

[OPTIMIZACIÓN DE LAS PRODUCCIONES]

Fertirrigación con nitrógeno, fósforo y potasio en cítricos

Juan Manuel Bohórquez Caro
Natividad Ruiz Baena
Pedro Gavilán Zafra

IFAPA Centro Alameda del Obispo, Córdoba. Consejería de Agricultura y Pesca. Junta de Andalucía

La fertirrigación en los cítricos debe compatibilizar las dosis mínimas de fertilizantes con una cosecha óptima, un rendimiento económico satisfactorio y un mínimo grado de contaminación del medio ambiente. Para elaborar sus recomendaciones de fertirrigación con N, P y K para cítricos, el Sistema de Asistencia al Regante (SAR) del IFAPA utiliza el procedimiento de referencia que se repasa en el presente artículo.

La superficie cultivada de cítricos alcanza en España las 309.000 ha, de las cuales el 24% se encuentran en Andalucía (MAPA, 2006). La práctica totalidad de esta superficie se cultiva en regadío, con predominio del sistema de riego localizado. Algunas de las características que describen el comportamiento de los cítricos son la fuerte competencia entre el crecimiento vegetativo y el fructificativo, el gran área foliar y, en contraste, el sistema radicular relativamente poco profundo y desarrollado. Con estas características y para conseguir adecuados niveles de producción y de calidad, el riego y la fertirrigación son las prácticas de cultivo más importantes.

En respuesta al importante incremento de superficie de cítricos en Andalucía en los últimos años y a la necesidad de optimizar el manejo de su riego y fertirrigación, el Sistema de Asistencia al Regante (SAR) del IFAPA (www.juntadeandalucia.es/innovacioncienciayempresa/ifapa/sar) viene realizando trabajos de transferencia de tecnología y formación en esta materia dirigidos a los citricultores.

Los objetivos de la fertilización son, por un lado, restituir al suelo los nutrientes que la planta extrae durante su desarrollo, cultivo o ciclo vegetativo y, por otro lado, enriquecer el suelo cuando la concentración de algún nutriente es insuficiente para asegurar la correcta nutrición del cultivo.

Pros y contras

Si bien una deficiente nutrición de las plantas produce una reducción de la cosecha, y en muchos casos del tamaño del fruto, el exceso de abonado, por su parte, conlleva una reducción de cosecha y calidad, desequilibrios nutricionales por antagonismos entre nutrientes, alteraciones difícilmente reversibles de las características físicas y químicas del suelo, y, por último, contaminación medioambiental.

La fertirrigación en los cítricos debe, por tanto, compatibilizar las dosis mínimas de fertilizantes con una cosecha óptima, un rendimiento económico satisfactorio y un mínimo grado de contaminación del medio ambiente (Agustí, 2003).

Los factores a tener en cuenta para la determinación de las necesidades nutritivas de los cítricos se resumen en:



- La capacidad productiva media del cultivo.
- El análisis foliar: estado nutritivo del árbol.
- El análisis de suelo: textura; contenido en materia orgánica, caliza activa y elementos nutritivos; estado hídrico; y capacidad de bloquear o adsorber nutrientes.
- El análisis del agua de riego: contenido en nutrientes y necesidades de tratamiento.
- La edad de la plantación: diámetro de copa.
- El tipo de variedad: temprana, de plena estación o tardía.
- El patrón: comportamiento de una misma variedad puede diferir según patrón.
- El historial de abonado en años anteriores.
- Los síntomas visuales de deficiencias (**Fotos 1 y 2**).
- El estado fitosanitario: influencia sobre estado nutricional y confusión de síntomas.

Cálculo de la dosis anual de abonado

Necesidades nutritivas anuales

Las necesidades nutritivas de los cítricos se definen como la cantidad de elementos nutritivos consumidos por la planta durante un ciclo vegetativo anual (Legaz y Primo-Millo, 1988). En su determinación hay que considerar el consumo en el desarrollo de nuevos órganos (vegetativos y reproductivos) y en el crecimiento de los órganos viejos permanentes. En el balance global de exportación de nutrientes a los órganos en crecimiento y la recuperación posterior de los elementos exportados a partir de los fertilizantes aplicados, hay que distinguir entre hojas viejas y órganos leñosos permanentes.

