Uso de estiércol porcino como fertilizante de pastos

Sergio O. Giraldo M.
Zootecnista, Universidad Nacional de Colombia.
Director del Departamento Técnico de Tecniagro S.A. (Colombia)
sergiog@epm.net.co
Colombia

100 cerdos producen al año en sus excretas:
. el equivalente a 1.200 galones de ACPM
. 1.800 kilos de urea
. 1.200 kilos de superfosfato
Es responsabilidad del porcicultor que esto se convierta realmente en un recurso o en un contaminante.

1. Fundamentos del uso de la excreta como fertilizante orgánico

Para el Ministerio de Agricultura Pesca y Alimentación de Inglaterra "la forma más económica y ambientalmente amigable para la disposición de la excreta animal fresca o diluida es normalmente aplicarla en las tierras agrícolas" (MAFF, 1991). A idéntica conclusión llega Castillón (1993) cuando afirma que el uso agronómico de las excretas derivadas de la producción animal es la solución ideal "para eliminar esos "desechos" de la cría intensiva de ganado". La norma que controla la contaminación de aguas en el estado de Minnesota (USA) hace un reconocimiento expreso de las ventajas y beneficios que ofrece el uso de las excretas animales como fertilizante, beneficiando no sólo las cosechas, sino también las condiciones de los suelos (Minnesota Control Agency, Water Quality Division -1993-, citado por Coopeland, 1994 D).

Son, pues, innumerables las autoridades internacionales que reconocen en el uso de las excretas animales como fertilizante de suelos agrícolas la mejor forma de disponer de este material reciclando los nutrientes provenientes de las cosechas hacia los animales y devolviéndolos de nuevo al suelo para el crecimiento de cosechas, como es la vieja tradición (Jacobs, 1993).

1.1. Historia y antecedentes

Teofrasto, que vivió en el siglo II antes de Cristo, clasificó los estiércoles de los animales según su valor fertilizante en el siguiente orden: cerdo, cabra, oveja, vaca, buey y caballo (Rojas y Lora, 1992). Entonces, si bien desde siempre la excreta ha sido elemento importante en el desarrollo de los suelos, desde la Edad Media se reconoce que el estiércol de los animales domésticos juega un papel preponderante en la economía agraria. Así, Gómez (1990) expone cómo la excreta animal era una exigencia para el abonamiento del cereal, símbolo alimenticio de la Europa Medieval, llegando a adquirir tanta importancia que en

muchas partes se encuentran cuidadosos registros de estercoleros y en los cultivos se controlaba muy escrupulosamente el volumen de estiércol necesario. El incremento de la producción vegetal condujo a una escasez de estiércol y el problema se volvió a tal punto "angustioso", que en la Alta Edad Media muchos señores juzgaron conveniente exigir como censos "potes de estiércol" (según lo reporta Bloch, en su "Historia natural francesa: Caracteres originales" -1978-; citado por Gómez, 1990).

Es posible ver el gran papel de las excretas en la economía agraria en las manifestaciones artísticas de cada época:

> *-Cada día, Sancho -dijo Don Quijote-, te vas haciendo menos simple y más discreto.*
>
> *-Sí, que algo se me ha de pegar de la discreción de vuesa merced -respondió Sancho-;*
>
> ***que las tierras que de suyo son estériles y secas, estercolándolas y cultivándolas vienen á dar buenos frutos:***
>
> *quiero decir que la conversación de vuesa merced ha sido el estiércol que sobre la estéril tierra de mi seco ingenio ha caído; la cultivación, el tiempo que ha que le sirvo y comunico; y con esto espero de dar frutos de mí que sean de bendición, tales, que no desdigan ni deslicen de los senderos de la buena crianza que vuesa merced ha hecho en el agostado entendimiento mío.*
>
> Miguel de Cervantes Saavedra.
> "El Ingenioso Hidalgo Don Quijote de la Mancha". 1615.

