

# Evaluación agronómica de lodos de la industria maltera

NOTA TÉCNICA

Omar Casanova\*, Mónica Barbazán\*, Amabelia del Pino\*

El aumento de la capacidad de malteado registrado en los últimos años en Uruguay y la inminente existencia de medidas de control de los efluentes producidos por la industria aumentan la necesidad de disponer de información sobre alternativas para la colocación y reutilización de los residuos generados. Una de las alternativas es aplicarlos al suelo para usarlos en sistemas de producción agrícolas, para lo cual se requiere conocer sus características físico-químicas y su comportamiento agronómico que asegure su uso racional en estos sistemas.

En Uruguay existen escasos estudios relacionados a la caracterización y utilización de residuos orgánicos en general en sistemas de producción agrícolas (del Pino *et al.*, 2008; Barbazán *et al.*, 2008; Barbazán *et al.*, 2011; del Pino *et al.*, 2012). Particularmente en efluentes o lodos de maltería sólo existe trabajos que los caracterizan pero sin evaluación agronómica (López *et al.*, 2007; Barbazán *et al.*, 2011). En el presente artículo se presentan resultados de la evaluación de un subproducto de la industria del malteado (lodos) como fuente de nutrientes para cultivos, en especial de nitrógeno (N). Para ello se caracterizó química y físicamente el subproducto; se estudió la respuesta de un cultivo a la aplicación del subproducto comparada con la de un fertilizante comercial; y se cuantificó la descomposición del subproducto en el suelo a través de incubaciones aeróbicas.

## METODOLOGÍA

Para la caracterización química y física de los lodos, se analizaron 16 muestras de lodo provenientes de dos empresas productoras de malta de Uruguay. Las muestras fueron enviadas en diferentes fechas durante los meses de enero y febrero de 2007. Cada muestra se dividió en dos partes, de las cuales una fue mantenida a 5°C para sus análisis como muestra fres-

ca y la otra secada y molida. En las muestras frescas se determinó densidad, pH, conductividad eléctrica, concentración de N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup> y de N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup>. En las muestras secas se determinó materia seca (MS), densidad, cenizas, concentración de lignina y polifenoles, C soluble y concentración total de C, N, P, K, S, Ca, Mg, Na, micronutrientes (Cu, Fe, Mn y Zn) y metales pesados (Cr y Pb). Para la evaluación agronómica del lodo obtenido, se realizó un experimento de campo, ubicado en la Estación Experimental "Dr. Mario A. Cassinoni" (EEMAC), de la Facultad de Agronomía de la Universidad de la República, en el departamento de Paysandú, Uruguay. El sitio fue seleccionado por sus características topográficas (escasa pendiente), homogeneidad del área y la presencia de una gramínea invernal (*Festuca Quantum 2*). La festuca había sido sembrada el 16 de mayo de 2007 a una densidad de 15 kg ha<sup>-1</sup> y fertilizada en dosis equivalentes a 7 kg ha<sup>-1</sup> de N y 40 de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>. Las condiciones ambientales de temperatura y precipitaciones ocurridas en el período 2007- 2008 se muestran en el Cuadro 1. En general, durante el período evaluado, las lluvias fueron muy escasas, y las temperaturas del invierno muy bajas, las cuales retardaron y limitaron el crecimiento del cultivo.

Cuadro 1. Temperatura y precipitaciones promedio para el período evaluado.

Año	Meses	Temperatura °C	Lluvias mm
2007	Julio	9,5	2,6
	Agosto	10,5	2,4
	Setiembre	17,3	5,6
	Octubre	18,5	17,8
	Noviembre	20,1	2,2
	Diciembre	24,0	4,7
2008	Enero	25,6	4,1
	Febrero	25,1	18,6
	Marzo	22,2	4,6
	Abril	18,8	7,1
	Mayo	15,9	2,5
	Junio	10,6	7,1
	Julio	15,4	6,2
	Agosto	13,0	12,3
	Setiembre	14,4	9,8
	Octubre	18,4	8,5

\*Ings. Agrs. Dpto. Suelos y Aguas, Montevideo

El suelo donde se realizó el experimento es un Brunosol éutrico típico de la Unidad de Suelos San Manuel, de textura franco-arcillo limosa en el horizonte superficial y con un horizonte subsuperficial con influencia de material calcáreo, cuyas propiedades químicas se resumen en el Cuadro 2.