Las hojas viejas (ciclo anterior) se deben considerar como fuente de nutrientes, dado que al principio del ciclo vegetativo retranslocan, hacia los nuevos órganos, una proporción considerable de su contenido en elementos móviles, y cuando se llegan a dar las condiciones para recuperar esa exportación, parte de esas hojas ya se ha desprendido del árbol. Los órganos viejos permanentes, por su

Tabla 1:
Necesidades nutritivas anuales de los cítricos

Nutriente	Edad (años)		
	Plantón (2)	En desarrollo (6)	Adulto (>12)
	Consumo en el desarrollo de nuevos órganos y en el crecimiento de órganos viejos (g/árbol)		
N	6,8	210	667
P	0,8	18	53
K	3,6	121	347
Mg	1,4	46	135
Fe	0,04	1,1	3,4
	Consumo cubierto por las reservas de las hojas viejas (%)		
N	25	32	32
P	12	16	17
K	22	28	29
Mg	24	30	30
Fe	--	--	--
	Necesidades anuales netas (g/árbol)		
N	5,1	142	453
P	0,7	15	44
K	2,8	87	246
Mg	1	32	95
Fe	0,04	1,1	3,4

parte, también translocan nutrientes, pero llegan a recuperarlos posteriormente del medio y, por tanto, no debemos considerarlos como fuente de nutrientes.

En la **Tabla 1** se presentan los valores medios de consumo anual de nitrógeno (N), fósforo (P), potasio (K), magnesio (Mg) y hierro (Fe) por plantas de cítricos de diferentes edades (Legaz y Primo-Millo, 1988 y 2000). Además, en ella aparecen reflejados los porcentajes de estos nutrientes que son aportados por las reservas contenidas en las hojas del año anterior (hojas viejas). Las diferencias entre ambos valores constituyen las necesidades nutritivas anuales netas de estos nutrientes. Para el hierro, dada su escasa movilidad en la planta, se considera inapreciable su translocación desde las hojas viejas hacia los nuevos órganos en crecimiento.

Eficiencia de uso de los fertilizantes

Para cubrir las necesidades nutritivas expuestas en la **Tabla 1**, al aplicar los fertilizantes necesarios, hay que tener en cuenta la eficiencia en su uso, según la cual el árbol sólo absorbe una parte de lo que se le suministra, y que depende de factores relacionados con el tipo de suelo



Esta práctica de cultivo debe basarse en las características de la plantación y en los datos aportados por los análisis de hojas, suelo y agua de riego

(profundidad, capacidad de retrogradación a formas inasimilables de los nutrientes aplicados, etc.) y con las prácticas culturales (manejo del suelo, manejo del riego, etc.).

A continuación se indican algunas causas que explican las pérdidas de fertilizantes aplicados al suelo. En el caso del nitrógeno, las principales pérdidas se originan por lavados del ión nitrato (NO_3^-) y por la descomposición de los nutrientes con desprendimiento de amoníaco (NH_3). En cuanto al fósforo, su asimilación por los cítricos disminuye en condiciones de suelos muy calcáreos y pH elevado, al producirse una retrogradación del fósforo soluble a insoluble. Finalmente, el potasio puede quedar atrapado en suelos con un alto contenido de arcilla formando un potente complejo de cambio, que dificulta su disponibilidad en la solución nutritiva del suelo.

