 Fe	480,2	1,300	6,5	0-10
HEDTA.Fe ⁽¹⁾		6 Fe	331,1	1,300	7,0	0-10
EDDHA.Fe.Na ⁽¹⁾		6 Fe	435,2	0,750	6,0	
EDTA.Mn.Na ₂ ⁽¹⁾		13 Mn	389,1	0,625	6,5	2-14
EDTA.Mn.K ₂ ⁽¹⁾		6 Mn	421,4	1,330	6,5	2-14
EDTA.Zn.Na ₂ ⁽¹⁾		15 Zn	399,6	0,625	6,5	3-11
EDTA.Zn.(NH ₄) ₂ ⁽¹⁾		10 Zn	389,7	1,300	6,0	3-11
EDTA.Cu.Na ₂ ⁽¹⁾		15 Cu	397,7	0,625	6,5	0-14
EDTA.Cu.(NH ₄) ₂ ⁽¹⁾		9 Cu	387,8	1,300	6,0	0-14
Di-Sodio Tetraborato 10-hidrato	Na ₂ B ₄ O ₇ .10H ₂ O	11 B	381,2	1,73		
Ácido bórico	H ₃ BO ₃	17 B	61,8	1,423		
Sodio Molibdato 2-hidrato	Na ₂ MoO ₄ .2H ₂ O	40 Mo	241,9	3,28		
Amonio Heptamolibdato	(NH ₄) ₆ Mo ₇ O ₂₄	58 Mo	1163,3			

Producto comercial ⁽²⁾	Composición expresada en %						Dosificación para plantas hortícolas (Tanque de 1.000 L disolución concentrada 100 veces)
	Fe	Mn	Zn	Cu	B	Mo	
Microcat*	1,71	1,12	0,34	0,05	0,21	0,04	
Mix LHR**	0,82	1,64	1,64	0,25	0,16	0,025	12 L (líquido)
Nutrel C*	7,5	3,3	0,6	0,3	0,7	0,2	3-4,5 kg ⁽³⁾
Trichoquel Mix-Q*	7,5	3,5	0,5	0,2	0,5	0,2	3-4 kg
Zipolex	9	4,5	0,6	0,15	0,03	2,5	1,5-2,5 kg

Fuente: ⁽¹⁾ Catálogo de Akzo Nobel, citado por Urrestarazu, 2004; ⁽²⁾ Liñan (2001); ⁽³⁾ 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 darle 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, no siempre la demanda de la planta, que podríamos denominar *demanda potencial* en las mejores condiciones para ella, coincide con las pretensiones del productor. Por ejemplo, si un cultivo está en pleno desarrollo vegetativo y esta tendencia no coincide con nuestros fines, porque 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 incremento 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 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

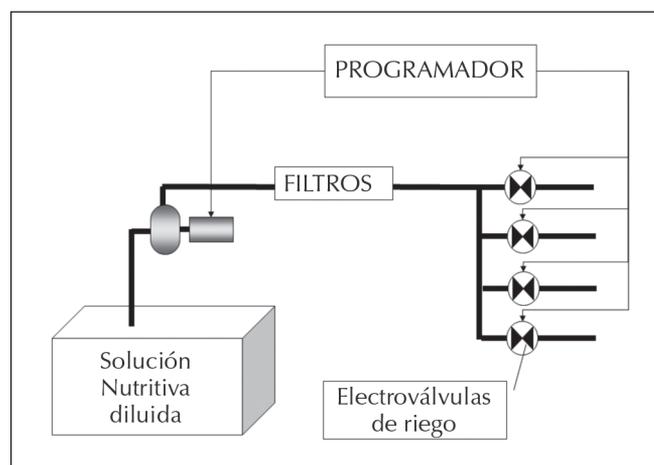
Relación en equivalente expresada como:	Cationes				Aniones			
	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	NO ₃ ⁻	H ₂ PO ₄ ⁻	SO ₄ ²⁻	Cl ⁻
Disolución nutritiva universal	35	45	20	0	60	5	35	0
Límites tolerables	25/45	35/55	6	**	35/65	3/12	25/45	0/20
Cultivos aprovechables por frutos *	50	44	6	**	69	9	22	**
Cultivos aprovechables 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.