Víctor Hugo, en esa otra obra cumbre de la literatura universal, Los Miserables nos habla del "oro-estiércol" y la necesidad e importancia de reciclarlo:

> *"Todo el estiércol humano y animal que el mundo pierde, devuelto a la tierra en lugar de ser botado al agua, sería suficiente para alimentar al mundo.*
>
> *¿Esa fetidez sabe usted qué es? Es la pradera en flor, es hierba verde, es tomillo, es salvia, es el ganado, es el mugido satisfecho de grandes bueyes en la tarde, es el trigo dorado, es el heno perfumado, es el pan en su mesa, es sangre caliente en sus venas, es salud, es el gozo, es la vida. Así lo quiere esta creación misteriosa que es la transformación en la tierra y la transfiguración en el cielo. (...) La nutrición de los campos hace el alimento de los hombres.*

Usted es dueño de perder esta riqueza y de encontrarme ridículo. Esa sería la obra maestra de su ignorancia."

Víctor Hugo. "Les Miserables" (1862)
Tome III. Livre Deuxeme. L´intestin de Léviathan

No son pues metáforas simples los pasajes traídos de obras cumbres de la literatura universal. El estiércol ha sido un elemento fundamental en el desarrollo de la economía por su valor fertilizante. Muchos siglos hace que el proceso se da y, por lo tanto, puede considerarse como algo íntimamente vinculado al desarrollo natural de los suelos agrícolas.

No es pues extraño que una Directiva del Consejo de la Comunidad Económica Europea (UE) de Diciembre de 1991 relativa a la protección de las aguas contra la contaminación incluya el estiércol dentro de la definición de FERTILIZANTE.

En algunos países, las normas ambientales determinan expresamente la máxima cantidad de excreta fresca proveniente de un determinado número de animales que se puede aplicar a los cultivos. Bélgica (un país que permite la utilización máxima de 400Kg de N/ha/año como fertilizante químico) autoriza en sus normas 30 cerdos de engorde por hectárea. Francia permite 120 cerdos de engorde o 20 hembras con sus crías por hectárea y por año (van den Broeke, 1994).

No obstante, es claro que el uso indiscriminado e irresponsable de fertilizantes nitrogenados, consecuencia entre otros de la famosa "ley de los rendimientos decrecientes" de la economía agrícola marginalista (que, como lo hemos dicho en otras partes -Giraldo, 1996-, también es la ley de la contaminación creciente) condujo a aplicaciones insostenibles de nitrógeno y, por lo tanto, a altos niveles de contaminación nitrogenada de los cuerpos de agua en determinadas zonas agrícolas de Europa. Por ello, en muchos países las normas ambientales se ven en la obligación no ya de prevenir la contaminación nitrogenada, sino de corregirla.

Como parte del mismo problema, Inglaterra subsidia a los agricultores la aplicación de bajas dosis de nitrógeno a las cosechas, pagando la menor producción derivada de ello.

En los Estados Unidos, como norma, cualquier residuo animal debe terminar como fertilizante en las tierras. Los costos de hacer algo diferente a utilizarlo como fertilizante y que permita verterlos a cuerpos de agua generalmente son más altos que la producción de los cerdos (Moser 1995 B). Dice Boyd (1995) que hacer algo distinto de usarlos en el suelo "causa muchos dolores de cabeza", empezando por la necesidad de obtener un permiso de vertimiento. Sólo es cuestión de aplicar los principios de su uso como fertilizante según el contenido de nutrientes presentes y de contar con la tierra de cultivo necesaria.

Entonces, el principio que orienta el uso de estiércol como fertilizante es la

existencia de una determinada relación entre la cantidad de kilos de población porcina en pie (o bovina o equina, etc.) y el número de hectáreas disponibles de un cultivo determinado.

Tabla 1. E X C R E S I Ó N D I A R I A
g / día

	Cerdo	Vaca lechera 450 k [ ] 4 k [ ] minerl 80 g
DBO5	130	800
N	27	500
P	22	82
K	23	470

Más precisamente lo dice Moser (1995 C): “En los Estados Unidos, la cantidad de tierra que se tiene, determina la cantidad de cerdos que se pueden poner en una granja”.

Ni por el costo y eficacia de las tecnologías, ni por el despilfarro que significa, podemos considerar adecuado para un país como Colombia que, en áreas con suficiente tierra agrícola, se construyan plantas de tratamiento que permitan descargar a cuerpos de agua el efluente de una explotación pecuaria o su conversión en enmienda mediante el compostaje. Sólo países como Holanda y Singapore entre otros, en los cuales se da una deficiencia de tierras de cultivo respecto de la sobreoferta de excretas de explotaciones pecuarias, se han visto en la necesidad de tratar los efluentes pecuarios al punto de poder descargarlos a los cuerpos de agua . En el caso de Holanda, donde es necesario tratar la excreta hasta un alto grado de depuración para poder vertirla a cuerpos de agua, el costo de su tratamiento es de cinco Dólares por cada cerdo gordo (Aspert, 1995).

