

Ana Quiñones<sup>1</sup> ● Belén Martínez-Alcántara<sup>1</sup> ● M<sup>a</sup> Rus Martínez-Cuenca<sup>1</sup> ● M<sup>a</sup> del Puig Mora<sup>2</sup>,  
Francisco Espinosa<sup>2</sup> ● Eduardo Primo-Millo<sup>1</sup> ● Francisco Legaz<sup>1</sup>

# FERTILIZANTES ORGÁNICOS SOLUBLES PARA UNA AGRICULTURA SOSTENIBLE. I. OBTENCIÓN DE ABONOS MARCADOS CON <sup>15</sup>N

<sup>1</sup> Instituto Valenciano de  
Investigaciones Agrarias - Carretera  
Moncada - Náquera km. 4.5  
46113 Moncada (Valencia)

<sup>2</sup> SEIPASA. Ciudad Darío, naves 1-3-5  
46250 Polígono industrial La Creu.  
L'Alcudia (Valencia)

## INTRODUCCION

Las técnicas y procesos de producción agraria se dirigen cada vez más hacia la necesidad de asumir compromisos de respeto medioambiental. En esta línea, la agricultura ecológica, regulada en la Unión Europea por el Reglamento (CE) 834/2007 del Consejo de 28 de junio de 2007 sobre producción y etiquetado de los productos ecológicos, se presenta como alternativa a la agricultura tradicional. La "agricultura ecológica" es la actividad agraria de producción de alimentos vegetales y animales, frescos o transformados sin la utilización de sustancias químicas de síntesis, por lo que se respeta el medio ambiente y se conserva la fertilidad de la tierra mediante la utilización óptima de los recursos naturales. Además, la agricultura ecológica se diferencia de otros sistemas de producción agrícola en varios aspectos:

- Favorece el empleo de recur-

## RESUMEN

Las técnicas y procesos de producción agraria se dirigen cada vez más hacia la necesidad de asumir compromisos de respeto medioambiental. En esta línea, la agricultura ecológica se presenta como alternativa a la agricultura tradicional. La "agricultura ecológica" es la actividad agraria de producción de alimentos vegetales y animales, frescos o transformados sin la utilización de sustancias químicas de síntesis, por lo que se respeta el medio ambiente y se conserva la fertilidad de la tierra mediante la utilización óptima de los recursos naturales. Por otro lado, las zonas agrícolas junto con las granjas agropecuarias generan anualmente grandes cantidades de restos de cosecha, residuos vegetales y estiércol de animales. Estos residuos, mediante un adecuado manejo, podrían ser fuente importante de nutrientes para las plantas, principalmente N, con lo que se lograría una reducción en el uso de fertilizantes minerales, a la vez que se disminuiría el riesgo potencial de contaminación por nitratos, tanto de las aguas superficiales como subterráneas. En este marco, el propósito de este ensayo es la obtención de abonos orgánicos solubles, uno obtenido de subproductos vegetales y otro, similar, procedente de estiércol animal, que puedan ser utilizados en riego localizado que revaloricen y aprovechen la enorme cantidad de subproductos agrícolas y ganaderos que se generan anualmente.

**Palabras clave:** Estiércol / técnica de dilución isotópica / agricultura sostenible / maíz / ovejas

sos renovables y el reciclado en la medida en que restituye al suelo los nutrientes presentes en los productos residuales.

- Respeto los propios mecanismos de la naturaleza para el control de las plagas y enfermedades en los cultivos y la cría de animales.

- Evita la utilización de plaguicidas, herbicidas, abonos químicos, hormonas de crecimiento y antibióticos, así como la manipulación genética.

Como alternativa a la agricultura tradicional, los productores recurren a una serie de técnicas que contribuyen a mantener los ecosistemas y a reducir la contaminación, además de suponer un importante potencial para el desarrollo económico de los agricultores y empresas que trabajan dentro de este marco legal. Dentro de estas técnicas, la fertilización del terreno dedicado a la agricultura ecológica es uno de los pilares de esta forma de cultivo. Con ella, no se pretende nutrir directamente la planta, sino

estimular el conjunto, es decir el suelo y la planta, manteniendo o mejorando la fertilidad del suelo «favoreciendo el complejo arcillo-húmico y el desarrollo de los microorganismos del suelo». Este tipo de agricultura ofrece de este modo, 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, sin olvidar los aportes minerales en forma de rocas minerales pulverizadas. Así, las principales fuentes de humus que aparecen en el Anexo II del Reglamento (CEE) nº2092/1991 sobre la producción agrícola ecológica son:

- Abonos orgánicos producidos en la finca o comprados a otras fincas inscritas en los registros como: estiércol (descompuesto por fermentación en montón, en hoyo o en la superficie), residuos de cosechas, abonos verdes, paja y otros acolchados, estiércol líquido (lisier) y orines (purines) fermentados aeróbicamente, purín de ortigas, compost hecho a partir de residuos orgánicos y humus de lombriz.

