

LIXIVIADOS generados en montones temporales de estiércol sobre suelo natural



JESÚS MARÍA MANGADO URDÁNIZ, IOSUNE RODRÍGUEZ SAN MARTÍN

En las explotaciones ganaderas con ganado estabulado sobre cama caliente es una práctica habitual 'sacar' las camas a mediados y finales del período de estabulación (invierno) y, si no disponen de estercolero, amontonarlo en lugares próximos o sobre las propias parcelas sobre las que se extenderá como aporte fertilizante cuando las exigencias de fertilización de las praderas o cultivos lo precisen y las condiciones de tempero de los suelos lo permitan.

Durante el tiempo que permanece amontonado el estiércol al aire libre se generan gases (metano, óxidos de nitrógeno) y líquidos lixiviados que se difunden en la atmósfera los primeros y en el suelo los segundos.

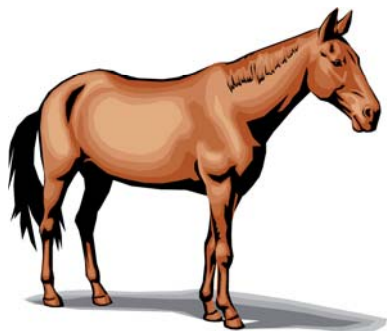
Los criterios que manejan los ganaderos para la elección

de los puntos de amontonamiento son los de facilidad de acceso y facilidad de evacuación de los lixiviados evitando su acumulación, lo que dañaría al suelo y dificultaría el tránsito de los equipos durante los procesos de descarga y carga del estiércol.

La generación, naturaleza e impacto de los lixiviados sobre el suelo es un tema poco estudiado y el nivel de conocimiento es escaso, por ello se planteó desde el ITG Ganadero en 2007 llevar a cabo una experiencia para profundizar en el conocimiento de la composición y dinámica de estos lixiviados. Los resultados de esta experiencia se recogieron en un trabajo de fin de carrera presentado en la Escuela Técnica Superior de Ingenieros Agrónomos de la UPNA en el año 2008.

Objetivos

- Conocer la evolución del estiércol generado por diferentes especies domésticas durante el tiempo que permanece amontonado al aire libre sin cubrir y sin llevar a cabo sobre ellos ningún volteo.
- Evaluar y caracterizar los líquidos lixiviados generados en estos montones de estiércol.
- Conocer la dinámica que siguen estos lixiviados en el perfil del suelo en función de la textura de los suelos y de las precipitaciones durante el período en que permanecen amontonados.



Material y métodos

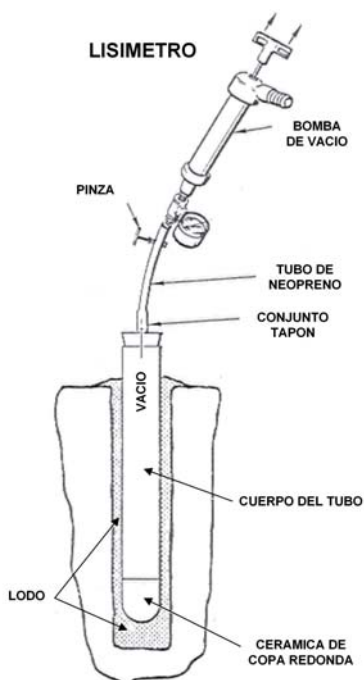
En la experiencia se trabajó con estiércol de vacuno, ovino y caballar. Al inicio del mes de Mayo de 2007 se formaron los montones experimentales, de unas 20 toneladas cada uno de ellos, sacando las camas de las estabulaciones y amontonándolo sobre suelo natural en tres localidades. Los criterios seguidos para la elección de las localidades fueron:

- Localidades que abarcaran el rango habitual de texturas de suelo por su incidencia sobre la permeabilidad al paso de líquidos.
- Localidades con alta probabilidad de precipitaciones abundantes en los meses de mayo-junio.
- Localidades en las que en su entorno próximo existiera una estación meteorológica completa y automática dentro de la red de estaciones del Gobierno de Navarra.