Cualquiera sea el grado y el tipo de tratamiento, las excretas necesariamente se dosifican a los suelos agrícolas como parte de las técnicas de fertilización y riego (Boyd, 1995).

Son bien conocidas las conclusiones sobre el futuro del planeta a que llega el Club de Roma en su estudio sobre los “limites del crecimiento" en 1992 (Meadows et., al. 1994):

1. La utilización humana de muchos recursos esenciales y la generación de muchos tipos de contaminantes han sobrepasado ya las tasas que son físicamente sostenibles. Sin reducciones significativas en los flujos de materiales y energía, habrá en las décadas venideras una incontrolada disminución *per cápita* de la producción de alimentos, el uso energético y la producción industrial.

2. Esta disminución no es inevitable. Para evitarla son necesarios dos cambios. El primero es una revisión global de las políticas y prácticas que perpetúan el crecimiento del consumo material y de la población. El segundo es un incremento rápido y drástico de la eficiencia con la cual se utilizan los materiales y las energías.

Es el uso del estiércol como fertilizante (y no como enmienda después de compostaje) lo que corresponde más a esa segunda conclusión sobre la necesidad de un incremento de la eficiencia con la cual se utilizan los materiales y las energías. En los sistemas de tratamiento de estiércol que sería económico y práctico establecer en las explotaciones porcinas que superan el tamaño familiar, el nitrógeno es eliminado al aire; la mayor parte de los minerales quedan disueltos en el efluente líquido y por lo tanto no es posible evitar que sea el suelo agrícola el que finalmente los reciba, y la poca proporción de minerales que no quedan disueltos en el liquido efluente se deposita en los lodos. Su posterior utilización en la gran mayoría de los casos ha sido prácticamente ninguna, o, nuevamente, su adición a los suelos.

El siguiente fue el pronunciamiento del Profesor Chung Po (Director de la División de Industria Animal del Ministerio de Agricultura de Taiwan) en el seminario "Manejo de Aguas Residuales y Excretas Porcinas" realizado en México en Marzo de (1995): "La remoción de los nutrientes de los residuos porcícolas es inmoral, es un pecado; ya que se gasta gran cantidad de gas natural y de energía en la producción de urea y amoníaco necesarios para las producción agrícola. La remoción del nitrógeno de la excreta es un desperdicio de dinero y de energía. Cuesta mucha energía producir nitrógeno, para no reciclarlo, para dejar que se evapore. El fósforo también es un recurso muy escaso. Entonces, utilizar un polímero o un cloruro férrico para cumplir con los parámetros ambientales, creo que no es una forma inteligente de aprovechar este elemento. Las autoridades quieren poner en vigor legislaciones sobre nitrógeno y fósforo. Esto debería venir en el año 3.000. En este momento el mundo no está preparado para semejante desperdicio." (Po, 1995)

Es necesario tener en cuenta que sistemas de proceso de las excretas como el compostaje conducen a una dilución tal que se pierde su valor como fuente de nutrientes, además de las grandes perdidas de nitrógeno al aire.

1.2. Valor económico de la excreta porcina como fertilizante

No es posible una producción porcina que no genere estiércol. "El estiércol es un hecho; está allí, y lo menos costoso para manejarlo es la fertilización de tierras. En principio hay dos posibilidades: evaluar el costo de procesarlo, o convertirlo en alternativa de un nuevo negocio, en una nueva oportunidad de obtener utilidades" (Moser, 1995 A).

A nivel internacional se han desarrollado procedimientos técnicos para el uso del estiércol como fertilizante o abono orgánico; los cuales se fundamentan en el contenido de nutrientes del estiércol y la necesidad de ellos por parte de los cultivos. Es este valor fertilizante lo que permite a los norteamericanos decir que el estiércol de una vaca lechera vale 100 dólares al año (Weeks, 1994), y que el estiércol de una granja de 500 cerdos de engorde tiene un valor de 4.370 dólares al año (Johnson et al., s.f.).