**Cuadro 2.** Características del suelo donde se realizó el ensayo de campo.

Profundidad de muestreo (cm)	pH (agua)	pH (KCl)	M.O.† (%)	P Bray-1 (mg kg <sup>-1</sup> )	Ca (-----)	K (cmolc kg <sup>-1</sup> )	Mg (-----)
0-20	5,5	4,8	4,7	58	13,6	0,65	1,5
20-40	5,6	4,9	3,4	21	16,7	0,51	1,3
40-60	6,2	5,4	2,4	14	20,5	0,61	1,4

† Materia orgánica

Los tratamientos evaluados fueron un testigo (sin agregados), dos dosis de lodo y dos de urea, equivalentes a 60 y 120 kg N ha<sup>-1</sup>, aplicados cuando la festuca que tenía una altura de 5-8 cm, correspondiente a unos tres meses desde su implantación. Este momento del ciclo de la festuca corresponde al período en que comienza el crecimiento y absorción rápida de nutrientes, y fue elegido como el más apropiado para evitar pérdidas de N. Con las dosis de N evaluadas se intentó cubrir los requerimientos de N por parte del cultivo. La cantidad de lodo aplicada por tratamiento fue calculada a partir del promedio de los datos de N y MS de las muestras de lodos enviadas en enero y febrero, que presentaron 5% de N en base seca y 8% de MS. La respuesta del cultivo al agregado de lodo o urea se evaluó a través del rendimiento de MS y concentración de nutrientes en cuatro cortes realizados en octubre y diciembre de 2007, y en marzo y octubre de 2008. Luego de cada corte se realizó un muestreo de suelos a tres profundidades: de 0-20, 20-40, y 40-60 cm, para determinar la concentración de N mineral en el perfil del suelo.

Para evaluar los patrones de descomposición del lodo y su potencialidad para aportar nutrientes, se realizó un experimento de laboratorio, que consistió en el agregado de lodo a un suelo, aplicado en las mismas dosis que las usadas en el experimento de campo. El suelo utilizado fue extraído del mismo lugar donde se realizó en ensayo de campo, tomando los primeros 15 cm del perfil. En este experimento se midió la actividad microbiana a través de evolución de CO<sub>2</sub> respirado y la producción de N mineral en los distintos tratamientos, mediante incubaciones aeróbicas bajo temperatura y humedad controladas. Se realizaron mediciones a los 0, 4, 7, 11, 14, 19, 26, 32, 47, 61, 75, 89, 103, 119, 135, 151, 165 y 179 días de aplicados los tratamientos.

## PRINCIPALES RESULTADOS

### Caracterización físico-química de lodos

Los resultados muestran que estos lodos presentan como característica a destacar una baja concentración de sólidos totales o de MS, que en promedio fue de 6,6% y una densidad promedio de 1,1 g cm<sup>3</sup>, lo cual implica que poseen un gran volumen de agua, comparado con otros materiales orgánicos actualmente usados en el país, que generalmente contienen entre 10 y 63% de agua (Barbazán *et al.*, 2011). La concentración promedio de C orgánico en la MS fue 344 g kg<sup>-1</sup>; este C corresponde a compuestos como proteínas, lípidos, etc., característicos de estos subproductos. El pH en la mayoría de las muestras fue cercano a la neutralidad, con un promedio de 6,9, lo cual es característico de materiales provenientes de procesos biológicos. Esta característica puede ser importante para elevar el pH en suelos ácidos, en caso de ser utilizado durante un período largo o en altas dosis. La conductividad eléctrica promedio fue de 1,46 a 2,03 mS cm<sup>-1</sup> para la Empresa 1 y 2, respectivamente, y los valores fueron similares a los encontrados por Campaña (2011) en Argentina. Las concentraciones promedio de ligninas, polifenoles y C soluble fueron 186, 91, y 105 g kg<sup>-1</sup>, respectivamente.

Las concentraciones de macronutrientes en las muestras analizadas fueron relativamente variables (Cuadro 3), y coincide con lo observado en otros estudios (Campaña, 2011). Estas variaciones se atribuyen a las características de los suelos de donde provienen las cebadas para el malteado, la fertilización recibida, y a diferencias en el proceso de elaboración y manejo del efluente. Por otro lado, también influye el efecto del muestreo, dadas las dificultades para obtener muestras representativas de este tipo de residuo (Lorimor *et al.*, 2000).

**Cuadro 3.** Caracterización fisicoquímica de lodos provenientes de Empresa 1 (muestras 1-11) y de Empresa 2 (muestras 12-16).