Sobre cada uno de los montones se abrieron tres catas y en cada una de ellas se colocaron dos lisímetros para la captación de líquidos en el perfil del suelo. Cada par de lisímetros hacen la

toma de muestras uno a 20 cm y el otro a 60 cm de profundidad. Se consideró que los 20 cm marcan el límite de actividad de las raíces de la flora de los prados, por lo que los nutrientes presentes en los lixiviados hasta esa profundidad pueden ser captados y utilizados en nutrición vegetal. Sin embargo a 60 cm de profundidad ya no se da actividad radicular y los solutos presentes en los lixiviados pueden pasar a los flujos de aguas subterráneas.

Además, en cada localidad, se colocaron otros dos lisímetros con las mismas profundidades de muestreo y alejados del área de influencia del amontonamiento de estiércol. De esta forma se evalúan y caracterizan los lixiviados producidos de forma natural, no afectados por los montones de estiércol.



En la localidad de Tabar se encontró un horizonte impermeable (pudinga) a 40 cm de profundidad por lo que, en esta localidad, los lixiviados en capa profunda se recogieron a esa profundidad.

Los lisímetros utilizados son de cápsula porosa SDEC, modelos SPS240-31 y SPS280-31. En el siguiente dibujo se presentan sus componentes y funcionamiento de forma esquemática.

Al inicio de la experiencia, en cada localidad donde se formaron los amontonamientos, se analizaron los suelos a dos profundidades de muestreo (0-20 y 20-60 cm). Se analizaron tanto caracteres físicos (humedad, componentes texturales, densidad) como químicos (pH, conductividad eléctrica, materia orgánica, fósforo, potasio, relación C/N, carbonatos totales y caliza activa).

El estiércol de cada montón se analizó al inicio y al final de la experiencia. Los caracteres analizados fueron humedad, pH, conductividad eléctrica, materia orgánica, nitrógeno total y amoniacal, relación C/N y óxidos de fósforo, potasio, calcio, magnesio, sodio y azufre.

Los lixiviados se recogían sistemáticamente una vez por semana y localidad y siempre que ocurrieran precipitaciones diarias superiores a 20 mm. En cada toma de muestras se medía el volumen de lixiviado y se analizaba pH, conductividad eléctrica, sólidos totales, minerales en solución, nitrógeno nítrico, nítrico y amoniacal, fósforo y potasio.

Se tuvieron dificultades para el mantenimiento del nivel de vacío de alguno de los equipos. Los resultados que se



Características de los amontonamientos de estiércol

Tabla 1

	Localidad		
	Doneztebe	Tabar	Oskotz
Región biogeográfica	atlántica	mediterránea	atlántica
Origen del suelo	aluvial	terracea fluvial	coluvial
Textura suelo 0-20 cm	franco	franco-arcilloso	arcilloso
Textura suelo 20-60 cm	franco	franco-arcilloso	arcillo-limoso
Cultivo	prado	alfalfa	prado
Sistema de cultivo	secano	regadío	secano
Estiércol	vacuno	ovino	caballar
Período	9/05 a 4/07	8/05 a 4/07	7/05 a 5/07
Precipitación (mm)	217.8	67 (p) + 112 (r)	113.6

presentan son los de aquellos que funcionaron correctamente.

Los análisis de suelos y lixiviados se realizaron en el Laboratorio Agrario de Navarra (NASERSA) y los de estiércol en el laboratorio AGROLAB®. Para el análisis estadístico de los datos se utilizó el paquete estadístico SPSS 8.0.

Resultados

Estiércol inicio

En la tabla 2 se presentan las características de los tres estiércoles utilizados al iniciarse la experiencia. Los valores se dan tanto sobre materia fresca como sobre materia seca.