100 cerdos producen al año en sus excretas: el equivalente a 1.200 galones de ACPM; 1.800 kilos de urea; 1.200 kilos de superfosfato.
En 1993, Roger Rankin presenta como Tesis de Grado para optar al título de "Master of Science" en la Universidad de Illinois un trabajo de investigación en el cual compara el rendimiento económico de dos formas de utilización de la excreta porcina. En la primera, la excreta es sometida a tratamiento en una laguna anaeróbica para luego ser depositada como fertilizante en los campos agrícolas. En la segunda, la excreta es utilizada como fertilizante sin pasar por tratamiento. La aplicación directa al campo siempre tubo el mejor valor presente neto (a 9, 12 y 18% de rata de interés). Discute el autor cómo este resultado fue determinado casi exclusivamente por la pérdida de nutrientes que implica el tratamiento de la excreta, en este caso las lagunas anaeróbicas. Esto, ya que, según Moser (1996), después de 180 días de tiempo de retención en una laguna anaeróbica se ha perdido el 60% del nitrógeno y el 30% del fósforo y el potasio.

Durante 1995, Colombia importó más de 500.000 toneladas de urea y fertilizantes nitrogenados con un costo superior a los 120 millones de Dólares. En solo nitrógeno, la porcicultura del país vía excreta reciclaría cada año 27.000 - 30.000 toneladas; esto es, 59 a 65.000 toneladas de urea: US$ 14.160.000 - 15.600.000.

Es completamente absurdo someter la excreta porcina (o bovina, o equina) a tratamiento y descargar su contenido de nitrógeno al aire; para importar enseguida urea y otros fertilizantes nitrogenados.

Es bien sabido que, a diferencia de otras áreas de Colombia, el desarrollo y crecimiento que ha mostrado la porcicultura en Antioquia en los últimos 25 años ha tenido como motor el uso de la excreta como fertilizante para la explotación de cultivos de pasto y producción fundamentalmente de leche. Lo que queremos resaltar en este momento es que no es este "un invento criollo".

1.3. Consecuencias del uso de porcinaza como fertilizante

"La aplicación de excretas líquidas a las tierras es un método de disposición de la excreta cómodo y de bajo costo que también puede beneficiar al suelo a través del reciclado de nutrientes esenciales. Las excretas animales son benéficas para los suelos debido a que los organismos del suelo descomponen la materia orgánica que, a su turno, puede aumentar la capa arable, la aireación y la fertilidad, incrementar la capacidad de retención de agua y potencialmente reducir la erosión por viento y agua. La aplicación adecuada de excretas a las tierras puede sostener una producción intensiva de cosechas sin depender de adiciones significativas de fertilizantes externos. El reciclado de la excreta en las tierras es lo más sensato, ya que los nutrientes son regresados en los ciclos ecológicos naturales de transformación de nutrientes, resultando en una disposición final. Los ciclos ecológicos naturales y los sistemas suelo y aguas, sin embargo, tienen límites de procesos que deben ser reconocidos y adecuados. De otra manera, la tierra a la que se aplican las excretas puede concentrar nutrientes que pueden degradar el suelo y la calidad del agua, amenazando la salud y el bienestar de la población, y destruir la sostenibilidad económica de los sistemas de producción de alimentos." (Geohring y van Es, 1994).

1.3.1. Bondades

Como fertilizante, la porcinaza tiene las mismas consecuencias benéficas de una fertilización química, es decir, incrementar la producción agrícola. No haremos énfasis en este aspecto que consideramos obvio. La primera aproximación a la cuantificación de esta consecuencia benéfica es el ahorro en los costos por fertilizante.

Juan Segarra (1983), investigador del Centro de Edafología y Biología aplicada del Segura en Murcia - España - afirmaba, en el "Seminario sobre materia orgánica y uso de residuos agropecuarios e industriales en el suelo" (realizado por la Sociedad Colombiana de la Ciencia del Suelo en 1982), que la utilización de los residuos orgánicos en la agricultura descansa en "la capacidad natural de los suelos para aceptar productos de desecho. Tal capacidad, por otra parte finita, deriva de la abundante población microbiana que en ellos habita, la cual es capaz de descomponer y putrificar un amplio rango de sustancias más o menos biodegradables presentes en los residuos orgánicos." Y esta afirmación la hacía exponiendo su trabajo sobre lodos de plantas depuradoras de aguas residuales urbanas que contienen y concentran sustancias de un mayor riesgo que las de las excretas animales.