Muestra N°	C g kg <sup>-1</sup>	C/N	N g kg <sup>-1</sup>	P g kg <sup>-1</sup>	K g kg <sup>-1</sup>	S g kg <sup>-1</sup>	Ca g kg <sup>-1</sup>	Mg g kg <sup>-1</sup>	Na g kg <sup>-1</sup>	Cu mg kg <sup>-1</sup>	Fe mg kg <sup>-1</sup>	Mn mg kg <sup>-1</sup>	Zn mg kg <sup>-1</sup>
1	337	7,0	50,3	14,4	11,4		18,1	4,1	1,2	520	2680	175	1170
2			54,8	16,3	13,3		14,7	4,5	1,3	555	2520	214	1190
3	371	6,0	59,5	12,1	12,9		14,8	4,5	1,2	555	2520	168	1160
4			55,0	18,5	14,4		15,8	5,3	1,3	555	2440	193	1170
5	334	6,0	53,1	18,0	13,7		15,7	5,5	1,4	570	2660	231	1180
6	372	7,0	52,8	16,9	13,9	8,5	16,7	4,9	1,2	580	2600	244	1280
7			61,0	24,6	12,8		16,8	4,8	1,1	550	2420	238	1040
8			55,1	20,9	12,9		18,1	5,1	1,2	560	2340	258	1200
9			55,7	18,7	13,3		17,1	5,4	1,2	555	480	259	1040
10			55,6	15,3	11,8		20,9	4,7	1,2	505	2360	256	1130
11			55,6	17,1	12,6		20,5	5,2	1,3	540	2400	270	1100
<b>Media</b>	<b>354</b>	<b>6,5</b>	<b>55,3</b>	<b>17,5</b>	<b>13,0</b>	<b>8,5</b>	<b>17,2</b>	<b>4,9</b>	<b>1,2</b>	<b>550</b>	<b>2311</b>	<b>228</b>	<b>1151</b>
12	303	7	46,5	12,5	6,9	11,0	18,8	2,8	0,9	42	2240	327	2510
13	347	8	41,4	10,5	7,7		19,8	2,9	1,0	43	2320	330	2500
14	293	6	46,5	9,1	7,5	11,2	19,7	2,9	0,9	46	2500	333	2760
15	328	7	49,2	9,8	8,7	10,8	19,7	2,8	0,9	45	2560	348	2640
16	403	8	48,5	9,3	9,2	10,7	19,6	2,9	1,0	50	4020	366	2980
<b>Media</b>	<b>334,8</b>	<b>7,2</b>	<b>46,4</b>	<b>10,2</b>	<b>8,0</b>	<b>10,9</b>	<b>19,5</b>	<b>2,9</b>	<b>0,9</b>	<b>45</b>	<b>2728</b>	<b>341</b>	<b>2678</b>
			13,9	10,5						295	3210	318	2040
	Densi- dad g cm <sup>-3</sup>	MS† %	Hume- dad %	pH	CE†† mScm <sup>-2</sup>	Ceni- zas g kg <sup>-1</sup>	Ligni- nas g kg <sup>-1</sup>	Polife- noles g kg <sup>-1</sup>	C so- luble g kg <sup>-1</sup>	Pb mg kg <sup>-1</sup>	Cr mg kg <sup>-1</sup>		
1	1,01	3	97	7,02	2,1	137							
2	1,01	6	94	5,64	1,83	176	189	111	138				
3	1,03	7	93	5,61	0,47	181	122	117					
4	1,03			5,62	2,22	205	123	129					
5	1,03	3	97	5,62	0,24	201	132						
6	0,96	5	95	7,44	2,07	192		108		21	2		
7	1,02	7	93	7,51	0,47	295	202	145	124				
8	1	6	94	5,64	2,54	194	203	141					
9	1,03	3	97	5,61	0,53	198	108						
10	1			7,4	1,96	215	115	116					
11	1,02	6	94	7,31	1,59	248	75	127					
<b>Media</b>	<b>1</b>	<b>5,2</b>	<b>94,8</b>	<b>6,4</b>	<b>1,46</b>	<b>212</b>	<b>199,6</b>	<b>116,1</b>	<b>128,1</b>				
12	1,02	8	92	8,23	2,5	254	181	59	87				
13	1,11	8	92	8,63	0,4	217	131	90	75				
14	1,1	6	94	7,9	2,5	245	137	85					
15	1,01	10	90	7,74	1,95	247	251	73					
16	1,11	8	92	7,19	2,78		163	46	78	20	2		
<b>Media</b>	<b>1,1</b>	<b>8</b>	<b>92</b>	<b>7,9</b>	<b>2,03</b>	<b>240,8</b>	<b>172,7</b>	<b>66,8</b>	<b>81,2</b>				

