



OPTIMIZACIÓN DE LA EFICIENCIA DE USO DEL NITRÓGENO EN CÍTRICOS PARA EL DESARROLLO DE UNA AGRICULTURA SOSTENIBLE. II. COMPARACIÓN FERTILIZACIÓN MINERAL Y ORGÁNICA EN RIEGO LOCALIZADO

F Legaz*, B Martínez-Alcántara, E Primo-Millo, A Quiñones

Instituto Valenciano de Investigaciones Agrarias, Moncada, Valencia, España

*Contacto: legaz_fra@gva.es

RESUMEN

En la actualidad se están modificando las prácticas agrícolas actuales orientándolas hacia sistemas alternativos de producción agrícola asumiendo, por tanto, compromisos de respeto medioambiental. Así, la agricultura ecológica se presenta como alternativa a la agricultura tradicional. Los residuos generados por las zonas agrícolas y las granjas agropecuarias, mediante un adecuado manejo, podrían ser fuente importante de nutrientes para las plantas. El propósito de este estudio consistió en comparar la absorción del nitrógeno aplicado a plantas de cítricos, mediante abonos orgánicos obtenidos de residuos vegetales y estiércol de oveja, a los que se incorporó el isótopo estable ^{15}N , frente a fertilizantes minerales ampliamente utilizados en una agricultura tradicional. Las plantas fertilizadas con abonos orgánicos presentaron una biomasa final superior a los que recibieron fertilizantes minerales. Sin embargo, tanto la concentración como el contenido de N total y la eficiencia de uso del N aplicado fue similar en las plantas fertilizadas con ambos abonos (mineral frente orgánico). La contribución del N procedente de los fertilizantes orgánicos al contenido en N total de los órganos jóvenes y viejos de la parte aérea de la planta fue notablemente inferior que la proporcionada por los fertilizantes minerales. Por tanto, los fertilizantes de procedencia orgánica presentaron una respuesta agronómica similar a la obtenida con los fertilizantes minerales tradicionales.

INTRODUCCIÓN

Las técnicas y procesos de producción agraria se ven influidos, cada vez más, por la necesidad de asumir compromisos de respeto medioambiental. En esta línea, la agricultura ecológica se presenta como alternativa a la agricultura tradicional, asimismo supone un importante potencial para el desarrollo económico de los agricultores y empresas que trabajan dentro de este marco legal. Entre las técnicas utilizadas en agricultura ecológica, la fertilización ofrece una solución lógica y con fundamento científico que radica en mejorar la fertilidad activa del suelo a través del suministro de materia orgánica en sus distintas configuraciones. Una de ellas son los abonos orgánicos obtenidos de residuos de cosechas, abonos verdes, paja y otros acolchados, estiércol líquido y purines. De este modo y mediante un adecuado manejo, estos residuos podrían ser fuente importante de nutrientes para las plantas. Ante esta nueva alternativa es necesario evaluar los elementos nutritivos que se pueden aportar a las plantas mediante fertilizantes orgánicos, principalmente el N disponible por los cultivos. Para ello, la incorporación del isótopo ^{15}N a los residuos que constituirán la materia prima para la obtención de fertilizantes orgánicos constituye una potente herramienta para conocer, de una manera exhaustiva y fiable, el destino final del N aplicado con el abono orgánico. Sin embargo, para que los fertilizantes orgánicos puedan aplicarse mediante este sistema de riego, es preciso

someter los residuos orgánicos de partida a varios procesos con el fin de transformarlos en compuestos solubles asimilables por las plantas (Sørensen et al. 1994). Existen numerosas experiencias que analizan el destino del ^{15}N procedente de residuos de cosecha y estiércoles aplicados en fresco a diferentes cultivos, principalmente hortícolas (Sørensen e2004; Bosshard et al. 2009;). No obstante, no se han realizado estudios de eficiencia de uso del ^{15}N aplicado a cítricos en forma de abonos solubles orgánicos en comparación con fertilizantes minerales. En este marco, el propósito de este estudio consistió en comparar la absorción de los nutrientes, principalmente N, aplicados a plantas de cítricos mediante abonos orgánicos obtenidos frente a fertilizantes minerales ampliamente utilizados en una fertilización convencional.