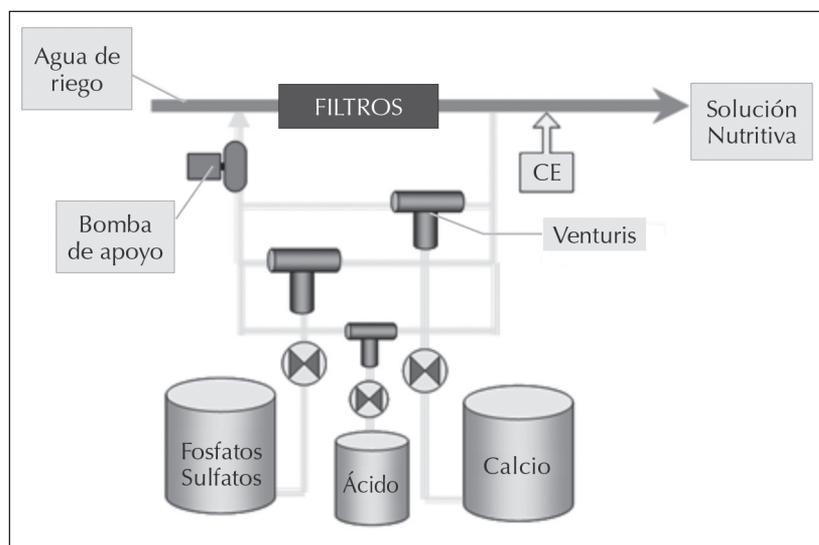
En las explotaciones comerciales se recomienda que la disolución nutritiva se prepare concentrada en estanques de 1 o 2 m³ de capacidad, según el tamaño de la explotación, de manera de facilitar el manejo del cultivo. Si la disolución nutritiva está diluida o se concentra entre 10 o 15 veces, se puede 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 de 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 m³ de fertilizante en una disolución madre 100 veces concentrada para obtener una concentración final de 1 me L⁻¹ de cada ion

Fertilizante	anión	catión	kilogramos	litros
Ácido nítrico (37%)	NO ₃ ⁻		17,0	13,8
Ácido nítrico (59%)	NO ₃ ⁻		10,7	7,8
Ácido fosfórico (37%)	PO ₄ ⁻		26,5	21,2
Ácido fosfórico (75%)	PO ₄ ⁻		13,0	8,2
Nitrato potásico	NO ₃ ⁻	K ⁺	10,1	
Nitrato amónico	NO ₃ ⁻	NH ₄ ⁺	8,0	
Nitrato cálcico (4 H ₂ O)	NO ₃ ⁻	Ca ²⁺	11,8	
Nitrato cálcico (1 H ₂ O)	NO ₃ ⁻	Ca ²⁺	9,1	
Nitrato magnésico	NO ₃ ⁻	Mg ²⁺	12,8	
Fosfato monopotásico	PO ₄ ⁻	K ⁺	13,6	
Fosfato monoamónico	PO ₄ ⁻	NH ₄ ⁺	11,5	
Fosfato monocálcico (2 H ₂ O)	PO ₄ ⁻	Ca ²⁺	11,1	
Sulfato potásico	SO ₄ ²⁻	K ⁺	8,7	
Sulfato magnésico	SO ₄ ²⁻	Mg ²⁺	12,3	
Sulfato amónico	SO ₄ ²⁻	NH ₄ ⁺	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 componentes de la disolución nutritiva de referencia se hará mediante 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 tomate, según Tabla 4

mmol L ⁻¹						
NO ₃ ⁻	H ₂ PO ₄ ⁻	SO ₄ ²⁻	Ca ²⁺	K ⁺	Mg ²⁺	NH ₄ ⁺
10,5	1,50	2,50	3,75	7,00	1,00	0,50

En primer lugar, debemos transformar los mmol L⁻¹ a me L⁻¹, 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 ₃ ⁻	H ₂ PO ₄ ⁻	SO ₄ ²⁻	Ca ²⁺	K ⁺	Mg ²⁺	NH ₄ ⁺
mmol L ⁻¹	10,5	1,50	2,50	3,75	7,00	1,00	0,50
Valencia	1	1	2	2	1	2	1
me L ⁻¹	10,5	1,50	5,00	7,50	7,00	2,00	0,50

Tabla 12
Aporte de nutrientes mediante los fertilizantes

Cationes (me L ⁻¹)						
Aniones	H ⁺	Ca ⁺²	K ⁺	Mg ⁺²	NH ₄ ⁺	Total aniones
NO ₃ ⁻		7,5	2,5		0,5	10,5
H ₂ PO ₄ ⁻			1,5			1,5
SO ₄ ⁻²			3,0	2,0		5,0
Total cationes		7,5	7,0	2,0	0,5	17,0

¿Cuánto fertilizante se debe aplicar?