†Materia seca; ††: conductividad eléctrica

1,05 6,6 93,4 7,15 1,74 226,4 186,15 91,45 104,65 0 0

La concentración promedio del N total fue 50,9 g kg<sup>-1</sup> de MS, el cual puede considerarse elevado, comparado con otros materiales orgánicos, como los estiércoles, los cuales comúnmente presentan entre 1 y 4% de N medido en base seca (del Pino *et al.*, 2008; Barbazán *et al.*, 2011). Esta elevada concentración de N potencia su valor como fertilizante nitrogenado. La relación C/N promedio fue 6,9, más baja que las encontradas en materiales orgánicos de origen animal, como estiércol vacuno o de aves, o cama de pollo, que frecuentemente varían entre 11 y 25 (del Pino *et al.*, 2008; Barbazán *et al.*, 2011), y son similares a las de restos orgánicos de origen vegetal, como rastrojos o residuos de cosecha.

La concentración promedio de P total fue 13,9. Esta riqueza en P se atribuye a posibles agregados de compuestos fosfatados durante el proceso de producción del malteado.

En general las muestras provenientes de la Empresa 1 presentaron valores de macronutrientes superiores a los de la Empresa 2, excepto en S y Ca, en donde los de la Empresa 2 presentaron valores superiores. Probablemente el tipo de agua usada en la elaboración de la malta, así como características de los suelos y el manejo de los cultivos de cebada estén afectando estos valores, además de otros aditivos realizados durante el proceso de malteado.

Por otra parte, los micronutrientes mostraron una gran variación en sus concentraciones y con grandes diferencias entre las empresas. Los valores de Cu fueron en promedio 550 y 45 mg kg<sup>-1</sup>, para las Empresas 1 y 2, respectivamente. Campaña (2011) encontró valores de Cu en efluentes de maltería que variaron entre 11 y 42 mg kg<sup>-1</sup>.

Las concentraciones de Fe presentaron un rango más amplio de variación, con valores promedio de 2519 mg kg<sup>-1</sup>, y fueron más bajos que los encontrados en la bibliografía, que mencionan valores mayores a 11000 mg kg<sup>-1</sup>.

Las concentraciones de Mn fueron en promedio 284, mientras que las de Zn fueron de 1914.

Se destaca que entre ambas empresas hubo diferencias importantes: mientras que los lodos provenientes de la Empresa 1 presentaron en promedio valores de Cu más altos que los de la Empresa 2, los de la Empresa 2 fueron superiores en los valores de Fe y Mn, y muy superiores en Zn (Cuadro 3).

Comparados con valores de micronutrientes en plantas, estos valores son mayores. Por ejemplo, las concentraciones máximas de Cu, Fe, Mn y Zn encontradas por Barbazán *et al.* (2007) para *Lotus corniculatus* fueron de 58, 350, 207 y 115 mg kg<sup>-1</sup>, respectivamente.

Aunque la forma de envío de las muestras al laboratorio pueden determinar variaciones en las medidas, en el caso de las concentraciones de micronutrientes, y en especial Cu y Zn, las diferencias observadas entre grupos de muestras según las empresas pueden deberse a las condiciones de manipulación o de almacenamiento o a la influencia de los recipientes utilizados en el proceso de elaboración del producto. Es importante considerar que el agregado de metales al suelo con este tipo de efluentes será dependiente de las dosis de lodos aplicadas y del tipo de cultivo al cual se apliquen, pudiendo aumentar el riesgo de impacto ambiental con dosis o frecuencias superiores a las requeridas por los cultivos.

Las concentraciones de metales como Pb y Cr fueron muy bajas, inferiores a las encontradas en otros trabajos (Campaña, 2011).

### Respuesta del cultivo al agregado del lodo

El rendimiento en MS por corte presentó un promedio de 1170 kg ha<sup>-1</sup>, con un rango de 629 a 1628 kg ha<sup>-1</sup>, valores considerados normales para esta gramínea en esta etapa de desarrollo. El agregado de N, tanto como lodo o como urea, aumentó el rendimiento en materia seca respecto al tratamiento testigo (Cuadro 4), aunque se observaron diferencias significativas entre el testigo y el resto de los tratamientos sólo en los dos primeros cortes. El efecto de la aplicación de lodo en el rendimiento resultó similar al de la urea. La mayor producción de forraje en los tratamientos con lodo frente a la del testigo en el tercer y cuarto corte indicaría una aparente residualidad del lodo, explicada por la mineralización de formas orgánicas de N con el transcurso del tiempo, aunque esa diferencia no fue significativa.