MATERIALES Y MÉTODOS

Cultivo de las plantas

Veintisiete plantas de 3 años de edad de la variedad clementina de Nules injertadas sobre citrange Carrizo de 80 cm de diámetro de copa se cultivaron en macetas-lisímetros de 40 L de capacidad con un suelo calizo franco arcillo arenoso, típico del cultivo de los cítricos, de densidad aparente de $1,6 \text{ Kg}\cdot\text{L}^{-1}$. Las plantas se cultivaron en el exterior bajo una estructura de techo transparente de policarbonato de 6 x 24 m, con malla de poliéster en los laterales, para evitar que las condiciones climáticas adversas (pedrisco, viento, etc.) pudieran afectar al desarrollo normal de las plantas. El riego se efectuó mediante un sistema localizado a goteo con 2 emisores de $4 \text{ L}\cdot\text{h}^{-1}$ por maceta. Al inicio de la actividad vegetativa (marzo) se extrajeron tres plantas con el fin de conocer la biomasa de las mismas al comienzo de los tratamientos.

Tratamientos

Las 24 plantas restantes se abonaron, de marzo a octubre, mediante 4 fertilizantes diferentes, con el fin de comparar la eficiencia de absorción del N de procedencia mineral frente a los de origen orgánico. Cada tratamiento se realizó con 3 replicas. Los tratamientos realizados fueron:

1. Control del abono vegetal (abono mineral). Las plantas se fertilizaron con la solución nutritiva de procedencia mineral similar al abono vegetal, enriquecida al 2,50 % con ^{15}N .
2. Control del abono animal (abono mineral). Las plantas se fertilizaron con la solución nutritiva de procedencia mineral similar al abono animal, enriquecida al 2,50 % con ^{15}N .
3. Abono vegetal. Las plantas se fertilizaron con la solución nutritiva de origen vegetal expuesta en la tabla 1 y enriquecida al 2,62 % con ^{15}N .
4. Abono animal. Las plantas se fertilizaron con la solución nutritiva de origen animal expuesta en la Tabla 2 y enriquecida al 2,17 % con ^{15}N .

Tabla 1. Concentración de nutrientes ($\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$) del abono orgánico de origen vegetal y de su control mineral.

Macronutrientes (%)	P	K	Mg	Ca	Na	S
	330,8 ^Z	47	923	60	386	548
Micronutrientes (ppm)	Fe	Zn	Mn	Cu	B	
	8,3	2,5	1,2	0,13	0,16	

^Z: La concentración de N del abono: 85,5 % en forma orgánica y un 14,5 % en forma mineral (55 % de $\text{N}\cdot\text{NH}_4$ y 45 % como $\text{N}\cdot\text{NO}_3$).

Tabla 2. Concentración de nutrientes ($\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$) del abono orgánico de origen animal y de su control mineral

Macronutrientes (%)	P	K	Mg	Ca	Na	S
	495,7 ^Z	365	921	257	545	2.274
Micronutrientes (ppm)	Fe	Zn	Mn	Cu	B	
	22,6	18,0	5,7	0,04	0,52	

^Z: La concentración de N del abono: 81,4 % en forma orgánica y un 18,6 % en forma mineral (95 % de N-NH_4 y 5 % como N-NO_3).

Dado que los abonos orgánicos obtenidos mostraron una composición muy diferente entre sí en cuanto a concentración de macro y micronutrientes (Tablas 1 y 2), se utilizaron dos controles minerales en los que se aportó la misma concentración de nutrientes y proporción de N amoniacal y nítrico que los de su abono orgánico correspondiente.