- Abonos orgánicos que no provienen de fincas inscritas en los registros: compost hecho a partir de residuos orgánicos no contaminados, estiércoles no contaminados y previamente descompuestos por fermentación en montón o en hoyo, paja no contaminada, algas marinas y derivados, pescado y derivados, guano de aves, humus de lombriz hecho a partir de estiércoles no contaminados, subproductos orgánicos de la industria alimentaria y textil, siempre que no estén contaminados ni tengan aditivos químicos, serrín, virutas y corizas, si proceden de madera no tratada.

Por otro lado, las zonas agrícolas junto con las granjas agropecuarias generan anualmente grandes cantidades de restos de cosecha, residuos vegetales y estiércol de animales. Actualmente, la producción anual de residuos agrícolas en EEUU supera los 500 10<sup>6</sup> Mg (Mg = Tonelada) de peso seco (Haq and Easterly 2006). En China, alrededor de 800·10<sup>6</sup> Mg (Gibson 2011) y, un valor similar (aproximadamente 700·10<sup>6</sup> Mg) se obtienen en la UE (MARM, 2010). En cuanto a la producción de estiércol animal, la cantidad producida depende de las distintas especies, la dieta, la edad, el sistema de producción, entre otros factores, con valores medios que oscilan entre 0,8 a 150 kg·semana<sup>-1</sup> para aves y vacuno, respectivamente (FAO 2010). Teniendo en cuenta que, del número de cabezas presentes en el mundo, sólo en la UE se contabilizan 136 millones, de las cuales el 48 % es ganado bovino y el 14 % aves de corral (EUROSTAT, 2011). Mediante un adecuado manejo, estos residuos podrían ser fuente importante de nutrientes para las plantas, principalmente N, con lo que se lograría una reducción en el uso de fertilizantes minerales, a la vez que se disminuiría el riesgo potencial de contaminación por nitratos, tanto de las aguas superficiales como subterráneas. Sin embargo, los agricultores al calcular las dosis de fertilizante, no tienen en cuenta los elementos nutritivos que se pueden aportar a las plantas mediante los residuos orgánicos, al carecer de esta información. Con este fin, se debe evaluar el N disponible por los cultivos procedente de los fertilizantes orgánicos nitrogenados. Para ello, se debe utilizar la técnica de dilución isotópica con <sup>15</sup>N (marcado isotópico) que nos permite conocer, de una manera exhaustiva y fiable, el destino final

del N aplicado con el abono orgánico. En algunos ensayos realizados mediante el marcado con <sup>15</sup>N de paja u otros restos de cultivos (Yaacob and Blair 1980; Jensen 1994), así como, de deyecciones sólidas marcadas (Sørensen et al. 1994a y Sørensen and Jensen 1998) se han obtenido estiércoles en forma sólida que contienen <sup>15</sup>N, pero que no son viables para su aplicación mediante sistemas de riego localizado. Para que estos productos puedan aportarse mediante este sistema de riego, es preciso someterlos a varios procesos para transformarlos en fertilizantes orgánicos solubles (Sørensen *et al.*, 1994b).

En la actualidad, no se disponen de estudios que incidan en el aprovechamiento de estos abonos que permitan establecer unos criterios de fertirrigación ecológica racional, principalmente en cítricos, cultivo prioritario en la Comunidad Valenciana. Mención especial merecen los fertilizantes nitrogenados, ya que dentro de la fertilización, la mayor proporción corresponde a estos, ya que el N influye en mayor medida sobre el crecimiento vegetativo y la producción que otros nutrientes. Además, las pérdidas de este nutriente son muy importantes, si tenemos en cuenta que por término medio se pierde alrededor del 45% del N aplicado al suelo (volatilización, desnitrificación y lixiviación), y esto contribuye al empeoramiento de la calidad de nuestras aguas subterráneas.

En este marco, el propósito de este estudio consistió en primer lugar, (I) en la obtención de dos abonos orgánicos solubles, uno obtenido de subproductos vegetales y otro procedente de estiércol animal, que puedan ser utilizados en riego localizado, que revaloricen y aprovechen la enorme cantidad

de subproductos agrícolas y ganaderos que se generan anualmente y, en segundo lugar, (II) comparar la absorción de los nutrientes aplicados en plantas de cítricos, principalmente nitrógeno, con los abonos orgánicos obtenidos frente a los fertilizantes minerales.