En general, la extracción de nutrientes por el cultivo fue mayor en los tratamientos que recibieron aplicación de urea o lodo, en comparación con el control, observándose diferencias significativas ( $P < 0,05$ ) en los diferentes cortes para los nutrientes N, P y K. Estas diferencias son explicadas por la respuesta en rendimiento, ya que no existieron diferencias en la concentración de nutrientes. Sin embargo, entre fuentes no se observaron diferencias. Esto se puede atribuir a que, aunque con el lodo se agregó P y K, el suelo en el tratamiento control tenía 58 ppm de P Bray-1 y 0,65 meq/100g de K en los primeros 20 cm (Cuadro 3), valores que son considerados suficientes para esta gramínea. En general, el agregado de lodo no afectó ninguno de los parámetros medidos en el suelo (pH,

N mineral, P o cationes intercambiables). La Figura 1 muestra los valores de N-NO<sub>3</sub> en el suelo a tres profundidades, indicando una escasa lixiviación de formas solubles de N tanto para urea como para el lodo. El déficit de lluvias registrado en el año (Cuadro 1) más la presencia de un cultivo en crecimiento al momento de la aplicación de los tratamientos habrían

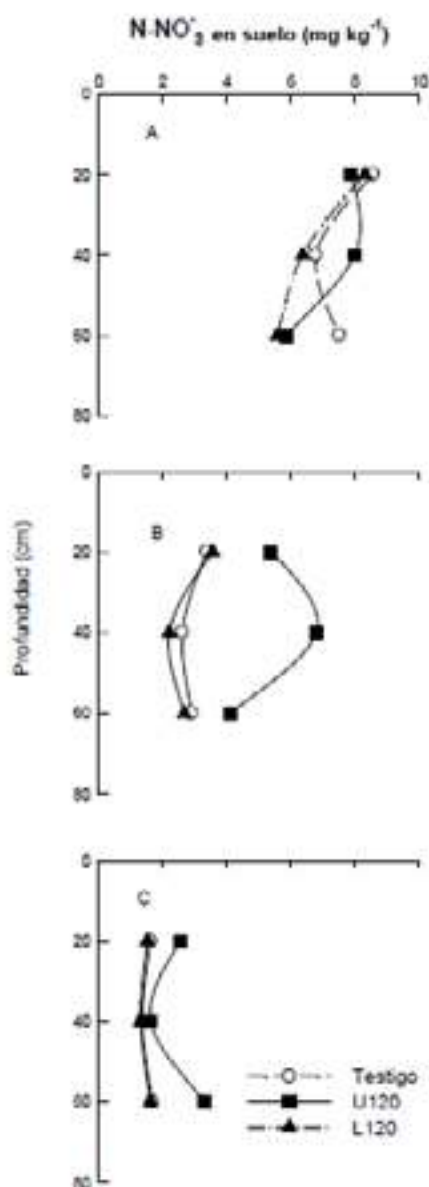
impedido pérdidas de N en profundidad. Los valores de N-NO<sub>3</sub> proveniente de la urea, si bien son superiores a los de lodo, son de muy baja magnitud. Cuando las pasturas se encuentran en activo crecimiento no es de esperar cantidades importantes de N-NO<sub>3</sub> en el suelo ya que éste es rápidamente absorbido.

**Cuadro 4.** Efecto de la aplicación de urea y lodo de maltería en el rendimiento en materia seca y concentración de nutrientes en festuca.