En el mismo evento anterior, enumeraba otro de los expositores (Cadavid, 1983) las siguientes como las principales consecuencias del uso de porcinaza en los suelos, según su revisión bibliográfica:

1. Mejoramiento de las condiciones físicas del suelo;
2. Aumento de la capacidad del suelo para retener humedad;
3. Mejoramiento de la aireación del suelo;
4. Mejoramiento de la composición química del suelo, originando una liberación lenta del N, P y K;
5. Servir como fuente de N y otros elementos nutritivos a las plantas;
6. Ayudar a volver asimilables los minerales insolubles;
7. Adsorber los fertilizantes inorgánicos solubles, reteniéndolos e impidiendo que se pierdan por lavado;
8. Servir de alimento a bacterias y hongos.

Además, la investigación presentada por este autor le permitía concluir que la aplicación de porcinaza había tenido un efecto benéfico sobre la composición química y la fertilidad del suelo, producción y valor nutritivo del forraje y producción de leche por unidad de superficie al disminuir el período de descanso y aumentar la frecuencia de pastoreo (Cadavid, 1983).

Para los ciclos hidrológicos, el efecto sobre la retención de agua es bien importante. Así lo describe Segarra (1983): "también suele apreciarse una disminución en la densidad aparente de los suelos, lo que se traduce en una mayor "esponjosidad" de estos, responsable de incrementos notables en la capacidad de retención de agua." Al respecto dicen Sutton y sus colaboradores en 1996: "una ventaja de la aplicación de la excreta porcina a los suelos es el hecho de que mejora la estructura del suelo e incrementa su contenido de materia orgánica, lo cual conduce a un aumento de su profundidad, de su capacidad de retención de nutrientes y de agua y reduce la erosión." Más específico es Weeks (1994) cuando afirma que la adición de excretas a los suelos reduce la escorrentía de agua y suelo.

En el mismo evento mencionado antes, Muñoz (1983) dice: "muchos son los efectos benéficos producidos por los abonos orgánicos en el desarrollo de las plantas; los cuales se pueden atribuir, entre otros, a que son materiales de rápida degradabilidad y portadores de nutrientes como N, P, K, Ca, Mg, B, Fe, Mn, Zn, y Cu; a la presencia de microorganismos que enriquecen y activan la población del suelo y al contenido de sustancias reguladoras del crecimiento; hay efectos benéficos sobre la estructura del suelo y la retención de humedad". Con respecto a esta gran cantidad de elementos minerales presentes en la excreta, dice Castillón (1993) que las cantidades presentes de elementos secundarios (como azufre y magnesio) y de oligoelementos son siempre suficientes para prevenir toda deficiencia en el cultivo de vegetales cuando la aplicación de excreta a los campos de cultivo se hace de manera regular.

El Nitrógeno de los residuos orgánicos contribuirá a la nutrición nitrogenada de las plantas y se incorporará también al humus del suelo, interviniendo en los complejos procesos de humificación, efectos, todos ellos muy benéficos (Segarra, 1983).

Dicen los investigadores del Instituto Colombiano Agropecuario que las pérdidas de humus que sufre el suelo son enormes cada año. Pérdidas que pueden restituirse con la adición de abonos orgánicos que son fuente de humus; estando el estiércol dentro de los principales abonos orgánicos. Y agregan: “es tan obvio y conocido el valor del estiércol de los animales como auxiliar en el mantenimiento de la fertilidad del suelo, que nos parece ocioso repetir la conveniencia de emplear este producto donde quiera que lo haya” (Rojas y Lora, 1992)

Entonces, “la aplicación de excretas a las tierras es una eficiente alternativa de utilización debido a que generalmente los nutrientes obtenidos por las cosechas a partir de la excreta tienen bajos costos en comparación con los tratamientos. Los nutrientes de la excreta ayudan a incrementar y mantener la fertilidad del suelo. La excreta también puede mejorar la profundidad de la capa arable del suelo, incrementa la capacidad de retención de agua, disminuye la erosión por viento y agua, mejora la aireación, y estimula los organismos benéficos (Veenhuizen et al., 1992).