## MATERIAL Y MÉTODOS

Como ya se ha indicado, con el fin de conocer el aprovechamiento del N orgánico presente en ambos abonos se deberán marcar con el isótopo estable <sup>15</sup>N, ya que el uso de esta herramienta es imprescindible para abordar de una manera exhaustiva el destino final del N aplicado con el fertilizante. Los abonos marcados con este isótopo no están disponibles en el mercado, tanto por la complejidad de su obtención como por el elevado coste de fabricación.

### Preparación del maíz forrajero marcado con <sup>15</sup>N

En agosto de 2008, se sembró maíz forrajero (*Zea mays* L.) en 3 parcelas de 20 m<sup>2</sup> cada una, en un suelo franco arcillo-arenoso (67,5 % arena, 10,6 % limo, 21,9 % arcilla), pH 7,9 y 0,58 % materia orgánica) situado en el Instituto Valenciano de Investigaciones Agrarias de Moncada, Valencia. El maíz se regó por aspersión con el agua del pozo del IVIA y se fertilizó con los macro y micronutrientes necesarios para su correcto desarrollo. El N sólo se aplicó por vía foliar con tres aportes de urea al 0,5 % y otros tres de sulfato amónico al 1,0 %, ambos fertilizantes enriquecidos al 10 % con <sup>15</sup>N. El término enriquecido o exceso indica el incremento de la proporción de <sup>15</sup>N sobre la abundancia natural de este isótopo en el aire que es de 0,366 % <sup>15</sup>N. De modo que, para el marcado de las plantas se aplica-

ron 495 g de urea y 1.220 g de sulfato amónico, lo que supuso 483,9 g N que equivale a 80,6 Kg N·ha<sup>-1</sup> y 48,4 g <sup>15</sup>N en exceso.

Al inicio de la fructificación (octubre), cuando el maíz forrajero alcanzó unos 2 m de altura, se cortó la parte aérea y se separaron dos fracciones (tallo con hojas y tallo sin hojas) y el sistema radical se extrajo del suelo de forma manual. Las tres fracciones se secaron a una temperatura ambiente de 20 °C y, posteriormente, se usaron tanto para la elaboración del abono de origen vegetal como para la dieta del ganado lanar. De cada fracción se tomaron tres muestras representativas que se secaron en estufa a 60 °C para el análisis de la composición mineral y la proporción isotópica en <sup>15</sup>N/<sup>14</sup>N.

### Preparación de la dieta de las ovejas con el maíz forrajero marcado con <sup>15</sup>N

La fracción de tallo con hojas con una concentración en N de 1,52 % y un exceso en <sup>15</sup>N del 2,81 % se utilizó como heno en la alimentación del ganado ovino, cuyas deyecciones sólidas se emplearon para la obtención del abono de origen animal. Para aumentar en enriquecimiento en <sup>15</sup>N de esta fracción, se pulverizó con urea enriquecida al 10,2 % en <sup>15</sup>N, de este modo se garantiza que el abono ecológico procedente de las deyecciones sólidas tenga un enriquecimiento en <sup>15</sup>N suficiente para que posteriormente este isótopo sea detectado en plantas de cítricos. Esta práctica se realiza para incrementar el contenido de N de la dieta del ganado lanar, siempre y cuando no se supere el 20 % de N total presente en la misma, ya que podría ser tóxico para los animales (European Community, 2008).

Después, todo el heno se mezcló uniformemente para asegurar un enriquecimiento uniforme en la dieta de las ovejas (Powell *et al.* 2004) y se dividió en 18 partes iguales, cada parte equivalente a la dieta de un día.

### Producción del estiércol de oveja marcado con <sup>15</sup>N

Cuatro ovejas se colocaron en celdas metabólicas (Fotografía 1), cedidas por el Instituto de Ciencia y Tecnología Animal (Universidad Politécnica de Valencia), con el fin de recoger las deyecciones sólidas que servirán de materia prima para la obtención del abono de origen animal. Los animales se alimentaron a demanda con la fracción de tallo con hojas durante 18 días (desde 22 de febrero al 12 de marzo de 2009). Cada jaula dispone de una bandeja perforada en donde quedan retenidas las deyecciones sólidas que se recogieron diariamente de forma manual. La orina, sin embargo, atraviesa la bandeja y a través de tubos de drenaje se recogió en un depósito cada día. En el momento de la recogida se tomaron tres muestras de cada una de las deyecciones, las líquidas se almacenaron a 4 °C hasta su análisis posterior y las sólidas se secaron en estufa (60 °C).