Tabla 2:
Dosis anual estándar de N para cítricos en riego por goteo

Marco plantación (m x m)	Densidad plantación (árboles/ha)	Dosis máxima (Kg/ha)	Dosis máxima (g/árbol)	Edad (años)											
				1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
g/árbol															
SATSUMAS (Clausellina y Okitsu)															
4,0 x 2,0	1.250	240	192	20	40	60	80	100	120	140	160	192	192	192	192
Diámetro de copa (cm)				25	50	75	100	125	150	175	200	225	225	225	225
MANDARINOS (Marisol)															
5,0 x 3,5	570	240	421	30	60	90	120	160	200	240	300	360	421	421	421
Diámetro de copa (cm)				35	70	105	140	175	210	245	280	315	350	350	350
MANDARINOS (en general)															
5,5 x 4,0	454	240	528	40	80	120	160	210	260	310	380	450	528	528	528
Diámetro de copa (cm)				40	80	120	160	200	240	280	320	360	400	400	400
NARANJOS															
6,0 x 4,0	416	240	577	45	90	135	190	250	310	380	450	530	577	577	577
Diámetro de copa (cm)				45	90	135	180	225	270	315	360	400	425	425	425
LIMONEROS Y POMELOS															
7,0 x 5,0	285	240	842	50	100	150	210	280	360	450	550	660	780	842	842
Diámetro de copa (cm)				50	100	150	200	250	300	350	400	450	500	525	525

Determinación de las dosis anuales

Con los datos expuestos en la **Tabla 1** y aplicando el incremento necesario en función de la eficiencia media de los fertilizantes de uso habitual en riego localizado por goteo, podemos establecer las dosis para las recomendaciones de abonado. En las **Tablas 2, 3 y 4** se presentan las dosis por árbol recomendadas de N, P₂O₅, K₂O (Cadahía, 2005), donde se ha tenido en cuenta el diámetro de copa de la especie cultivada, parámetro relacionado con el tamaño del arbolado de manera más fiable que la edad de plantación, porque se evitan posibles in-

terferencias debidas a la combinación variedad/patrón y a las condiciones de cultivo.

La expresión para calcular la dosis anual de abonado es la siguiente:

Dosis anual estándar = Necesidades anuales netas (Tabla 1) x F₁ x F₂

Siendo:

F₁ = 100/Porcentaje de eficiencia de uso para fertilizantes en riego localizado por goteo;

F₂ = Factor de conversión de elementos nutritivos en unidades fertilizantes.

A partir de que los árboles alcancen el máximo diámetro de copa que permite su mar-

co de plantación, la dosis máxima quedará establecida de manera definitiva con independencia de la edad de la plantación, siempre y cuando no se modifique el diámetro de copa (ver datos sombreados en Tablas 2, 3 y 4). En cuanto a la dosis máxima por hectárea, su valor es función de la densidad de plantación e independiente de la variedad cultivada.

Optimización de las dosis estándar recomendadas

Con la información suministrada por el análisis foliar, del suelo y del agua de riego, podremos corregir por exceso o por defecto las dosis recomendadas en las **Tablas 2, 3 y 4**.

Tabla 3:
Dosis anual estándar de P₂O₅ para cítricos en riego por goteo

Marco plantación (m x m)	Densidad plantación (árboles/ha)	Dosis máxima (Kg/ha)	Dosis máxima (g/árbol)	Edad (años)											
				1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
g/árbol															
SATSUMAS (Clausellina y Okitsu)															
4,0 x 2,0	1.250	240	192	5	10	15	20	25	30	40	50	55	55	55	55
Diámetro de copa (cm)				25	50	75	100	125	150	175	200	225	225	225	225
MANDARINOS (Marisol)															
5,0 x 3,5	570	240	421	10	15	25	35	45	55	70	85	105	123	123	123
Diámetro de copa (cm)				35	70	105	140	175	210	245	280	315	350	350	350
MANDARINOS (en general)															
5,5 x 4,0	454	240	528	15	25	35	45	60	75	90	110	130	154	154	154
Diámetro de copa (cm)				40	80	120	160	200	240	280	320	360	400	400	400
NARANJOS															
6,0 x 4,0	416	240	577	15	25	40	55	70	90	110	130	155	168	168	168
Diámetro de copa (cm)				45	90	135	180	225	270	315	360	400	425	425	425
LIMONEROS Y POMELOS															
7,0 x 5,0	285	240	842	15	30	45	60	80	105	130	160	190	225	245	245
Diámetro de copa (cm)				50	100	150	200	250	300	350	400	450	500	525	525