	Corte	Materia seca (kg ha <sup>-1</sup> )					Media	Prob > F		
		0	U60	U120	L60	L120		Ef. Trat0	vs RestoU	vs L
	1	891	1243	1361	1154	1122	1154	0,69	0,01	0,12
	2	1215	1523	1531	1418	1628	1463	0,15	0,03	0,97
	3	1123	1147	1107	1263	1353	1199	0,59	0,51	0,18
	4	855	629	838	988	1014	865	0,75	0,96	0,26
	Total	4084	4541	4838	4824	5117	4681	0,53	0,15	0,52
		g kg <sup>-1</sup>								
<b>N</b>	Corte									
	1	22,0	22,7	19,4	23,2	23,9	22,0	0,55	0,88	0,23
	2	18,0	17,4	17,2	18,8	17,2	18,0	0,46	0,62	0,34
	3	19,0	20,6	20,7	20,0	21,6	20,0	0,39	0,12	0,87
	4	12,1	10,8	11,2	11,4	11,6	11,0	0,42	0,15	0,27
<b>S</b>	1	2,4	-	2,4	-	3,0	-	-	-	-
<b>P</b>	Corte									
	1	3,2	3,1	3,1	3,2	3,3	3,2	0,85	0,75	0,37
	2	1,9	1,8	2,1	1,8	1,8	1,9	0,02	0,67	0,02
	3	1,9	1,8	1,9	1,9	1,7	1,8	0,45	0,22	0,42
<b>K</b>	Corte									
	1	35,0	38,7	36,7	37,0	38,7	37,2	0,70	0,27	0,94
	2	14,8	16,3	17,7	17,3	22,4	17,7	0,06	0,06	0,09
	3	16,0	16,3	19,4	19,9	18,9	18,1	0,35	0,11	0,64
<b>Ca</b>	Corte									
	1	3,0	2,8	3,0	3,3	3,0	3,0	0,26	0,67	0,13
	2	3,7	3,8	3,9	3,2	3,9	3,7	0,52	0,96	0,37
	3	4,0	4,1	4,3	4,6	4,7	4,3	0,41	0,28	0,29
<b>Mg</b>	Corte									
	1	1,5	1,4	1,3	1,6	1,6	1,5	0,61	0,97	0,16
	2	2,1	2,0	2,2	2,2	1,9	2,1	0,54	1,00	0,67
	3	1,7	1,9	2,2	2,2	2,3	2,1	0,32	0,81	0,12
		mg kg <sup>-1</sup>								
<b>Cu</b>	Corte									
	1	10	5	5	5	4	6	0,34	0,05	0,74
	2	2	2	2	2	1	2	0,46	0,39	0,34
	3	3	3	3	4	4	3	0,47	0,15	0,49
<b>Fe</b>	Corte									
	1	195	276	199	200	186	211	0,75	0,74	0,42
	2	221	236	293	233	136	224	0,49	0,45	0,13
	3	155	153	224	187	222	188	0,37	0,15	0,84
<b>Mn</b>	Corte									
	1	61	61	52	66	62	60	0,26	0,93	0,11
	2	55	60	51	53	62	56	0,46	0,73	0,62
	3	41	43	43	46	50	45	0,35	0,14	0,73
<b>Zn</b>	Corte									
	1	17	14	14	15	14	15	0,73	0,25	0,70
	2	9	9	10	9	10	9	0,17	0,10	0,46
	3	27	10	10	13	12	14	0,63	0,14	0,93

**Cuadro 5.** Extracción total de nutrientes (N, P y K) para los tres primeros cortes de festuca.

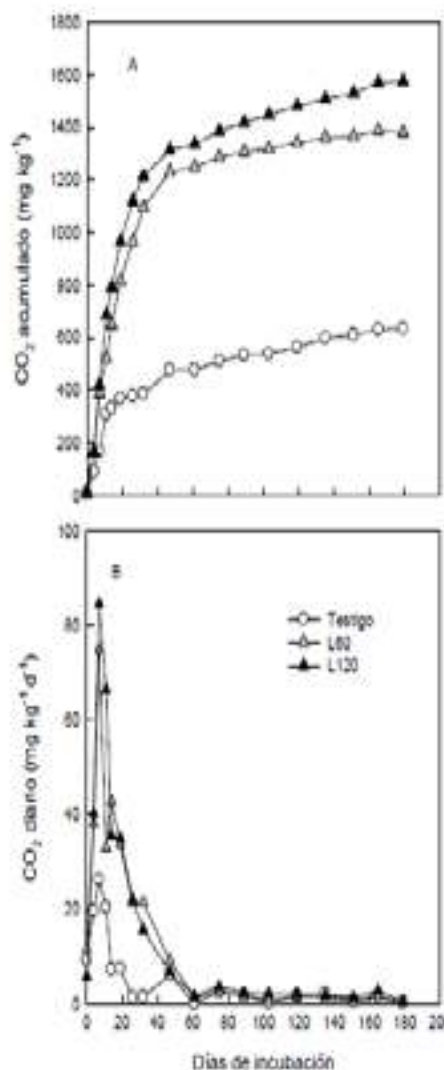
	Corte	Nutriente extraído					Ef. Trat.	Prob. > F	
		Control	U60	U120	L60	L120		0 vs resto	U vs L
Nitrógeno	1	20	28	27	27	27	0,35	0,05	0,98
	2	22	26	26	27	28	0,44	0,09	0,66
	3	21	23	23	25	29	0,47	0,28	0,22
Fósforo	1	3	4	4	4	4	0,29	0,05	0,49
	2	2	3	3	3	3	0,09	0,03	0,24
	3	2	2	2	2	2	0,83	0,54	0,35
Potasio	1	31	48	50	43	44	0,08	0,01	0,20
	2	18	25	27	24	36	0,04	0,02	0,23
	3	18	19	23	24	25	0,80	0,47	0,43