Dosis y distribución estacional de los nutrientes

De acuerdo a su diámetro de copa, se suministró una dosis de N de $10 \text{ g}\cdot\text{árbol}\cdot\text{año}^{-1}$ que se distribuyó mensualmente de acuerdo a los criterios establecidos por Legaz y Primo-Millo (2000), con una frecuencia de aplicación de 2 a 3 veces por semana, según las necesidades de riego del cultivo, desde el inicio de la actividad vegetativa (principio de marzo) hasta el inicio del letargo (final de octubre). Para aportar esta dosis de N se necesitaron 30,2 L de la solución nutritiva de origen vegetal (Tabla 1) y 20,1 L de la solución nutritiva de origen animal (Tabla 2).

Recogida de las soluciones de drenaje

En dos momentos de desarrollo del ensayo (mitad de julio y septiembre), se aplicó a todos los tratamientos un riego en exceso con agua desionizada para la lixiviación de sales. El agua drenada se recogió y se aplicó de nuevo a cada planta, después de diluirla con agua desionizada para no alterar su composición isotópica.

Arranque de las plantas y toma de muestras de material vegetal

Las 24 plantas se extrajeron de las macetas en dos momentos del ciclo vegetativo, durante el desarrollo del fruto (final de julio) y en la maduración de éste (final de diciembre) y se fraccionaron en sus distintos órganos. En el primer arranque se había aplicado un 50 % de la dosis de N. El resto de la dosis se aportó de julio a octubre. Estas fracciones se lavaron con agua desionizada, secaron en estufa (60°C) y trituraron con un molino refrigerado (IKA M20, Staufen, Alemania) hasta un tamaño menor de 0,3 mm de diámetro y, finalmente, se almacenaron a 4°C hasta su posterior análisis.

Recogida de los órganos caídos

A fin de cuantificar la pérdida de biomasa y de nutrientes asociada a los órganos caídos, se colocaron mallas sobre las macetas de mayo a julio que se recogieron mensualmente, se separaron en distintas fracciones según el tipo de órgano y se sometieron a un tratamiento similar al descrito para los órganos anteriores.

Análisis de las muestras de materia vegetal

En estas muestras se determinó la concentración de N total mediante un analizador elemental (NC 2500 Thermo Finnigan) y la relación isotópica $^{15}\text{N}/^{14}\text{N}$ con un espectrómetro de masas (Delta Plus, Thermo Finnigan) acoplado al analizador.

Cálculos

El contenido de ^{15}N de las muestras de los 4 tratamientos se calculó del modo siguiente:

$$^{15}\text{N}_{\text{muestra}} (\text{mg}) = \text{Peso seco (g)} \cdot \text{N (\%)} \cdot \% ^{15}\text{N exceso} \cdot 10^{-1}$$

El % ^{15}N en exceso se obtiene restando a la concentración de ^{15}N de cada muestra, la abundancia en la naturaleza de este isótopo. La abundancia natural de ^{15}N en el N_2 atmosférico es de 0,366 %, según la Agencia Internacional de Energía Atómica (IAEA, 1983).

El porcentaje eficiencia de uso del nitrógeno (EUN) representa la proporción de ^{15}N aplicado con los fertilizantes marcados que ha sido absorbido por las plantas de cada tratamiento y se determinó mediante la formula: $\% \text{ EUN} = \Sigma ^{15}\text{N}_{\text{absorbido \acute{organos}}} (\text{mg}) \cdot 100 / ^{15}\text{N} (\text{mg})$ aplicado mediante los abonos marcados.

El porcentaje de N derivado del fertilizante (Nddf) cuantifica en qué proporción las necesidades en N de un órgano en cuestión se satisfacen por el N procedente de los fertilizantes aplicados y se calculó con la formula:

$$\text{Nddf (\%)} = ^{15}\text{N}_{\text{exceso \acute{organos}}} (\%) \cdot 100 / \text{átomos \% } ^{15}\text{N}_{\text{exceso en los fertilizantes marcados (abonos minerales y orgánicos)}}$$

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Las plantas extraídas al inicio del ensayo presentaron una biomasa promedio algo superior a los 900 g. En el arranque de junio se observó que los órganos jóvenes de las plantas fertilizadas con abonos orgánicos mostraron un desarrollo significativamente superior (Tabla 3) al obtenido con los abonos minerales (abonos control). A medida que transcurrió el ciclo, el peso total de los árboles aumentó (Tabla 4) como consecuencia de la biomasa asociada al desarrollo final del fruto y a la brotación de verano y otoño (órganos jóvenes).