A lo largo del período de marcado, antes del aporte nuevo de heno a cada jaula metabólica, se retiró el que quedaba en el comedero. Éste se utilizó, posteriormente, junto con las fracciones del tallo sin hojas y el sistema radical para la obtención del abono de origen vegetal.



Fotografía 1. ▶

Celdas metabólicas para la alimentación y recogida de las deyecciones sólidas y líquidas del ganado lanar.

## Determinaciones analíticas

Las muestras marcadas de maíz y de las deyecciones sólidas se 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. En estas muestras se determinó la concentración de N total mediante un analizador elemental (NC 2500 Thermo Finnigan) y la relación isotópica <sup>15</sup>N/<sup>14</sup>N con un espectrómetro de masas (Delta Plus, Thermo Finnigan) acoplado al analizador. El resto de macronutrientes (P, K, Ca, Mg, Na y S) y micronutrientes (Fe, Mn, Zn, Cu y B) se midieron por espectrometría de emisión con fuente de plasma de acoplamiento inductivo (iCAP-AES 6000, Thermo Scientific, Cambridge, Reino Unido). Los resultados se expresaron como porcentaje (macronutrientes) o partes por millón (micronutrientes) sobre peso seco. Todas las determinaciones se realizaron por duplicado y después de cada serie de diez (en el análisis de N) o quince muestras (para los otros elementos nutritivos) se analizó un estándar para asegurar la exactitud de las medidas.

## Cálculos

El contenido de <sup>15</sup>N en el maíz, las deyecciones sólidas y los abonos obtenidos se calculó del modo siguiente:

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

El % <sup>15</sup>N en exceso se obtiene restando a la concentración de <sup>15</sup>N de cada muestra, la abundancia en la naturaleza de este isótopo. La abundancia natural de <sup>15</sup>N en el N<sub>2</sub> atmosférico es de 0,366%, según la Agencia Internacional de Energía Atómica (IAEA, 1983).

El porcentaje de eficiencia de uso del nitrógeno (% EUN) representa el porcentaje de <sup>15</sup>N aplicado con los fertilizantes marcados que ha sido absorbido por el maíz y el aplicado a las ovejas con el maíz marcado y que se ha recuperado en las heces sólidas. Éste se determinó mediante la fórmula:

$$\% \text{ EUN} = \frac{^{15}\text{N absorbido maíz (mg)}}{^{15}\text{N aplicado mediante los fertilizantes marcados y en la dieta marcada de las ovejas}} \times 100$$

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Obtención del maíz forrajero marcado con <sup>15</sup>N

La biomasa de las tres fracciones de maíz forrajero extraídas del suelo se muestra en la tabla 1 y supuso un peso seco total de 66,7 Kg. La mayor parte de la fracción del tallo con hojas destinó a la alimentación del ganado, que supuso el 82 % del peso total. En el total de las tres fracciones se recuperaron 25.216 mg de <sup>15</sup>N en exceso. Teniendo en cuenta que se abonaron con 48.400 mg de <sup>15</sup>N, se ha obtenido una EUN en el maíz del 52 %, en tan solo 41 días de cultivo. Esto indica que el aporte de N foliar realizado mediante fertiliza-

ción mineral es un proceso muy eficiente para fertilizar este cultivo y marcar suficientemente el material vegetal que va a ser utilizado en la obtención de los abonos orgánicos solubles.

Con la adición de urea marcada a 43,6 Kg de la fracción de tallo con hojas se mejoró la dieta prevista para las ovejas, ya que la concentración de N total pasó del 1,52 % al 1,73 %, y el enriquecimiento final del heno fue del 3,74 % en <sup>15</sup>N (Tabla 1). De esta cantidad suministrada como dieta a las ovejas, se ingirieron 32,6 Kg y desperdiciaron 11 Kg. De modo que las ovejas se alimentaron con una dieta que contenía 21.093 mg de <sup>15</sup>N (Tabla 1).

Para la obtención del abono de origen vegetal se dispuso de 23,1 Kg de maíz forrajero (6,2 kg de tallo sin hojas, 5,9 Kg del sistema radical y 11,0 Kg desperdiciados por el ganado). Por lo que la materia prima para la obtención de este abono tenía una concentración de N total del 1,19 % y de <sup>15</sup>N en exceso del 3,26 % . Por tanto, el maíz forrajero utilizado como materia prima del abono presentó un contenido en <sup>15</sup>N de 8.963 mg (Tabla 1).