Tabla 4:
Dosis anual estándar de K₂O para cítricos en riego por goteo

Marco plantación (m x m)	Densidad plantación (árboles/ha)	Dosis máxima (Kg/ha)	Dosis máxima (g/árbol)	Edad (años)											
				1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
g/árbol															
SATSUMAS (Clausellina y Okitsu)															
4,0 x 2,0	1.250	240	192	10	20	30	40	50	60	80	100	122	122	122	122
Diámetro de copa (cm)				25	50	75	100	125	150	175	200	225	225	225	225
MANDARINOS (Marisol)															
5,0 x 3,5	570	240	421	15	30	50	70	90	110	140	170	210	245	245	245
Diámetro de copa (cm)				35	70	105	140	175	210	245	280	315	350	350	350
MANDARINOS (en general)															
5,5 x 4,0	454	240	528	20	40	60	80	110	140	170	210	260	308	308	308
Diámetro de copa (cm)				40	80	120	160	200	240	280	320	360	400	400	400
NARANJOS															
6,0 x 4,0	416	240	577	25	45	65	90	120	160	190	230	290	336	336	336
Diámetro de copa (cm)				45	90	135	180	225	270	315	360	400	425	425	425
LIMONEROS Y POMELOS															
7,0 x 5,0	285	240	842	30	50	80	110	150	200	260	310	370	430	491	491
Diámetro de copa (cm)				50	100	150	200	250	300	350	400	450	500	525	525



Sintomatología foliar de deficiencia de nitrógeno en cítricos. Fuente: Legaz y Primo-Millo, 1988



Sintomatología foliar de deficiencia de fósforo en cítricos. Fuente: Legaz y Primo-Millo, 1988

Tabla 5:
Niveles foliares de referencia para macroelementos en cítricos*

Especie		% peso seco		
		Bajo	Normal	Alto
Naranjos	N	< 2,50	2,51-2,80	> 2,81
	P	< 0,12	0,13-0,16	> 0,17
	K	< 0,70	0,71-1,00	> 1,01
Clementinos	N	< 2,40	2,41-2,70	> 2,71
	P	< 0,11	0,12-0,15	> 0,16
	K	< 0,70	0,71-1,00	> 1,01
Satsumas	N	< 2,60	2,61-2,90	> 2,91
	P	< 0,12	0,13-0,16	> 0,17
	K	< 0,60	0,61-0,90	> 0,91
Todas	Ca	< 2,90	3,0-5,0	> 5,10
	Mg	< 0,24	0,25-0,45	> 0,46
	S	< 0,19	0,20-0,30	> 0,31

* Niveles basados en concentraciones en hojas de la brotación de primavera, de 7 a 9 meses de edad, procedentes de ramas terminales sin fruto.



Sintomatología foliar de deficiencia de potasio en cítricos. Fuente: Legaz y Primo-Millo, 1988

Corrección según el análisis foliar

El análisis de las hojas de cítricos es una técnica que permite conocer el estado nutritivo de las plantaciones, ya que informa sobre la existencia de

Tabla 6:

Factores de corrección recomendados en riego por goteo según el análisis foliar*

Nivel foliar	Muy bajo	Bajo	Normal	Alto	Muy alto
Factor N	1,5	1,4 - 1,1	1,0 - 0,9	0,8 - 0,6	0,5
Factor P ₂ O ₅	2,0	1,9 - 1,1	1,0 - 0,6	0,5 - 0,0	0,0
Factor K ₂ O	2,0	1,9 - 1,1	1,0 - 0,7	0,6 - 0,0	0,0

* Para cada nutriente, los factores de corrección se corresponden con los valores extremos de los intervalos de concentración foliar para cada estado nutricional (ver Tabla 5). Para niveles foliares intermedios se aplicarán coeficientes proporcionales.



En el caso del nitrógeno, las principales pérdidas de fertilizantes se originan por lavados del ión nitrato (NO₃-) y por la descomposición de los nutrientes con desprendimiento de amoníaco (NH₃)

estados de deficiencia o de exceso de nutrientes y también sobre la posible aparición de antagonismos entre ellos.