**Figura 1.** Concentración de  $N-NO_3$  en profundidad, para los tratamientos testigo, urea y lodo aplicados a dosis equivalentes a  $120\ kg\ ha^{-1}$  de N, en tres muestreos de suelos, realizados a los 63 (A), 115 (B) y 227 (C) días después de la aplicación.

### Estudio en el laboratorio

En las Figuras 2 y 3 se presenta el efecto del agregado de lodo sobre la actividad microbiana medida a través del  $C$  respirado y sobre el contenido de N en el suelo.



**Figura 2.** Carbono respirado acumulado (A) y diario (B) en un suelo con aplicación de 60 y  $120\ kg\ ha^{-1}$  de lodo y un tratamiento testigo (sin agregados).

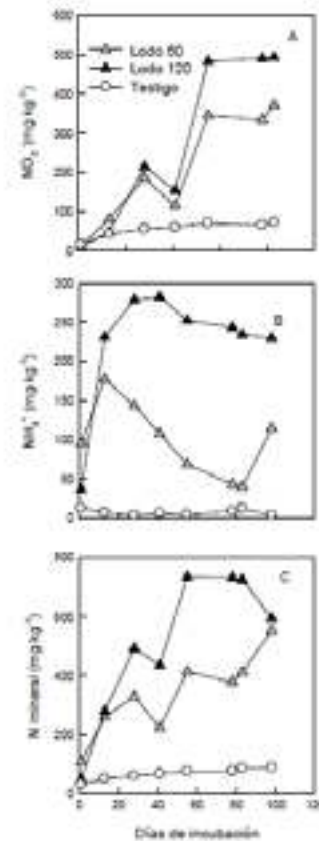
El agregado de lodo incrementó la actividad de microorganismos en el suelo, evidenciado en la mayor cantidad de  $\text{CO}_2$  respirada (Figura 2A) comparada con el tratamiento control. Los valores promedio de la mineralización de C acumulada (como flujo de  $\text{CO}_2$ ) fueron mayores en los tratamientos con lodos ( $1050 \text{ mg kg}^{-1}$ ) que en el control ( $422 \text{ mg kg}^{-1}$ ), y esta superioridad se observó en la mayoría de las fechas de muestreo ( $P < 0,05$ ). La Figura 2B muestra las curvas de C respirado por día, con tasas decrecientes de respiración luego del agregado del lodo. Las tasas de respiración en los tratamientos con lodo fueron significativamente mayores a las del control ( $P < 0,05$ ), con valores de 17 y  $6 \text{ mg kg}^{-1}\text{d}^{-1}$  de  $\text{CO}_2$ , respectivamente.

La incorporación de lodo también produjo una mayor mineralización neta de N mineral, medida como la diferencia respecto al control, desde el primer día de incubación en las dos dosis estudiadas (Fig. 3). Al inicio de la incubación las cantidades de  $\text{N-NH}_4^+$  fueron las formas dominantes de N, mientras que el  $\text{N-NO}_3^-$  dominó hacia el final de la incubación (Fig. 3A y 3B), indicando la transformación a  $\text{N-NO}_3^-$  del  $\text{N-NH}_4^+$  producido. Al comienzo de la incubación (entre los días 1 y 7) la disminución  $\text{N-NH}_4^+$  se atribuye a una rápida inmovilización realizada por los microorganismos del suelo, que utilizan preferentemente el N como  $\text{N-NH}_4^+$ ; esta tendencia es indicada por numerosos trabajos (Calderón *et al.*, 2000; del Pino *et al.*, 2008). Luego del día 63 (correspondiente al enlentecimiento de la respiración), la producción de N mineral también tiende a estabilizarse, como consecuencia del agotamiento de las sustancias de fáciles descomposición, lo cual también ha sido documentado por otros investigadores cuando se mezclan compuestos orgánicos con suelo.

## CONCLUSIONES

La caracterización de los lodos muestra que es un material muy alto en concentración de agua y rico en N, y baja relación C/N. Las diferencias encontradas en otros parámetros reflejan las condiciones de elaboración del proceso de malteado y de su almacenamiento. Algunos parámetros pueden estar revelando las características de los suelos de donde proviene la cebada para su procesamiento.