Tabla 1. Peso seco y parámetros de N y <sup>15</sup>N en el maíz forrajero<sup>1</sup>

Fraciones	Peso seco (Kg)	N (% PS)	N (g)	<sup>15</sup> N (% exceso)	<sup>15</sup> N (mg)
Tallo con hojas	54,6	1,52±0,14	829,9±72,3	2,81±0,05	23.321±125
Tallo sin hojas	6,2	0,83±0,17	51,5±9,9	1,96±0,14	1.009±20
Sistema radical	5,9	0,58±0,01	34,2±5,6	2,59±0,07	886±45
<b>Planta de maíz completa</b>	<b>66,7</b>	<b>1,37±0,13</b>	<b>915,6±73,8</b>	<b>2,75±0,07</b>	<b>25.216±856</b>
Tallo con hojas (Sobrante comederos)	11,0	1,73±0,15	189,8±18,6	3,74±0,14	7.098±153
Maíz para abono vegetal	23,1 <sup>2</sup>	1,19±0,11	275,5±63,2	3,26±0,15	8.993±369
Tallo con hojas (Ingerido ovejas)	32,6	1,73±0,15	581,3±50,7	3,74±0,14	21.093±260

<sup>1</sup> Cada valor es la media de tres muestras ± error estándar.

<sup>2</sup> Para la elaboración del abono de origen vegetal se emplearon las fracciones de tallo sin hojas y el sistema radical a las que se añadieron 11 kg de la fracción de tallo con hojas que se recogieron de los comederos de las jaulas metabólicas. Esta fracción estaba enriquecida con <sup>15</sup>N al 3.74 % con una concentración de 1.73 %N.



**Tabla 2.** Concentración media de macro y micronutrientes de la planta de maíz forrajero<sup>1</sup>

Macronutrientes (%)	N	P	K	Mg	Ca	Na	S
Maíz forrajero	1,37±0,11	0,038±0,009	0,70±0,08	0,045±0,012	0,22±0,04	0,02±0,00	0,048±0,012
Micronutrientes (ppm)	Fe	Zn	Mn	Cu	B		
Maíz forrajero	186±23	30,8±2,5	10,9±2,4	2,4±0,7	13,5±3,7		

<sup>1</sup>Cada valor es la media de tres muestras ± error estándar.

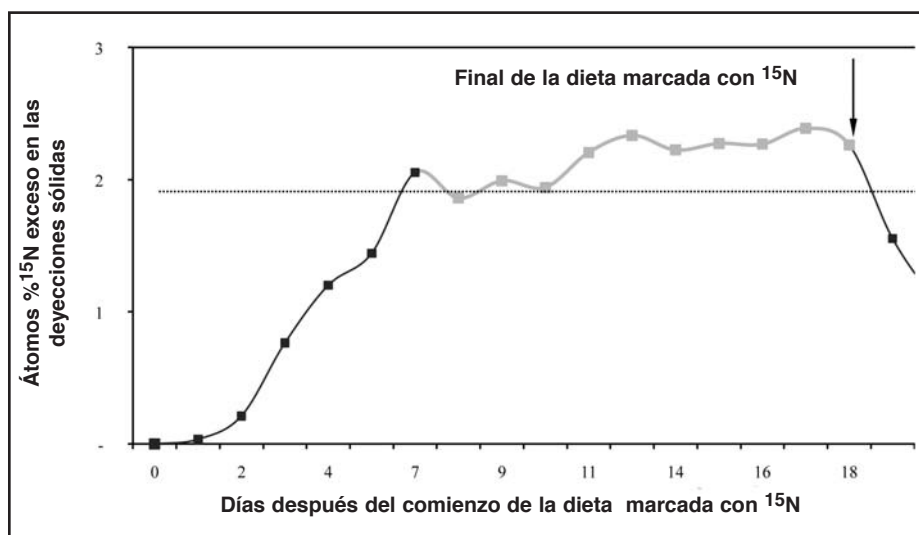
La tabla 2 muestra la concentración en macro y micronutrientes del conjunto de las tres fracciones del maíz forrajero (tallo con y sin hojas y sistema radical).

### Producción de estiércol de oveja marcado con <sup>15</sup>N

La alimentación del ganado con forrajes enriquecidos con <sup>15</sup>N es una técnica costosa y muy laboriosa (Sorensen *et al.* 1994). Sin embargo, es el único método actual que garantiza un enriquecimiento en <sup>15</sup>N suficiente para la posterior producción de abonos orgánicos (Powell y Wu, 1999).