Tabla 3. Biomasa (g)^Z de los árboles del arranque de julio.

Tratamientos	Control abono vegetal	Control abono animal	Abono vegetal	Abono animal	Fuente de N ^Y	Origen abono ^X
Órganos jóvenes	88b	86b	123a	127a	*	NS
Órganos viejos	558	619	594	601	NS	NS
Parte aérea	646	705	716	728	NS	NS
Sistema radical	355	351	352	393	NS	NS
Total planta	1001b	1055ab	1068ab	1121a	*	NS
Total caídos	76	74	71	70	NS	NS
Planta+caídos	1076	1129	1138	1191	NS	NS

^Z: Valor promedio de 3 repeticiones. ANOVA, diferencias significativas entre medias de los 4 tratamientos para $P \leq 0,05$. (*) y no significativas (NS), para $P > 0,05$. Letras distintas en la misma fila indican diferencias significativas ($P < 0,05$) según el test LSD-Fisher.

^Y: Diferencias entre medias de los 2 controles minerales frente a los 2 abonos orgánicos para $P \leq 0,05$.

^X: Diferencias entre medias del control del abono vegetal y el abono vegetal frente al control del abono animal y el abono animal para $P \leq 0,05$.

Tabla 4. Biomasa (g)^Z de los árboles del arranque de diciembre.

Tratamientos	Control abono vegetal	Control abono animal	Abono vegetal	Abono animal	Fuente de N ^Y	Origen abono ^X
Órganos jóvenes	307	341	329	366	NS	*
Órganos viejos	510	522	532	545	NS	NS
Parte aérea	818a	863ab	861ab	912a	*	*
Sistema radical	412b	408b	407b	439a	NS	NS
Total planta	1230b	1270b	1268b	1350a	*	*
Total caídos	54	63	73	69	NS	NS
Planta+caídos	1284b	1333b	1341b	1419a	*	*

^Z, ^Y, ^X: Idem Tabla 3.

En el arranque de diciembre, los árboles abonados con fertilizantes orgánicos de origen animal presentaron los mayores valores de biomasa (Tabla 4). El aporte de abonos minerales y orgánicos no influyó de forma significativa en la distribución de la biomasa entre la parte aérea y el sistema radical. Así, la proporción de parte aérea y sistema radical en el total de la planta se mantuvo en torno al 66% y 34%, respectivamente, en la extracción julio. Dichos valores se desplazaron ligeramente a favor de la parte aérea en el momento de la maduración (68 vs. 32%), como consecuencia del peso seco de la cosecha y brotación de verano. Estos valores coinciden con los encontrados en la bibliografía consultada (Menino et al. 2007; Legaz y Primo-Millo 1988; Kubota et al. 1974).

Por otro lado, los tratamientos no afectaron de forma significativa a la concentración de N de los distintos órganos en las extracciones realizadas (Tablas 5 y 6). Además, ni la fuente de N ni el origen del mismo influyeron de forma significativa en los valores de esta variable. Con independencia del tipo de abonado aplicado, los valores más elevados de concentración de N se presentaron en los órganos jóvenes y caídos de ambas extracciones. Al final del ciclo (Tabla 6) se observó una disminución en la concentración de N de los órganos jóvenes, como consecuencia del efecto de dilución asociado al incremento más acusado en la biomasa de estos órganos (frutos y hojas).

Tabla 5. Concentración de N (% peso seco)^Z de los árboles del arranque de julio.