Supongamos que la capacidad del estanque es de 4 m^3 y se debe calcular los kilos o litros de fertilizantes que hay que colocar para regar una pequeña estación de 1.000 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 me L^{-1} de nitrato de amonio; $1,5 \text{ me L}^{-1}$ de fosfato potásico; 3 me L^{-1} de sulfato potásico y, 2 me L^{-1} de sulfato de magnesio. Según la Tabla 6, sabemos el peso equivalente (pe) correspondiente a un me L^{-1} para cada fertilizante. La unidad de un me L^{-1} corresponde al peso equivalente expresado en mg L^{-1} . Los pasos a seguir son pesar los fertilizantes:

- Nitrato de calcio: $7,5 \text{ me L}^{-1} * 118 \text{ mg me}^{-1} = 885 \text{ mg L}^{-1}$. Para 4 m^3 se necesita $3,54 \text{ Kg}$.
- Nitrato de potasio: $2,5 \text{ me L}^{-1} * 101 \text{ mg me}^{-1} = 252,5 \text{ mg L}^{-1}$. Para 4 m^3 se requiere 1010 g .
- Nitrato de amonio: $0,5 \text{ me L}^{-1} * 80 \text{ mg me}^{-1} = 40 \text{ mg L}^{-1}$. Para 4 m^3 se requiere 160 g .
- Fosfato monopotásico: $1,5 \text{ me L}^{-1} * 136 \text{ mg me}^{-1} = 204 \text{ mg L}^{-1}$. Para 4 m^3 se requiere 816 g .
- Sulfato potásico: $3,0 \text{ me L}^{-1} * 87 \text{ mg me}^{-1} = 261 \text{ mg L}^{-1}$. Para 4 m^3 se requiere 1044 g .
- Sulfato de magnesio: $2,0 \text{ me L}^{-1} * 123 \text{ mg me}^{-1} = 246 \text{ mg L}^{-1}$. Para 4 m^3 se requiere 984 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 1.000 m^2 . Por tanto, al día se gasta 2.000 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 4.000 L (4 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 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 dS m⁻¹ con una composición química según se indica en la Tabla 13:

Tabla 13
Composición química del agua de riego (en me L⁻¹)

HCO ₃ ⁻	NO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	Cl ⁻	Ca ²⁺	K ⁺	Mg ²⁺	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 expresado en mmol L⁻¹

HCO ₃ ⁻	NO ₃ ⁻	H ₂ PO ₄ ⁻	SO ₄ ²⁻	Ca ²⁺	K ⁺	Mg ²⁺	NH ₄ ⁺
0,50	12,0	1,5	<3,00	4,25	6,00	2,00	<1,00

En primer lugar, debemos transformar los mmol L⁻¹, expresados en la disolución nutritiva deseada de la Tabla 14, a me L⁻¹. Por 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_3^-	NO_3^-	H_2PO_4^-	SO_4^{2-}	Ca^{2+}	K^+	Mg^{2+}	NH_4^+
mmol L ⁻¹	0,50	12,0	1,50	<3,00	4,25	6,00	2,00	<1,00
Valencia	1	1	1	2	2	1	2	1
me L ⁻¹	0,50	12,0	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 mediante los fertilizantes (DNfz)

	me L ⁻¹							
	HCO_3^-	NO_3^-	H_2PO_4^-	SO_4^{2-}	Ca^{2+}	K^+	Mg^{2+}	NH_4^+
DNd	0,50	12,0	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)	11,9	1,50	<4,57	6,01	5,99	0,98	<1,00

Por 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 mediante los fertilizantes

Aniones	Cationes (me L ⁻¹)					Total aniones
	H ⁺	Ca ⁺²	K ⁺	Mg ⁺²	NH ₄ ⁺	
NO ₃ ⁻	1,50	6,01	2,99	0,98	0,50	11,98
H ₂ PO ₄ ⁻	1,50	-	-	-	-	1,50
SO ₄ ⁻²	-	-	3,00	-	-	3,00
Total cationes	3,00	6,01	5,99	0,98	0,50	

¿Cuántos fertilizantes y en qué cantidad se debe aplicar?