Cuando se piensa en la desventajosa situación que tienen ciertos países europeos en cuanto a la relación entre superficie agrícola y cantidad de población animal productora de fertilizante, adquiere mayor significado el siguiente párrafo de los investigadores de Bélgica Meeus-Verdinne y Destain (1993): “A dosis compatibles con una buena valoración agronómica, los efluentes animales tienen, esencialmente, una serie de efectos positivos sobre el suelo y las plantas. El estiércol es un importante generador de humus; el valor nitrogenado, el aporte benéfico del fósforo, de potasio, magnesio y azufre, de hierro, manganeso, boro, zinc y cobre, todos elementos esenciales para las plantas, hacen de los efluentes animales un recurso precioso. Los elementos indeseables (cadmio, mercurio y arsenio) sólo son aportados en pequeñas cantidades. Por otra parte, los riesgos de transmisión de enfermedades por las aguas son escasos”.

La ventaja estratégica que significa para un país tener una explotación animal estabulada intensiva y tierras agrícolas era pregonada en 1974 por el Departamento de Agricultura de los EEUU: “Los Estados Unidos tienen una tremenda ventaja sobre países como Japón, Taiwan, Holanda y Dinamarca debido a que tienen una enorme masa de tierra y producción agrícola para utilizar las cantidades crecientes de los nutrientes de las excretas, mientras que al mismo tiempo produce los principales granos que necesita para alimentar más animales” (Casoer, 1191; citado por Rankin 1992).

La aplicación de la porcinaza al suelo desencadena una gran cantidad de actividad microbial y química que dependerá de algunas características del suelo, humedad y temperatura. Los residuos orgánicos son reducidos a compuestos inorgánicos y luego convertidos a compuestos orgánicos más estables. Este proceso de liberación de compuestos inorgánicos, nitrógeno, fósforo, potasio elementos trazas y metales pesados es llamado mineralización, y es el mecanismo por el cual los

nutrientes de la excreta llegan ser disponibles para la planta (Rankin, 1992).

Los ensayos a largo plazo han demostrado que en los sistemas arables las más altas producciones sólo son posibles cuando se toman acciones dirigidas a mantener el nivel de materia orgánica en el suelo. La utilización de grandes cantidades de excretas y la producción de pastos son los dos métodos más accesibles (viables en condiciones prácticas) de lograr este cometido (MAFF, 1993)

En suma, "la aplicación a la tierra de las excretas líquidas beneficia al suelo y las cosechas producidas sobre él. El suelo tiene una tremenda capacidad para reciclar, retener y biodegradar las excretas líquidas" (Geohring y van Es, 1994.)

Para una inmensa mayoría de las granjas porcinas del país, el uso de la excreta como fertilizante de los cultivos agrícolas es un elemento constitutivo de su negocio. Las características de la actividad agropecuaria en Colombia conllevan un nivel de rentabilidad tal, que no es posible para estas granjas concebir producción porcina sin uso de la excreta como fertilizante de los cultivos agrícolas. La explotación agrícola (sea praderas o cualquiera otra) tiene como fuente fundamental de fertilizante a la actividad porcina. No es pues posible, para esta inmensa mayoría de granjas, subsistir sin una utilización de la excreta como fertilizante agrícola. Por ello no es posible hablar de la actividad porcina o de la actividad lechera por separado en estas fincas. En ellas existe producción porcina, porque hay explotación del cultivo de pastos y esta explotación es exigencia de la producción lechera, y la actividad lechera tiene unas características específicas (productividad, rentabilidad, tipo de alimento, etc.) determinadas por la actividad porcina.

Ahora bien, creemos nosotros que la porcicultura nuestra, asociada a la actividad agrícola, esa porcicultura nuestra de pequeña escala es uno de los mejores aliados que tenemos en el campo en la búsqueda del desarrollo sostenible. Porque nuestra porcicultura no es esa de los megaproyectos de 750.000 o un millón de kilos de población porcina en pié por unidad. Y no es que estos megaproyectos necesariamente alteren el equilibrio ecológico; es que ellos no contarían con la superficie agrícola suficiente, y necesariamente deberían recurrir a sistemas de tratamiento al final del proceso antes de someter su efluente, óigase bien, nuevamente a la actividad agrícola.

En este marco, es bien importante la historia del Norte (cercano) de Antioquia. Hace ya varias décadas, nuestros antepasados legaron unas tierras cansadas, con avanzados procesos erosivos producto de muchos lustros de una agricultura de ladera con azadón y gambia. Y, peor aún, gran parte de estas tierras padecieron el desafuero de la actividad minera para explotar el oro de aluvión (en la segunda mitad del siglo XIX fueron denunciadas 90 minas solo en el municipio de Don Matías. Todavía en la segunda década de siglo XX se denunciaron 17 minas - Baena y Baena, 1989). Todos conocemos muy bien el tipo de "suelo" que

queda después de este tipo de minería.