Características iniciales de los estiércoles

Tabla 2

	sobre producto fresco			sobre materia seca		
	Vacuno	Ovino	Equino	Vacuno	Ovino	Equino
materia seca (%)	30,5 a	44,1 a	26,1 a			
pH	8,6 a	8,2 a	8,8 a			
C. eléctrica (dS/m)	2,8 a	5,3 ab	7,2 b			
C/N	18,3 a	19,3 a	53,3 a			
MO oxidable (%)	21,9 a	31 a	18,8 a	81,4 a	69,6 a	70,6 a
N total (%)	0,75 b	0,91 b	0,26 a	2,7 a	2,2 a	1,04 a
N amoniacal (%)	0,02 a	0,06 ab	0,08 b	0,05 a	0,14 ab	0,3 b
N orgánico (%)	0,74 b	0,85 b	0,17 a	2,64 a	2,06 a	0,72 a
P ₂ O ₅ (%)	0,49 a	0,82 b	0,39 a	1,59 a	1,87 a	1,53 a
K ₂ O (%)	0,91 a	1,81 a	1,18 a	2,86 a	4,05 a	4,58 a

En la misma fila de cada bloque valores seguidos por distinta letra difieren significativamente (p<0,05) Duncan

Las diferencias encontradas entre los estiércoles pueden deberse al mayor contenido en paja en el estiércol de caballar frente a los otros dos. Encontramos que la relación C/N del estiércol de caballar casi triplica a la de los otros dos, aunque no se diferencia de forma significativa. El nitrógeno orgánico y total, medido sobre materia fresca, es significativamente inferior en el estiércol de caballar al de los otros dos estiércoles. Así mismo el contenido en materia orgánica oxidable del estiércol de caballar, medido sobre materia fresca, es inferior al de los otros dos, aunque las diferencias encontradas no son estadísticamente significativas, y la conductividad eléctrica del estiércol de caballar es significativamente superior a la del de vacuno.

Evolución de las características de los estiércoles (sobre producto fresco)

Tabla 3

	Vacuno			Ovino			Caballar		
	inicio	final	sig.	inicio	final	sig.	inicio	final	sig.
Materia seca (%)	30.5	28.6	NS	44.1	28.8	NS	26.1	30.5	NS
pH	8.6	9.1	NS	8.2	8.9	**	8.8	9.2	NS
Cond. eléctrica (dS/m)	2.7	3.5	NS	5.3	4.2	NS	7.2	9.9	NS
Mat. org. oxidable (%)	21.8	17.8	NS	31.0	19.4	NS	18.7	16.6	NS
N total (%)	0.75	0.99	NS	0.91	0.72	*	0.26	0.83	*
N amoniacal (%)	0.02	0.03	NS	0.06	0.02	**	0.08	0.03	NS
N orgánico (%)	0.74	0.96	NS	0.85	0.71	NS	0.17	0.8	*
C/N	18.0	11.2	NS	20.2	15.6	NS	55.5	11.4	NS
P ₂ O ₅ (%)	0.49	0.29	NS	0.82	0.45	*	0.39	0.23	**
K ₂ O (%)	0.44	0.35	NS	1.8	1.51	NS	1.18	2.17	NS

“t” Student * p<0.05, ** p<0.01, *** p<0.001, NS no significativa



Medidos estos mismos parámetros sobre materia seca no encontramos diferencias estadísticamente significativas entre los estiércoles generados por las tres especies de ganado doméstico, salvo en el caso del nitrógeno amoniacal, cuyo contenido en el estiércol de caballar es significativamente superior al del estiércol de vacuno. No obstante, los valores que alcanza este parámetro son muy bajos y su presencia está más relacionada con los procesos de extracción y amontonamiento del estiércol.

Evolución de las características de los estiércoles (sobre materia seca)

Tabla 4

	Vacuno			Ovino			Caballar		
	inicio	final	sig.	inicio	final	sig.	inicio	final	sig.
Mat. org. oxidable (%)	70.6	63.6	NS	69.6	67.7	NS	71.9	54.2	NS
N total (%)	2.7	3.4	NS	2.2	2.5	NS	1.03	2.77	*
N amoniacal (%)	0.06	0.09	NS	0.14	0.05	*	0.31	0.01	NS
N orgánico (%)	2.6	3.3	NS	2.1	2.5	NS	0.72	2.67	*
P ₂ O ₅ (%)	1.6	1.0	**	1.9	1.6	NS	1.53	0.79	NS
K ₂ O (%)	2.9	3.2	NS	4.0	5.3	NS	4.57	6.76	NS

“t” Student * p<0.05, ** p<0.01, *** p<0.001, NS no significativa

Evolución del estiércol

En las tablas 3 y 4 se presentan las evoluciones seguidas por los tres estiércoles a lo largo del período en el que han permanecido amontonados al exterior.