Con 1,5 me L⁻¹ de ácido nítrico y 1,5 me L⁻¹ de ácido fosfórico se neutraliza el bicarbonato para ajustarlo a 0,5 me L⁻¹ y asegurar un pH entre 5,5 y 5,8. Los otros fertilizantes a aplicar son 6,01 me L⁻¹ de nitrato de calcio; 2,99 me L⁻¹ de nitrato de potasio; 0,98 me L⁻¹ de nitrato de magnesio, 0,5 me L⁻¹ de nitrato de amonio y 3 me L⁻¹ de sulfato de potasio.

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 mediante los fertilizantes (DNfz)

	me L ⁻¹							
	HCO ₃ ⁻	NO ₃ ⁻	H ₂ PO ₄ ⁻	SO ₄ ²⁻	Ca ²⁺	K ⁺	Mg ²⁺	NH ₄ ⁺
DNfz	(3,0)	11,98	1,50	3,00	6,01	5,99	0,98	0,50
Ar	3,50	0,10	0	1,43	2,49	0,01	3,02	0
DNf	0,50	12,08	1,50	4,43	8,50	6,00	4,00	0,50

Supongamos que tenemos un estanque de 4 m³ y necesitamos calcular los kilos o litros de fertilizantes que hay que colocar para regar una estación de 2.500 m² con un aporte hídrico medio de 2 L m⁻² día⁻¹. En este caso, la capacidad del estanque no satisface los requerimientos hídricos diarios de la estación de cultivo, pues 2 L m⁻² d⁻¹ en una superficie de 2.500 m² demanda 5.000 L diarios de disolución nutritiva. En este caso se recomienda concentrar la disolución madre hasta 15 veces.

Los pasos a seguir:

- Para el ácido nítrico al 59%: $1,5 \text{ me L}^{-1} * 107 \text{ mg me}^{-1} = 160,5 \text{ mg L}^{-1}$ (pe del ácido nítrico es 63, para el cálculo del peso se debe multiplicar el pe por 100 y dividir por el porcentaje de pureza, donde se obtiene 107 mg me⁻¹). Para los 4 m³ se requiere 642 g. Para la disolución madre 15 veces concentrada, se debe agregar 9,63 kg de ácido nítrico.
- Si utilizamos ácido fosfórico al 37%: $1,5 \text{ me L}^{-1} * 265 \text{ mg me}^{-1} = 397,5 \text{ mg L}^{-1}$ (pe del ácido fosfórico es 98, como está al 37% de pureza, se requiere 265 mg por me, resultado de multiplicar 98 por 100, dividido por 37). Como los estanques son de 4.000 L, se debe multiplicar por este número. Al convertir los mg a kg, da un total de 1,59 kg de ácido fosfórico. Para la disolución madre 15 veces concentrada, se debe agregar 23,85 kg de ácido fosfórico.
- Nitrato de calcio: $6,01 \text{ me L}^{-1} * 118 \text{ mg me}^{-1} = 709 \text{ mg L}^{-1}$. Para 4 m³, 15 veces concentrada, se necesita 42,55 kg.
- Nitrato de potasio: $2,99 \text{ me L}^{-1} * 101 \text{ mg me}^{-1} = 302 \text{ mg L}^{-1}$. Se requiere 18,12 kg.
- Nitrato de magnesio: $0,98 \text{ me L}^{-1} * 128 \text{ mg me}^{-1} = 125 \text{ mg L}^{-1}$. Se necesita 7,5 kg.
- Nitrato de amonio: $0,5 \text{ me L}^{-1} * 80 \text{ mg me}^{-1} = 40 \text{ mg L}^{-1}$. Se requiere 2,4 kg.
- Sulfato de potasio: $3,0 \text{ me L}^{-1} * 87 \text{ mg me}^{-1} = 261 \text{ mg L}^{-1}$. Se requiere 15,66 kg.

¿Cuántos días durará el estanque?