En la tabla 3 y figura 1 se muestra la biomasa de estiércol, secado a 60° C, y los parámetros de N total y <sup>15</sup>N en las deyecciones sólidas recogidas diariamente desde el inicio de la dieta marcada. Durante los dos días de la alimentación con el heno marcado, el exceso o enriquecimiento en <sup>15</sup>N apenas superó la abundancia natural de este isótopo; ya que el <sup>15</sup>N contenido en la dieta se diluyó con el N de la alimentación previa no marcada que permanece aún en el tracto digestivo y por el N endógeno excretado en el mismo (Nolan, 1975). Después del segundo día de marcado, la concentración de <sup>15</sup>N aumentó de forma considerable y entre los días 11 y 18 se estabilizó y se alcanzó la máxima concentración de <sup>15</sup>N, y a partir del momento en que se eliminó la dieta marcada, el % de <sup>15</sup>N en exceso decreció considerablemente.

**Figura 1.** Enriquecimiento <sup>15</sup>N del estiércol de oveja durante la dieta con heno marcado.



**Tabla 3** Peso seco del estiércol, concentración de N y de los parámetros de <sup>15</sup>N en las deyecciones sólidas de las ovejas durante el período de marcado<sup>1</sup>

Período de marcado (days)	Peso seco (g)	%N (PS)	% <sup>15</sup> Nexceso	<sup>15</sup> N (mg)
6	1.070	1,78±0,11	2,054±0,014	380.9±2.2
7	837	2,16±0,03	1,861±0,035	327.6±5.2
8	898	1,73±0,01	1,991±0,024	301.2±3.1
9	941	1,87±0,10	1,941±0,001	332.6±0.1
10	976	1,81±0,01	2,206±0,045	379.5±6.6
11+12	1.933	1,76±0,01	2,334±0,020	773.2±5.7
13	1.090	1,89±0,08	2,224±0,160	446.1±27.6
14	1.118	1,59±0,04	2,273±0,020	393.4±2.9
15	1.174	1,81±0,03	2,268±0,028	469.3±5.3
16	1.237	1,74±0,21	2,388±0,014	500.5±1.8
17	1.122	1,71±0,03	2,263±0,038	422.8±6.4
Total	12.070	1,79±0,06	2,184±0,025	4.726.9±60.3

<sup>1</sup>Cada valor es la media de tres muestras ± error estándar.

El estiércol obtenido entre los días 6 y 17 de marcado supuso un peso total de 12,1 kg con un exceso de <sup>15</sup>N por encima de 1,9 %, cantidad y enriquecimiento suficiente de materia prima para fabricar el abono de origen animal y el

marcado posterior con este abono de plantas de cítricos. Por ello, a partir del día 17 se sustituyó la dieta marcada por heno normal.

**Tabla 4.** Concentración media de macro y macro y micronutrientes de las deyecciones sólidas de las ovejas<sup>1</sup>

Macronutrientes (%)	N	P	K	Mg	Ca	Na	S
Deyecciones	1,79±0,06	0,37±0,05	0,92±0,11	0,25±0,03	0,82±0,08	0,049±0,005	0,21±0,03
Micronutrientes (ppm)	Fe	Zn	Mn	Cu	B		
Deyecciones	309,5±22,1	185,9±15,8	65,5±5,6	9,6±0,2	38,3±3,3		

<sup>1</sup>Cada valor es la media de tres muestras ± error estándar.

La EUN de las deyecciones sólidas que, posteriormente, se utilizaron para la obtención del abono de origen animal, fue del 22,4 %, ya que con los 32,6 Kg de dieta marcada se aportaron 21.093 mg de <sup>15</sup>N (Tabla 1) y se recuperaron 4.727 mg de <sup>15</sup>N en la deyecciones (Tabla 3).

Al igual que en el maíz forrajero, materia prima del abono de origen vegetal, se determinó también la concentración en macro y micronutrientes de las deyecciones sólidas (Tabla 4). En términos generales, las heces de oveja presentaron concentraciones muy superiores en la mayor parte de los nutrientes muestreados (N, P, Mg, Ca, S, Fe, Zn, Mn, Cu y B).

#### Obtención del abono marcado orgánico soluble de origen vegetal

El desarrollo de este abono se llevó a cabo en las instalaciones de la Empresa SEIPASA. Para ello, se debe extraer del maíz la proteína soluble del citoplasma, la anclada a la membrana lipídica y la de la pared celular. Con tal fin, lotes de 500 g de materia prima secados en estufa a 60 °C (tallos sin hojas, sistema radical y el tallo con hojas no aprovechado por las ovejas) se mezclaron y se trocearon con una Biotrituradora (Viking GE345) y, a continuación, la mezcla se trituro con un molino de agua refrigerada (IKA M20, Staufen, Alemania). Cada lote se hidrolizó con 0,5 % de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> y se sometió a un "cooking" a alta presión (1,5 MPa) y tempera-

**Tabla 5.** Concentración de N total y sus diferentes fracciones (mg·L<sup>-1</sup>), composición isotópica (% <sup>15</sup>N exceso) y concentración de macro y micronutrientes (mg·L<sup>-1</sup>) del abono líquido orgánico de origen vegetal<sup>1</sup>.