Encontramos que la materia seca no varía significativamente entre el inicio y el final de la experiencia en ninguno de los tres casos. El pH del estiércol al finalizar la experiencia supera al del inicio, aunque solamente en el caso de estiércol de ovino lo hace de una manera altamente significativa. La conductividad eléctrica no varía significativamente entre la situación inicial y final en ninguno de los tres casos, como tampoco lo hace el contenido en materia orgánica oxidable, aunque en todos los casos tiende a disminuir, tanto medido sobre producto fresco como sobre materia seca.

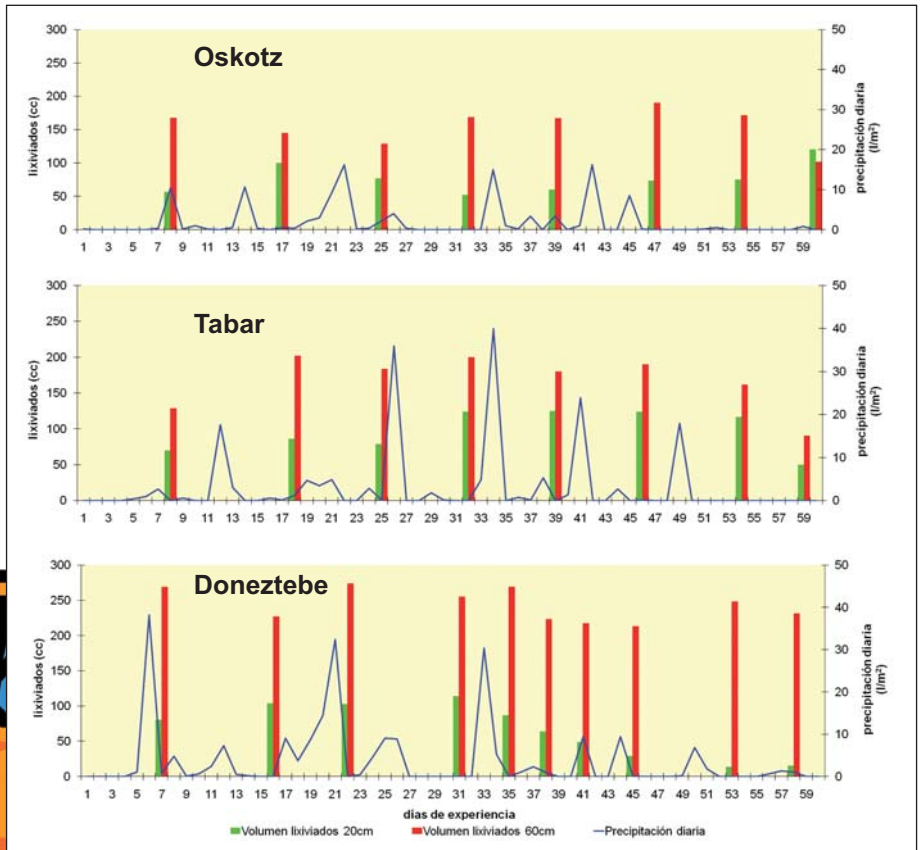
En ovino y caballo se dan diferencias significativas en el contenido de nitrógeno total sobre materia fresca, siendo contrarias las tendencias encontradas. Sobre materia seca este contenido se incrementa en todos los casos y, en el caso de caballo, de forma significativa. El contenido en nitrógeno amoniacal del estiércol de ovino disminuye durante el período de amontonamiento de una forma altamente significativa si se mide sobre materia fresca y significativa si se hace sobre materia seca. El nitrógeno orgánico se incrementa tanto analizado sobre producto fresco como sobre materia seca (salvo en estiércol de ovino en el primer caso), aunque de forma significativa solamente en el caso del estiércol de caballo.