En este caso se preparó la disolución madre concentrada 15 veces, por tanto el volumen de agua de riego que se puede aportar es de 60 m^3 . Se está regando $2 \text{ L m}^{-2} \text{ día}^{-1}$ en una superficie de 2.500 m^2 , por tanto, al día se gasta 5.000 L . La disolución madre le permite dotar al cultivo de 60.000 L de agua, por 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 nítrico al 59%: 6,42 kg
- Ácido fosfórico al 37%: 15,9 kg.
- Nitrato de calcio: 28,36 kg.
- Nitrato de potasio: 12,08 kg.
- Nitrato de magnesio: 5 kg.
- Nitrato de amonio: 1,6 kg.
- Sulfato de Potasio: 10,44 kg

VII. Cálculo de la disolución nutritiva, considerando agua de riego de un valle costero de la región de Arica y Parinacota

A continuación se hace el ejercicio considerando el agua de riego de Caleta Vitor, ubicada al sur de Arica. 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. El agua de riego tiene pH 7,33 y CE 1,93 dS m⁻¹ (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⁻¹)

HCO ₃ ⁻	NO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	H ₂ PO ₄ ⁻	Cl ⁻	Ca ²⁺	K ⁺	Mg ²⁺	Na ⁺
2,6	0	11,18	0	6,4	11,72	0,24	2,21	7,11

En la Tabla 20 se indica la disolución nutritiva recomendada por García y Urrestarazu, 1999 (ver Tabla 4).

Tabla 20
Disolución nutritiva para un cultivo de tomate, según García y Urrestarazu, 1999

mmol L ⁻¹						
HCO ₃ ⁻	NO ₃ ⁻	H ₂ PO ₄ ⁻	SO ₄ ²⁻	Ca ²⁺	K ⁺	Mg ²⁺
0,50	12,50	2,00	1,75	5,00	5,00	1,80

En primer lugar, se debe expresar los requerimientos nutritivos en me L⁻¹ (Tabla 21). Luego hay que calcular los fertilizantes que se necesitan, considerando el aporte del agua de riego (Tabla 22). Finalmente se debe hacer el ajuste de nutrientes para el cálculo de los fertilizantes a aportar (Tablas 23 y 24). En estos casos, debido a las características del agua de riego, es importante la experiencia del técnico al momento de formular una disolución nutritiva. Algunas consideraciones que se deben tomar en cuenta: hay más calcio en el agua de riego que lo recomendado en la referencia, sin embargo, también hay un exceso de sulfato. Esto es un riesgo para el agricultor si no aplica calcio, al menos

en la misma cantidad que sobra el sulfato. Otra consideración hacia el productor es tratar de trabajar con la menor cantidad de fertilizantes. En este caso, se puede neutralizar con ácido nítrico o con ácido fosfórico, si ocupa este último, solo puede neutralizar 2,0 me de bicarbonatos, para garantizar al menos 0,5 me de HCO_3^- para evitar una caída brusca del pH de la disolución nutritiva.

Tabla 21
Transformación de unidad de los nutrientes a aportar, según valencia

	HCO_3^-	NO_3^-	H_2PO_4^-	SO_4^{2-}	Ca^{2+}	K^+	Mg^{2+}
mmol L ⁻¹	0,50	12,50	2,00	1,75	5,00	5,00	1,80
Valencia	1	1	1	2	2	1	2
me L ⁻¹	0,50	12,50	2,00	3,50	10,00	5,00	3,60

Tabla 22
Disolución nutritiva deseada (DNd), considerando el agua de riego (Ar) y el aporte nutritivo que se debe hacer mediante los fertilizantes (DNfz)

	mmol L ⁻¹						
	HCO_3^-	NO_3^-	H_2PO_4^-	SO_4^{2-}	Ca^{2+}	K^+	Mg^{2+}
DNd	0,50	12,50	2,00	3,50	10,00	5,00	3,60
Ar	2,60	0	0	11,18	11,72	0,24	2,21
DNfz	(2,10)	12,50	2,00	(7,68)	(1,72)	4,78	1,39

Tabla 23
Aporte final de nutrientes mediante los fertilizantes, usando ácido nítrico

Aniones	Cationes (me L ⁻¹)				Total aniones
	H^+	Ca^{+2}	K^+	Mg^{+2}	
NO_3^-	2,10	6,25	2,76	1,39	12,50
H_2PO_4^-	–	–	2,00	–	2,00
SO_4^{-2}	–	–	–	–	
Total cationes	2,10	6,25	4,76	1,39	