N-total <sup>2</sup>	N-NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	N-NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	N-mineral	N-orgánico	<sup>15</sup> N exceso	pH
330,8±31,6	26,5±0,6 <sup>1</sup>	21,6±0,03	48,1±0,04	282,6±6	2,62±0,07	3,86±0,04
P	K	Mg	Ca	S		
47±1	923±14	60±2	386±9	548±7		
Fe	Zn	Mn	Cu	B		
8,3±0,3	2,5±0,5	1,22±0,02	0,13±0,00	0,16±0,00		

<sup>1</sup>: Valor promedio de 3 repeticiones ± error estándar.

<sup>2</sup>: El amonio supone 55% del N mineral y el nitrato el 45%

**Tabla 6.** Concentración de N total y sus diferentes fracciones (mg·L<sup>-1</sup>), composición isotópica (% <sup>15</sup>N exceso) y concentración de macro y micronutrientes (mg·L<sup>-1</sup>) del abono líquido orgánico de origen animal<sup>1</sup>.

N-total <sup>2</sup>	N-NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	N-NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	N-mineral	N-orgánico	<sup>15</sup> N exceso	pH
495,7±47,0	88,2±0,4 <sup>2</sup>	4,2±0,4	92,4±0,3	403,3±0,0	2,17±0,01	1,41±0,10
P	K	Mg	Ca	S		
365±26	921±65	257±19	545±28	2,274±68		
Fe	Zn	Mn	Cu	B		
22,6±2,1	18,0±1,4	5,71±0,51	0,04±0,01	0,52±0,04		

<sup>1</sup>: Valor promedio de 3 repeticiones ± error estándar.

<sup>2</sup>: El amonio supone 95% del N mineral y el nitrato el 5%

tura (125 °C) y luego se lavó, para eliminar la mayor parte del ácido utilizado, y se filtró, para separar la fracción sólida de la líquida. En la siguiente fase se realizó una hidrólisis de azúcares con enzimas que atacan la lignina (ligninasa), la celulosa (celulasa) y la hemicelulosa (hemicelulasa) y, posteriormente, se llevó a cabo una hidrólisis de las proteínas mediante proteasas (Crook 1945). Finalmente, se mezclaron todas los extractos obtenidos, concentrándolos conjunta-

mente, consiguiendo en todos ellos una extracción de N en torno 75 % de la materia original.

Al final de todo el proceso se determinó la composición del abono líquido orgánico de origen vegetal en el IVIA, se analizó la concentración en N total y sus diferentes formas (nitrítica, amoniacal y orgánica) y su correspondiente enriquecimiento isotópico; así como, el pH y la concentración en macro y microelementos. (Tabla 5).

### Obtención del abono marcado orgánico soluble de origen animal

Como ya se ha indicado, las deyecciones sólidas que presentaron un enriquecimiento superior a 1,9 % se utilizaron para la obtención del abono de origen animal. Éstas se secaron en estufa (60 °C) y, tras una molienda igual a la indicada en el materia vegetal, se sometieron a un "cooking" similar al detallado para la obtención del abono de origen vegetal, pero en este caso el ácido sulfúrico se aplicó al 1,0 % sobre mezcla 10 % p/p. Tras el proceso, se dejó decantar la solución y posteriormente, se filtró el líquido obtenido. De igual modo, a fin de cuantificar las características de este abono, se determinó la concentración en N total, amoniacal, nítrico y orgánico y el enriquecimiento isotópico en <sup>15</sup>N y se analizó también, el pH y la concentración en macro y microelementos (Tabla 6).

En ambos casos, tanto el abono de origen animal como vegetal presentaron una concentración elevada de nitrógeno total, con una pequeña cantidad en forma mineral (nitrato y amonio). El enriquecimiento en <sup>15</sup>N en el abono de origen vegetal fue de 2,62 %, superior al obtenido en el de origen animal (2,17 %). Esto se debió a que aunque la materia prima original para obtener ambos abonos presentaba un enriquecimiento del 3,26 % en el maíz para la obtención de abono vegetal y del 3,74 % en la dieta de ovejas, el exceso de este último se diluyó en el proceso de digestión y asimilación del ganado lanar. Con respecto al resto de nutrientes, los abonos obtenidos presentan concentraciones elevadas tanto en los macro como en los micronutrientes. En el caso del potasio, ambos abonos presentan una concentración similar. Sin embargo, el abono

de origen animal tiene concentraciones superiores en el resto de elementos nutritivos, como cabía esperar a la vista de los resultados de las analíticas realizadas a las materias primas utilizadas (Tablas 2 y 4). El pH en el abono de origen vegetal fue considerablemente más bajo que el obtenido de las heces de oveja ya que éstas se atacaron con una concentración de ácido sulfúrico doble que la utilizada en la digestión del material vegetal.