Tratamientos	Control abono vegetal	Control abono animal	Abono vegetal	Abono animal	Fuente de N ^Y	Origen abono ^X
Órganos jóvenes	2.50	2.77	2.72	2.73	NS	NS
Órganos viejos	1.34	1.18	1.13	1.20	NS	NS
Parte aérea	1.48	1.37	1.40	1.47	NS	NS
Sistema radical	1.35	1.20	1.25	1.19	NS	NS
Total planta	1.44	1.32	1.35	1.37	NS	NS
Total caídos	2.87	2.79	2.82	2.86	NS	NS
Planta+caídos	1.54	1.41	1.44	1.46	NS	NS

^Z, ^Y, ^X: Idem Tabla 3.

Tabla 6. Biomasa (g)^Z de los árboles del arranque de diciembre.

Tratamientos	Control abono vegetal	Control abono animal	Abono vegetal	Abono animal	Fuente de N ^Y	Origen abono ^X
Órganos jóvenes	1.80	1.98	1.93	2.04	NS	NS
Órganos viejos	1.19	1.39	1.43	1.12	NS	NS
Parte aérea	1.42	1.62	1.62	1.49	NS	NS
Sistema radical	1.44	1.31	1.43	1.42	NS	NS
Total planta	1.43	1.52	1.56	1.47	NS	NS
Total caídos	2.94	2.81	2.97	2.88	NS	NS
Planta+caídos	1.49	1.58	1.64	1.54	NS	NS

^{Z, Y, X:} Idem Tabla 3.

Los tratamientos realizados no afectaron de forma significativa a la EUN de las plantas extraídas en ambas épocas, ya que las plantas absorbieron de forma similar el N aportado con independencia de la fuente del mismo (mineral u orgánica), así como de su origen (vegetal y animal). Estos resultados coinciden con los obtenidos por Bosshard et al. (2009). En cuanto a la diferencia de eficiencia entre los dos arranques, la EUN promedio de los 4 tratamientos aumentó sólo un 35% desde finales de julio hasta diciembre, ya que la primera extracción de las plantas sobrepasó la mitad del periodo activo de crecimiento de los cítricos.

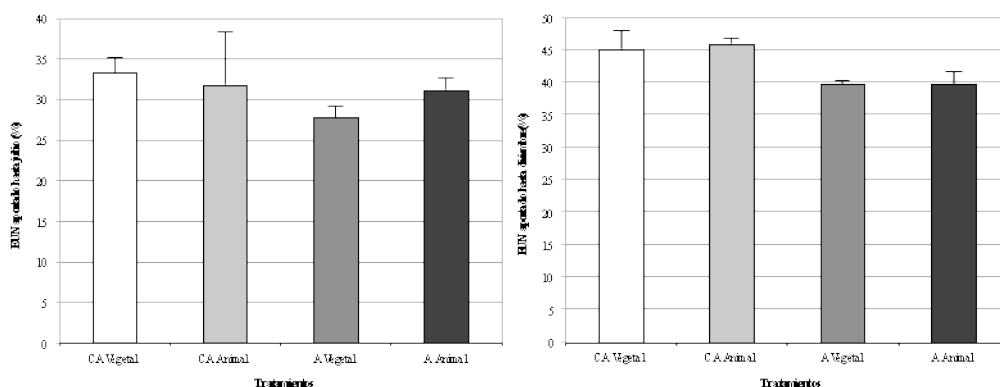


Figura 1. Eficiencia de uso del nitrógeno aportado con los abonos minerales y orgánicos. Cada barra es promedio de 3 repeticiones \pm desviación estándar. ANOVA, las diferencias entre medias de los 4 tratamientos no fueron significativas (para $P > 0,05$) en las dos épocas de extracción de las plantas.

Tabla 7. Nitrógeno derivado del fertilizante (%)^Z de los árboles del arranque de julio.