El contenido en fósforo (P_2O_5) tiende a disminuir a lo largo del período de amontonamiento en todos los estiércoles y según los dos patrones de medida. Esta disminución es estadísticamente significativa en el estiércol de ovino sobre producto fresco y altamente significativa en el estiércol de caballo sobre producto fresco y en el de vacuno sobre materia seca. El contenido en potasio de los tres estiércoles no varía significativamente entre la situación inicial y final. Medido sobre producto fresco las tendencias son contrarias pero analizado sobre materia seca se encuentra una tendencia a su incremento en todos los casos.

Volúmenes de lixiviados

En el gráfico inferior se recogen las precipitaciones habidas y los lixiviados recogidos en cada localidad de ensayo y para las dos profundidades de muestreo a lo largo de los 60 días que duró la experiencia. Se utiliza la misma escala en los ejes de ordenadas para hacer correcta la comparación visual de los datos.

El primer dato a reseñar es que los volúmenes de lixiviados recogidos en los primeros 20 cm del perfil del suelo son siempre inferiores a los recogidos a 60 cm de profundidad, con la única excepción de la última toma en la localidad de Oskotz. En ella los suelos son arcillosos y puede ocurrir que, tras un período de 15 días con una práctica ausencia de precipitaciones, el agua del suelo queda retenida en el horizonte su-



perforal para facilitar la absorción de nutrientes por las plantas. Incluso puede ocurrir que, en esas condiciones, el horizonte profundo movilice parte de sus reservas de agua abasteciendo, por capilaridad, la reserva de agua del horizonte superficial. Esto ocurre en menor medida en los suelos franco-arcillosos (Tabar) y en mucha menor medida en los suelos francos (Doneztebe).

La consecuencia, muy conocida por los agricultores y ganaderos, es que los suelos con texturas pesadas, en ausencia de precipitaciones, permiten el desarrollo de los cultivos durante períodos más largos que los suelos de texturas arenosas.

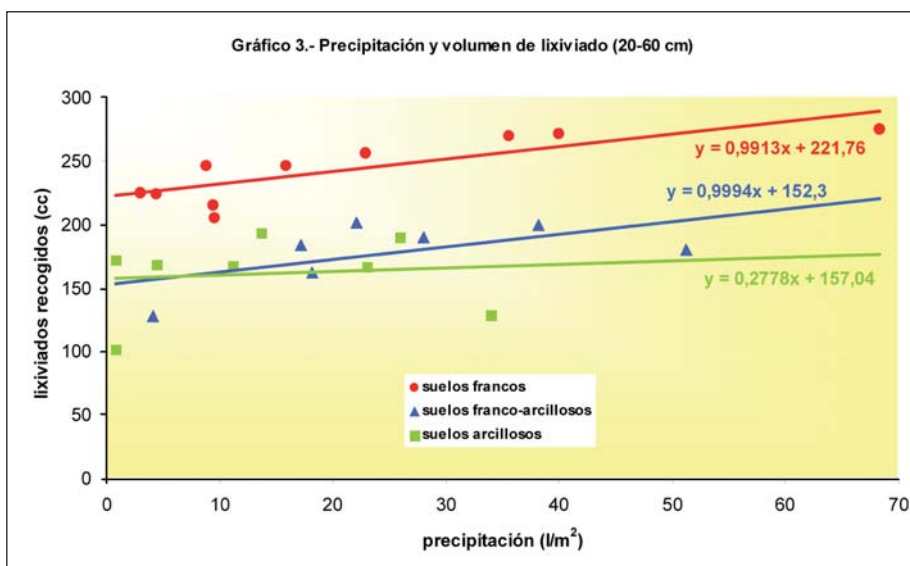
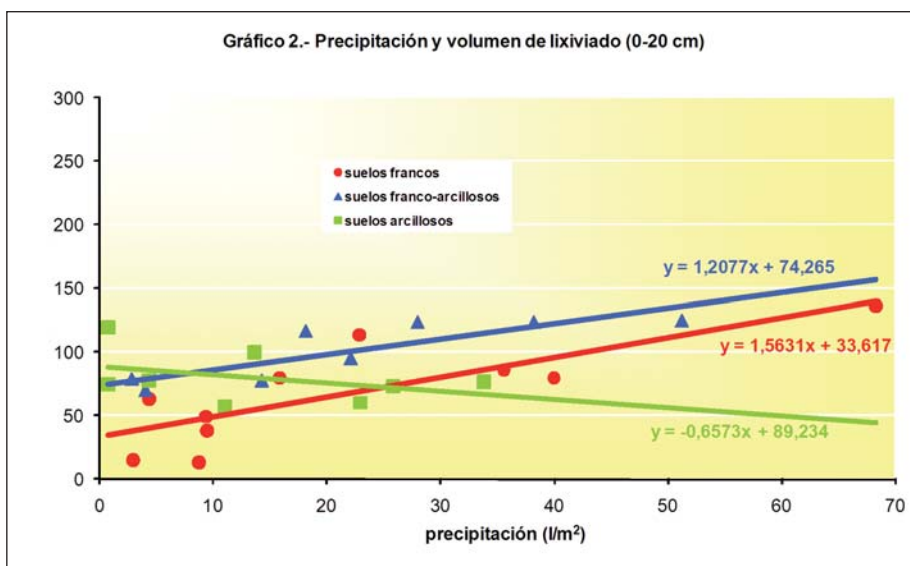
Así mismo cabe reseñar que la diferencia entre los volúmenes de lixiviados recogidos en la capa profunda y la su-