En condiciones de campo, el lodo se comportó como portador rápido de N, lo cual fue evidenciado por los experimentos en condiciones controladas. En resumen, este estudio documenta el valor del lodo



**Figura 3.** Nitrato, amonio y N mineral en el suelo de lodo aplicado a dosis equivalentes a 0, 60 y  $120 \text{ kg ha}^{-1}$  de N.

como fuente de N en un cultivo de gramínea.

Contando con el análisis del lodo antes de su aplicación y del conocimiento de las dosis de N a usar, es posible manejar agrónomicamente su aporte de este nutriente, según los requerimientos del cultivo, sin afectar el ambiente. En condiciones topográficas de baja pendiente y con un cultivo creciendo, los riesgos de contaminación debido a la aplicación de lodos serían muy bajos. A su vez, los efectos benéficos a través de la sustitución de N y otros nutrientes, justificarían su aplicación, por lo menos anualmente. De acuerdo a los volúmenes producidos y a la logística de traslado, almacenamiento y aplicación de este subproducto, sería recomendable su utilización por productores que reúnan las características de topografía y cultivo requeridos.

Se enfatiza la necesidad del seguimiento de los principales parámetros de calidad de suelo como parte de la validación del uso de estos lodos a nivel agrónomico.

Son necesarios más estudios en condiciones ambientales y suelos de textura contrastantes, así como en otros cultivos. Además, se deberían ajustar las formas de aplicación y estudiar posibles efectos de acumulación en el suelo de elementos como Zn.

## BIBLIOGRAFÍA

- BARBAZÁN, M.; FERRANDO, M.; ZAMALVIDE, J. 2007.** Estado nutricional de *Lotus corniculatus* en Uruguay. *Agrociencia* 11(1): 22 - 34.
- BARBAZÁN, M.; DEL PINO, A.; HERNÁNDEZ, J.; MOLTINI, C.; BASILE, P.; MAI, P.; RODRÍGUEZ, J. 2008.** Carbon and nitrogen mineralization rates of four organic amendments in two soil types under horticultural production in Uruguay. In: *Agroenviron 2008, 2008 Antalya Turquía Proceedings of the 6th International Symposium Agro Environ.*
- BARBAZÁN, M.; DEL PINO, A.; MOLTINI, C.; HERNÁNDEZ, J.; RODRÍGUEZ, J. 2011.** Caracterización de materiales orgánicos aplicados en sistemas agrícolas intensivos de Uruguay. *Agrociencia* 15(1): 82-92.
- CALDERÓN, F. J.; MCCARTY, G. W.; VAN KESSEL, J. A. S., REEVES, J. B. 2004.** Carbon and nitrogen dynamics during incubation of manured soil. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 68:1592–1599.
- CAMPAÑA, D. H. 2011.** Efecto de la aplicación en suelos de lodos residuales procedentes de malterías de cebada. *Disertación.* Universidad de Vigo y Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Bahía Blanca. Argentina.
- DEL PINO, A.; REPETTO, C.; MORI, C.; PERDOMO, C. 2008.** Patrones de descomposición de estiércoles en el suelo. *Terra Latinoamericana* 26:43-52.
- DEL PINO, A.; CASANOVA, O.; BARBAZÁN, M.; MANCASSOLA, V.; ARLÓ, L.; RODRÍGUEZ, J.; BORZACCONI, L.; PASSEGGI, M. 2012.** Caracterización y evaluación de biosólidos producidos por digestión anaerobia de residuos agroindustriales. XIX Congreso Latinoamericano de la Ciencia del Suelo XXIII Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo Mar del Plata, Argentina – 16 al 20 de abril de 2012. <http://www.congresodesuelos.org.ar/site/posters/Resumenes/0613.pdf>
- LÓPEZ, I.; PASSEGGI, M.; BOIX, C.; BARCIA, R.; BORZACCONI, L.; LIEBERMAN, L. 2007.** Generación de lodos y evolución de la biomasa de un reactor UASB a escala real tratando efluentes de maltería. *Revista electrónica de aids de ingeniería y ciencias ambientales* V.1.2.2007 <http://www.metrik.cl/aids>.
- LORIMOR, J.; POWERS, W.; SUTTON, A. 2000.** Manure characteristics. MWPS-18. 23 p. Manure Management System Series. Mid West Plan Service, Iowa, USA.



[ir a Sumario](#)

CANQUE