En la **Tabla 5** se presentan los niveles foliares estándar de referencia para distintas especies de cítricos (Legaz y Primo-Millo, 1988; Legaz *et al.*, 1995), que también proporcionan información sobre los niveles de reserva de elementos móviles en la planta. Las correcciones que resulten necesarias, según los resultados del análisis foliar, respecto a las dosis de abonado expuestas en las **Tablas 2 a 4**, se harán utilizando los factores asignados a cada estado nutritivo del arbolado (**Tabla 6**).

Tabla 7:

Ejemplo de cálculo de aportación de N por el agua de riego, para un volumen de riego (VR) de 6.000 m³/ha y una eficiencia de aplicación (F) de 0,9

Concentración de NO ₃ - (mg/l)	Aportación de N (Kg/ha)
50	61
75	91
100	122
125	152
150	183
175	213
200	244
225	274

Corrección según el análisis de suelo

En fertirrigación con riego localizado, la fertilidad del suelo pierde, en buena medida, la importancia que tiene en otros métodos tradicionales de abonado, dado el menor volumen de suelo explorado por las raíces. No obstante, es recomendable conocer las características físicas y químicas del suelo que pueden influir en el desarrollo del cultivo (contenido de calcio total y activo, contenido de arcilla, pH, conductividad eléctrica, etc.), así como en las reacciones de las soluciones fertilizantes.

Corrección según el análisis del agua de riego

La información suministrada por este análisis sirve para evaluar las aportaciones de nutrientes por el agua de riego, así como la calidad de ésta que va a determinar la necesidad o no de tratamiento para evitar obturaciones en los emisores. Como se sabe, este último aspecto es de gran importancia para el adecuado funcionamiento de la instalación de fertirriego.

Las aportaciones de nutrientes por el agua de riego pueden calcularse empleando la expresión:

$$\text{Kg/ha NUTRIENTE} = ([\text{NUTRIENTE}] \times \text{VR} \times \text{Ctr}) \times F \times 10^{-5}$$

Siendo:

[NUTRIENTE] = Concentración del nutriente en el agua de riego (mg/l = ppm)

VR = Volumen total de riego (m³/ha), para el periodo de tiempo considerado

Ctr = Coeficiente de transformación (NO₃- = 22,6; MgO = 166,6; K₂O = 182)

F = Factor que depende de la eficiencia del riego y que considera las pérdidas de agua (en riego por goteo, valores adecuados entre 0,8 y 0,9).

En este apartado, la corrección más significativa suele ser la debida al aporte de N. Para concentraciones de NO₃- superiores a 50 mg/l en el agua de riego, será necesario reducir las dosis de N recomendadas (**Tabla 2**). En la **Tabla 7** se presenta un ejemplo con cantidades de N aportadas por el agua de riego, considerando un volumen total de riego (VR) de 6.000 m³/ha y una eficiencia de aplicación (F) de 0,9.

Bibliografía

- Agustí, M. 2003. Citricultura. 2^a ed., Mundi Prensa, Madrid.
- Cadahía, C. 2005. Fertirrigación. Cultivos hortícolas y ornamentales, 3^a ed., Mundi Prensa, Madrid.
- Legaz, F. y Primo-Millo, E. 1988. Normas para la fertilización de los agríos. Consellería d'Agricultura, Pesca i Alimentació. Fullets Divulgació, 5-88. Valencia, España.
- Legaz, F. y Primo-Millo, E. 2000. Criterios para la fertirrigación de los cítricos en riego localizado por goteo, en "Curso de fertirrigación de cítricos". Phytoma-España. Consellería d'Agricultura, Pesca i Alimentació. Universidad Politécnica de Valencia.
- Legaz, F., Serna, M.D., Ferrer, P., Cebolla, V. y Primo-Millo, E. 1995. Análisis de hojas, suelos y aguas para el diagnóstico nutricional de plantaciones de cítricos. Procedimiento de toma de muestras. Consellería d'Agricultura, Pesca i Alimentació. Valencia, España.
- MAPA (Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación). 2006. Anuario de Estadística Agroalimentaria. •