perforal es mayor conforme se tiende a texturas más arenosas. En los suelos con texturas con texturas “seltas” (Doneztebe) el tránsito del agua de lluvia por el horizonte superficial es muy rápido y alimenta la cantidad de agua presente en las capas profundas.

En los gráficos 2 y 3 se presentan las relaciones entre las precipitaciones ocurridas sobre los amontonamientos de estiércol en cada localidad durante el período de ensayo y los volúmenes de lixiviados recogidos a las dos profundidades de toma de muestra. Se añaden las líneas de tendencia y su ecuación.

En el horizonte superficial encontramos una respuesta directa entre precipitaciones y lixiviados en suelos de texturas francas y franco-arcillosas, con respuesta ligeramente superior en

el primer caso. En suelos de textura arcillosa encontramos una relación inversa. Es necesario considerar que, en el caso de precipitaciones importantes (> 20 l/m² * día), las tomas de lixiviados se hacen al día siguiente de ocurrir. Por ello en suelos francos la respuesta es lineal y ascendente en todo el tramo representado en el eje de ordenadas.



En suelos franco-arcillosos llega un momento, en el entorno de 30 l/m² * día de precipitación, en el que se colmata la capacidad de retención de agua, no presentando respuesta a precipitaciones superiores. En suelos arcillosos las mayores repuestas se encuentran a las precipitaciones más bajas y superando precipitaciones de 15 – 20 l/m² * día ya no se obtiene respuesta. Por ello, considerando el conjunto de los datos, se obtiene en este caso una línea de tendencia de pendiente negativa. El agua de lluvia que supera estos límites se evacuará por escorrentía superficial.

En el horizonte profundo encontramos en los suelos francos y franco-arcillosos una respuesta de similar pendiente, aunque en valores absolutos los volúmenes de lixiviados en el primer caso superan a los segundos en unos 75 cc. Cabe resaltar que en suelos francos el límite de respuesta a precipitaciones crecientes puede encontrarse en el entorno de los 40 l/m² * día y en suelos franco-arcillosos en 30 l/m² * día.

En suelos arcillosos no encontramos ninguna relación entre la precipitación y los volúmenes de lixiviados recogidos.