Tabla 24
Aporte final de nutrientes mediante los fertilizantes, usando ácido fosfórico

Aniones	Cationes (me L ⁻¹)				Total aniones
	H ⁺	Ca ⁺²	K ⁺	Mg ⁺²	
NO ₃ ⁻	-	6,35	4,76	1,39	12,50
H ₂ PO ₄ ⁻	2,00	-	-	-	2,00
SO ₄ ⁻²	-	-	-	-	
Total cationes	2,00	6,35	4,76	1,39	

El aporte final de nutrientes que utiliza ácido nítrico (Tabla 23) requiere de 2,1 me L⁻¹ de ácido nítrico para neutralizar el bicarbonato, ajustándolo a 0,5 me L⁻¹ para obtener un pH entre 5,5 y 5,8. Los otros fertilizantes a aplicar son 6,25 me L⁻¹ de nitrato de calcio; 2,76 me L⁻¹ de nitrato de potasio; 1,39 me L⁻¹ de nitrato de magnesio y 2 me L⁻¹ de fosfato monopotásico.

El aporte final de nutrientes para el cultivo, considerando el agua de riego, se indica en la Tabla 25.

Tabla 25
Disolución nutritiva final (DNf), considerando el agua de riego (Ar) y el aporte nutritivo mediante los fertilizantes (DNfz), con ácido nítrico

	me L ⁻¹						
	HCO ₃ ⁻	NO ₃ ⁻	H ₂ PO ₄ ⁻	SO ₄ ²⁻	Ca ²⁺	K ⁺	Mg ²⁺
DNfz	(2,10)	12,50	2,00	0	6,25	4,76	1,39
Ar	2,60	0	0	11,18	11,72	0,24	2,21
DNf	0,50	12,50	2,00	(7,68)	17,97	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 59%: 2,1 me L⁻¹ * 7,8 (de la Tabla 9) = 16,38 L
- Nitrato de calcio: 6,25 me L⁻¹ * 11,8 = 73,75 kg
- Nitrato de potasio: 2,76 me L⁻¹ * 10,1 = 27,88 kg
- Nitrato de magnesio: 1,39 me L⁻¹ * 12,8 = 17,79 kg
- Fosfato monopotásico: 2 me L⁻¹ * 13,6 = 27,2 kg

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

Estanque A:

73,75 kg de nitrato de calcio, más 1,5 kg de complejo de micronutrientes (Ej. Tarssan).
Total: 75,25 Kg de fertilizantes

Estanque B:

27,88 kg de nitrato de K + 17,79 kg de nitrato de Mg + 27,2 kg de fosfato monopotásico + 2,5 kg de complejo de micronutrientes (Ej. Tarssan). Total: 75,37 kg

Estanque C.

16,38 L de ácido nítrico.

Es muy importante recordar que **no debe mezclarse 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.

El aporte final de nutrientes que utiliza ácido fosfórico para neutralizar el bicarbonato (Tabla 24) requiere de 2,0 me L⁻¹ de ácido fosfórico para neutralizar el bicarbonato, ajustándolo a 0,5 me L⁻¹ y asegurar un pH entre 5,5 y 5,8. Los otros fertilizantes a aplicar son 6,35 me L⁻¹ de nitrato de calcio; 4,76 me L⁻¹ de nitrato de potasio y 1,39 me L⁻¹ de nitrato de magnesio.

El aporte final de nutrientes para el cultivo, considerando el agua de riego, se indica en la Tabla 26.

Tabla 26
Disolución nutritiva final (DNf), considerando el agua de riego (Ar) y el aporte nutritivo mediante los fertilizantes (DNfz), con ácido fosfórico

	me L ⁻¹						
	HCO ₃ ⁻	NO ₃ ⁻	H ₂ PO ₄ ⁻	SO ₄ ²⁻	Ca ²⁺	K ⁺	Mg ²⁺
DNfz	(2,00)	12,50	2,00	0	6,35	4,76	1,39
Ar	2,60	0	0	11,18	11,72	0,24	2,21
DNf	0,60	12,50	2,00	(7,68)	18,07	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 fosfórico al 75%: 2,0 me L⁻¹ * 8,2 (de la Tabla 9) = 16,4 L
- Nitrato de calcio: 6,35 me L⁻¹ * 11,8 = 74,93 kg