### CONCLUSION

Con la realización de este trabajo se ha logrado producir dos abonos solubles, que podrán ser usados en riego localizado, con un alto contenido en N, P, K y otros elementos nutritivos. Además, la implicación de empresas del sector en la obtención de estos fertilizantes orgánicos supone un potencial de gran interés de desarrollo económico, tanto de las entidades que trabajan dentro de este marco legal como de los agricultores que pueden revalorizar sus residuos agrarios.

### Agradecimientos

Queremos dar las gracias al equipo de nutrición del Instituto Valenciano de Investigaciones Agrarias: M<sup>a</sup> Carmen Prieto, Josefa Giner, Teresa García Estellés, así como a los equipos de I+D+i de las empresas Probelte S.A. (Ana Isabel Fernández) y Agrimartín S.L. (Rafael Gómez-Gamero) por su apoyo técnico. Agradecemos también a Carlos Fernández y su equipo del Instituto de Ciencia y Tecnología Animal (UPV) y a Ernesto Gómez del Centro de Tecnología Animal (Segorbe - IVIA) su ayuda en la fase de producción del estiércol marcado. Este trabajo ha sido financiado por el proyecto INIA RTA2008-00071-00-00.

### REFERENCES

1. **European Community**, 2008, Commission Regulation (EC). No 429/2008 of 25 April 2008 on detailed rules for the implementation of Regulation (EC) No 1831/2003 of the European Parliament and of the Council as regards the preparation and the presentation of applications and the assessment and the authorisation of feed additives
2. **Eurostat**, 2009, European Commission, Agricultural statistics. [http://epp.eurostat.ec.europa.eu/statistics\\_explained/index.php/Agriculture\\_environmental\\_statistics#External\\_links](http://epp.eurostat.ec.europa.eu/statistics_explained/index.php/Agriculture_environmental_statistics#External_links)
3. **FAO**, 2010, Animal production and health division. Food and Agriculture Organization of the United Nations.
4. **Gibson Lisa**, 2011. China's Crop Residue Capacity. Biomass Power & Thermal (701: 738-4952).
5. **Haq Z, Easterly JL**. 2006, Agricultural residue availability in the United States. Appl Biochem Biotechnol 129-132: 3-21.
6. **International Atomic Energy Agency**, 1983. A guide to the use of Nitrogen-15 and radioisotopes in studies of plant nutrition: calculations and interpretation of data. IAEA, Vienna.
7. **Jensen ES** (1994). Availability of nitrogen in <sup>15</sup>N-labelled mature pea residue to subsequent crops in the field. Soil Biol Biochem 26: 465-472.
8. **MARM** (2010) Ministerio del medio ambiente, medio rural y marino. Resumen estadístico.
9. **Nolan J V** 1975 Quantitative models of nitrogen metabolism in sheep. In Digestion and Metabolism in the Ruminant. Proceedings of the IV International Symposium on Ruminant Physiology. Sydney, Australia. Eds IW McDonald and ACI Warner. Pp 416-431. The University of New England Publishing Unit, Armidale.
10. **Powell JM, Wu Z** (1999) Nitrogen-15 labelling of dairy feces and urine for nutrient cycling studies. Agron J 91: 814-818.
11. **Powell JM, Wu Z, Kelling K, Cusick P, Muñoz G** (2004) Differential nitrogen-15 labelling of dairy manure components for nitrogen cycling studies. Agron J 96: 433-441.
12. **Sørensen P, Jensen ES** (1998) The use of <sup>15</sup>N labelling to study the turnover and utilization of ruminant manure N. Biol. Fertil Soils 28: 56-63.
13. **Sørensen P, Jensen ES, Nielsen NE** (1994a) Labelling of animal manure with <sup>15</sup>N. Plant Soil 162: 31-37.
14. **Sørensen P, Jensen ES, Nielsen NE** (1994b) The fate of <sup>15</sup>N-labelled organic nitrogen in sheep manure applied to soils of different texture under field conditions. Plant Soil 162: 39-47.
15. **Yaacob O, Blair GB** (1980) Mineralization of <sup>15</sup>N-labelled legume residues in soils with different nitrogen contents and its uptake by Rhodes grass. Plant Soil 57:237-248.
16. **Crook EM** (1945) The Extraction of Nitrogenous Materials from Green Leaves Rothamsted Experimental Station, Harpenden, Hert. 40: 197-209.