Características de los lixiviados

Los lisímetros testigo “superficial Oskotz” y “profundo Tabar” presentaron problemas de funcionamiento (pérdida de vacío) por lo que se decidió no considerar sus datos y trabajar con los equipos que aportaban un número suficiente de lecturas.

En la tabla 5 se compara la composición de los lixiviados de amontonamientos de estiércol sobre suelos francos y franco-arcillosos recogidos en el horizonte superficial frente a los testigos en esas mismas condiciones.

Para ambas texturas de suelo encontramos que se dan incrementos altamente significativos ($p < 0,001$) en la conductividad eléctrica y los contenidos en materia orgánica, minerales totales y potasio de los lixiviados de los montones de estiércol frente a los testigos. Así mismo, en suelos francos, también se incrementa de forma altamente significativa el contenido en nitrógeno amoniacal, mientras que en los suelos franco-arcillosos este parámetro también se incrementa aunque no de una forma estadísticamente significativa.

El pH de los lixiviados disminuye en ambos casos y de forma significativa en los suelos franco-arcillosos.

El nitrógeno nítrico de los lixiviados del estiércol sobre suelos francos multiplica por 6,7 el contenido del testigo,



aunque esa diferencia no alcanza significación estadística. Sin embargo, en los suelos franco-arcillosos este parámetro se multiplica por tres y alcanza significación estadística.

No se encuentran diferencias estadísticas entre los lixiviados de estiércol y testigos para ninguna de las dos situaciones de suelo en su contenido en nitrógeno nitroso ni en fósforo.

Cabe destacar las notables diferencias encontradas en los contenidos en fósforo y nitrógenos nitroso y nítrico, incluso en los lixiviados testigo, entre las dos localidades, que puede ser debido a que el emplazamiento del montón experimental en la localidad de suelos franco-arcillosos se hizo en un entorno que ha sido utilizado tradicionalmente como lugar de almacenamiento tempo-

ral del estiércol generado en la explotación, dadas las favorables características físicas de su suelo y la proximidad al aprisco.

En la tabla 6 se compara la composición de los lixiviados de amontonamientos de estiércol recogidos a 60 cm en suelos de textura franca y arcillo-limosa frente a los testigos en esas mismas condiciones.

Se mantienen las tendencias de incremento/decremento encontradas en las tomas hechas en el horizonte superficial, pero solamente se encuentran diferencias significativas en los casos de pH, conductividad eléctrica y minerales totales (incremento) y nitrógeno nitroso (decremento) en los entornos de textura franca. En el resto de parámetros analizados para esta textura y en la to-

Características de los lixiviados de estiércol vs testigo (0-20 cm)

Tabla 5

	suelos francos			suelos franco-arcillosos		
	testigo	lixiviado	sig.	testigo	lixiviado	sig.
pH	8,3	8	NS	8,4	7,9	*
Cond. eléctrica (dS/m)	0,46	1,64	***	0,66	2,22	***
Mat. orgánica (g/l)	0,32	1,16	***	0,47	1,51	***
Minerales (g/l)	0,34	1,18	***	0,35	1,28	***
NO ₃ - (mg/l)	0,39	2,64	NS	46,9	138,4	*
NO ₂ - (mg/l)	0,023	0,075	NS	1,69	2,91	NS
NH ₄ ⁺ (mg/l)	0,33	7,12	***	0,39	4,33	NS
P (mg/l)	1,55	1,24	NS	1,19	1,22	NS
K (mg/l)	0,74	26,76	***	4,44	69,11	***

“t” Student * $p < 0.05$, ** $p < 0.01$, *** $p < 0.001$, NS no significativa

talidad de los parámetros analizados en los entornos de texturas arcillo-limosas no se encuentran diferencias significativas entre la composición de los lixiviados de amontonamientos de estiércol y los lixiviados testigo.