VII. Cálculo de la disolución nutritiva, considerando agua de riego de un valle costero de la región...

- Nitrato de potasio: $4,76 \text{ me L}^{-1} * 10,1 = 48,08 \text{ kg}$
- Nitrato de magnesio: $1,39 \text{ me L}^{-1} * 12,8 = 17,79 \text{ kg}$

En este caso se recomienda distribuir de la siguiente forma los fertilizantes:

Estanque A:

74,93 kg de nitrato de calcio, Total: 78,58 kg de fertilizantes

Estanque B:

48,08 kg de nitrato de K + 17,79 kg de nitrato de Mg + más 4 kg de complejo de micronutrientes (Ej. Tarssan) = Total: 69,87 kg

Estanque C.

16,4 L de ácido fosfórico.

No debe mezclar el calcio con los sulfatos y los fosfatos pues este precipita a tan **altas concentraciones**. Las sales 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 m^2 (una hectárea) y diariamente aplica 2 L m^{-2} , por tanto el gasto diario es de 20.000 L . Se ha preparado 1.000 L (un metro cúbico) de la disolución madre que está 100 veces concentrada, por tanto, se puede regar con 100.000 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 (mmol L^{-1}): número de moles dividido por mil que hay en un litro
- Miliequivalentes/litro (me L^{-1}): número de equivalentes dividido por mil que hay en un litro
- Gramos por litro (g L^{-1}): número de gramos por cada litro
- Partes por millón (ppm): miligramos por litro de agua

Tabla 27

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	mg L^{-1}
ppm	0,001	g L^{-1}
ppm	0,0001	%
mg L^{-1}	PM**	mmol L^{-1}
mg L^{-1}	V^*/PM^{**}	me L^{-1}
mmol_c (milimoles carga)	1	me
mmol L^{-1} (milimoles por litro)	1	mM (milimolar)
me L^{-1} (miliequivalentes por litro)	1	mN (milinormal)
CE (dSm^{-1})	640	ppm (intervalo de 0-1 dS m^{-1})
Σ Cationes (me L^{-1})	0,1	CE (intervalo de 1,5-4 dS m^{-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 una planta 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 refieren 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 de este disminuye el rendimiento.

Conductividad eléctrica (*Electric 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 acerca de una operación del manejo del fertirriego o control climático.

Consumo de lujo (*Luxurious products*). Se dice de la fase de absorción o uso de un elemento (agua, nutriente, etc.) 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 todos 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, etc.– con la unidad de rendimiento del producto cosechable; 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, hacer referencia al número de veces y su reparto en el tiempo que se produce el 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*, referido aquí 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 (*Humedification, 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 provoca 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, 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 elementos o por la combinación de ambos.

Ejemplo: Cloruro sódico: $\text{NaCl} \rightarrow \text{Cl}^- + \text{Na}^+$

Nitrato potásico: $\text{KNO}_3 \rightarrow \text{NO}_3^- + \text{K}^+$

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 ejemplo 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, 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 constituidos 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.

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, 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 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 o sistema.

Riego a tiempo. Riego que se suministra con una programación temporal previa que no varía con las condiciones climáticas 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. 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, etc. 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 tamaño de partícula de un suelo o sustrato, normalmente referida a los tamaños arena, limo y arcilla.

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

Valencia del cloruro:	Cl^-	= 1
Valencia del nitrato:	NO_3^-	= 1
Valencia del potasio:	K^+	= 1
Valencia del calcio:	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 p.
- 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.
- Gil, F. 1995. *Elementos de fisiología vegetal*. Ed. Mundi-Prensa, Madrid. p
- Instituto Nacional de Estadísticas 2010. *Información Hortícola*. Publicación Especial 20082009. INE Ediciones, Santiago de Chile, 128 p.
- Instituto Nacional de Estadísticas. 2008. *VII Censo Agropecuario y Forestal 2006-2007. Resultados preliminares*. INE Ediciones, Santiago de Chile, 444 p.
- 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 p.
- 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 p.
- 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. P 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 p.
- Steiner, A.A., 1997. Principles fo 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 Winconsin 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), 19-25
- 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.

ANDROS IMPRESORES
www.androsimpresores.cl