Tratamientos	Control abono vegetal	Control abono animal	Abono vegetal	Abono animal	Fuente de N ^Y	Origen abono ^X
Órganos jóvenes	21.5a	21.2a	12.4b	13.7b	*	NS
Órganos viejos	9.6a	10.1ab	8.5b	6.9bc	*	NS
Parte aérea	12.3a	12.8a	9.8b	9.8ab	*	NS
Sistema radical	8.9	7.0	8.9	9.2	NS	NS
Total planta	11.2a	11.1b	9.5c	9.7ab	*	NS
Total caídos	3.3	2.2	3.1	3.0	NS	NS
Planta+caídos	10.1a	9.9b	8.8b	8.9b	**	NS

^{Z, Y, X:} Idem Tabla 3.

El Nddf cuantifica en qué proporción las necesidades de N de un órgano en cuestión son satisfechas por el procedente del fertilizante aplicado. Por tanto, un menor valor de este parámetro conllevaría a un incremento en las proporciones aportadas por fuentes, tales como las reservas de la propia planta, el suelo y/o el agua de riego.

Tabla 8. Nitrógeno derivado del fertilizante (%)^Z de los árboles del arranque de diciembre.

Tratamientos	Control abono vegetal	Control abono animal	Abono vegetal	Abono animal	Fuente de N ^Y	Origen abono ^X
Órganos jóvenes	28.5a	27.1a	21.7b	22.5b	*	NS
Órganos viejos	13.8	12.3	12.8	10.2	*	**
Parte aérea	20.7b	19.5a	16.8a	17.0ab	*	NS
Sistema radical	15.0	12.1	11.8	10.4	*	*
Total planta	18.8	17.4	15.4	14.9	*	NS
Total caídos	6.0a	5.3a	1.9b	1.6b	**	NS
Planta+caídos	17.7b	16.3a	13.2ab	13.7b	*	NS

^Z: Y, X; Idem Tabla 3.

En todos los órganos de las plantas fertilizadas con los abonos orgánicos en ambas extracciones se obtuvieron valores inferiores a las abonadas con los minerales. La menor contribución del N del fertilizante del abono orgánico puede deberse a la menor disponibilidad de N asimilable (orgánico) en estos tipos de abono (Tablas 1 y 2), ya que este N debe mineralizarse para poder ser asimilado por las plantas (Sørensen et al., 1994). En estos primeros meses del ciclo de cultivo, con una fertilización orgánica, las reservas de la planta contribuirán en mayor medida al N de los órganos en desarrollo (Martínez-Alcántara et al. 2011).

CONCLUSIÓN

La aplicación de abonos orgánicos a plantas jóvenes de cítricos influyó de forma significativa a la biomasa total de las plantas sin afectar a la concentración de N total ni a la EUN, con respecto al obtenido con fertilizantes minerales. La contribución del N procedente de los fertilizantes orgánicos al contenido en N total de la planta fue notablemente inferior a los de fertilización mineral. De los hallazgos obtenidos se deduce que los fertilizantes de procedencia orgánica presentaron una respuesta agronómica similar a la obtenida con los fertilizantes minerales tradicionales.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo está financiado por el proyecto INIA RTA2008-00071 del Ministerio de Ciencia e Innovación de España.

BIBLIOGRAFÍA

- Bosshard C, Sørensen P, Frossard E, Dubois D, Mäder P, Nanzer S, Oberson A (2009) Nutr. Cycl. Agroecosysts 83: 271-287.
- Kubota S, Fukui H, Akao S (1974) Bull. Shikoku Agric. Exp. Stn. 28: 133-150.
- Legaz F, Primo Milló E (2000) Criterios para la fertilización de cítricos en riego localizado por goteo. En: Giner JFMV, Phytoma España SL (eds.) UPV. CAPA. Curso de Fertirrigación de cítricos. 137-155.

Menino MR, Carranca C, de Varennes A (2007) *J. Plant Nutr.* 30: 1083–1096.

Sørensen P. (2004) *Plant Soil* 267: 285-296.

Sørensen P, Jensen ES, Nielsen NE (1994) *Plant Soil* 162: 39-47.

Martínez-Alcántara B, Quiñones A, Primo-Millo E, Legaz, F (2011) *Plant Soil*, 342, 433. DOI: 10.1007/s11104-010-0707-5.