Cabe destacar el comportamiento de los diferentes compuestos químicos de nitrógeno analizados. El nitrógeno nitroso (NO_2^-) es una forma inestable que evoluciona con rapidez hacia formas nítricas, amoniacales o incluso a nitrógeno elemental en función de las condiciones que presente el suelo para favorecer su oxidación o su reducción. Alcanza valores muy bajos, solamente significativos en el horizonte superficial que es donde más rápidamente evoluciona y puede ser absorbido por las plantas. El nitrógeno nítrico (NO_3^-), forma directamente absorbible por las plantas, tiene presencia significativa en el horizonte de actividad radicular de las plantas y será captado por ellas si están en período de desarrollo vegetativo. Los niveles encontrados en el horizonte profundo son bajos, sin encontrar diferencias entre su contenido en los lixiviados de los montones de estiércol y los testigos.

Características de los lixiviados de estiércol vs testigo (20-60 cm)

	suelos francos			suelo arcillo-limoso		
	testigo	lixiviado	sig.	testigo	lixiviado	sig.
pH	8,2	7,8	**	8	7,9	NS
Cond. eléctrica (dS/m)	0,51	0,76	***	1,42	1,61	NS
Mat. orgánica (g/l)	0,36	0,42	NS	0,81	1,06	NS
Minerales (g/l)	0,37	0,51	**	0,8	0,97	NS
NO_3^- (mg/l)	0,48	0,26	NS	5,47	7,58	NS
NO_2^- (mg/l)	0,04	0,02	**	1,13	0,14	NS
NH_4^+ (mg/l)	0,52	0,59	NS	3,38	2,65	NS
P (mg/l)	1,17	1,08	NS	0,61	1,12	NS
K (mg/l)	0,97	1,26	NS	16,8	29,03	NS

“t” Student * $p < 0.05$, ** $p < 0.01$, *** $p < 0.001$, NS no significativa

Con el nitrógeno amoniacal (NH_4^+) se da un proceso similar al anterior. Los lixiviados de los montones de estiércol presentan altas concentraciones, superiores a los testigos, en el horizonte superficial, pero no trasladan estas altas concentraciones a las capas profundas en las que, en algunos casos, son menores que los lixiviados testigo.



Conclusiones

Aunque proceden de especies domésticas diferentes, las características de los estiércoles utilizados en esta experiencia resultan muy similares entre sí, sobre todo si los parámetros de caracterización se refieren a materia seca. Las mayores diferencias se producen por la cantidad de material de cama empleado.

La evolución de los estiércoles a lo largo de la experiencia (Mayo-Junio) tiende a mantener los niveles de humedad, de conductividad eléctrica y de materia orgánica oxidable, a incrementar el pH (alcalinización) y a disminuir la relación C/N. Se incrementa el nitrógeno orgánico y total, disminuye el contenido en fósforo y el de potasio se mantiene.

En suelos de textura franca se encuentra una relación directa entre precipitación y volumen de lixiviado sin límite en los primeros 20 cm del perfil y con límite en unos $40 \text{ l/m}^2 \cdot \text{día}$ en los lixiviados a 60 cm de profundidad.

En suelos de textura franco-arcillosa se encuentra una relación directa entre precipitación y volumen de lixiviado hasta un límite

de unos $30 \text{ l/m}^2 \cdot \text{día}$ para ambas profundidades de toma de muestras.

En suelos de textura arcillosa no se encuentra relación entre precipitación y volumen de lixiviado en el horizonte superficial si se superan los $15 - 20 \text{ l/m}^2 \cdot \text{día}$. En las capas profundas de este tipo de suelos no se encuentra ninguna relación entre precipitación y volumen de líquidos lixiviados.

En el horizonte de actividad radicular de la flora pratense (0-20 cm) de suelos de textura franca y franco-arcillosa la composición de los lixiviados procedentes de amontonamientos temporales de estiércol sobre suelo natural es significativamente diferente a la de los procedentes del suelo sin alterar.

A 60 cm de profundidad solamente se encuentran diferencias significativas entre ambos lixiviados en los parámetros pH, conductividad eléctrica y contenido total de minerales (incremento) y nitrógeno nitroso (decremento) para suelos de textura franca. Sobre texturas arcillo-limosas no se encuentran diferencias entre la composición de ambos tipos de lixiviados.