Y en el poco suelo que la agricultura de ladera dejó, y en el "suelo" dejado por la minería, el proceso erosivo fue continuado por la ganadería de suelos pobres, es decir por el sobrepastoreo; el sobrepastoreo en la ganadería extensiva: uno de los principales responsables de la erosión en Colombia.

Hace solo 20 años estos "suelos" nos entregaban 1.000 - 1.500 litros de leche por hectárea/año. Hoy, con la actividad porcícola, nos entregan 12.000 litros/hectárea-año o más.

En opinión de los expertos israelitas que en años recientes visitaron la zona, la actividad conjunta porcicultura ganadería de leche en el Norte de Antioquia era el único caso exitoso de formación y desarrollo suelos que conocían después de viajar por toda América (Uribe, 1996).

Es decir, la porcicultura nuestra nos está permitiendo hacer suelos, aquí, en Colombia; en un país donde según el IGAC (1988, citado por Murgueitio y Preston, 1992) la erosión llega a más del 60 % del territorio nacional y a casi el 90% de la zona Andina. En esta zona Andina del 90% de erosión, la excreta de la actividad porcina hace suelos para la agricultura.

Es de anotar que el Ministerio de Agricultura del Reino Unido no vacila en recomendar que las áreas de la finca más sensibles a problemas de erosión (por agua o por viento) y nitratos sean sembradas con pastos (MAFF, 1993), y en utilizar grandes cantidades de excretas animales o cualquier otro material orgánico para lograr una cubierta del suelo estable. La adición de grandes cantidades de material orgánico como excretas para controlar la erosión en los suelos arenosos también es recomendada.

Al comparar la fertilización nitrogenada con base en excretas porcinas con la fertilización con base en urea (la fuente más común en nuestro medio), por ejemplo, surge una gran ventaja de la porcinaza y es la menor pérdida de nitrógeno al aire por volatilización. En la excreta el 40% del N es orgánico y 60 % es amoniacal (Moser, 1995B, 1996). El 40% orgánico es de lenta disponibilidad y por lo tanto los cultivos lo pueden ir utilizando a medida que el va siendo degradado de formas orgánicas a las formas minerales (NO_3).

1.3.2. Riesgos

Un hecho que puede dar alguna idea sobre el nivel de riesgo ambiental existente en el uso de excretas porcinas como fertilizante es que en el Estado de Illinois (USA) sólo las operaciones de más de 750 cerdos de engorde deben contar con permiso del "National Discharge Elimination System". Las granjas por debajo de esta cifra deben tener permiso si descargan directamente a cuerpos de agua. Las

granjas con capacidad inferior a 300 cerdos gordos pueden funcionar con un sistema de descarga directa a las tierras sin necesidad de contar con tanques de almacenamiento o sistemas de manipulación (Copeland, 1994 B). La inmensa mayoría de las granjas en nuestro país cabrían en esta condición. En el caso de Missouri, la norma es aún más laxa: requieren permiso las granjas porcinas con capacidad superior a 2.500 individuos - de más de 55 lb - (Copeland, 1994 C)

En el Reino Unido, la norma oficial que regula la deposición de aguas residuales a los suelos establece expresamente que esta aplicación no requiere ninguna licencia "si los materiales son aplicados con el propósito de fertilización o cualquier otro acondicionamiento benéfico del suelo", si bien se requiere una notificación a la autoridad local (MAFF, 1993).

Dice Rankin (1993)que para el caso de los EEUU, con anterioridad a 1956, cuando las granjas eran pequeñas y la explotación animal y la agricultura estaban completamente integradas, la disposición de las excretas presentaba muy pocos problemas, ya que lo que ocurría era un retorno de las heces y orina al suelo una vez que las instalaciones eran lavadas. Hoy, con los grandes crecimientos de explotaciones porcinas, los productores pueden tener poco control sobre la cantidad de área requerida para la disposición de las heces y orina producidos por sus animales. Dice además el investigador que durante los años 50, 60 y la mayoría de los 70, los fertilizantes comerciales fueron producidos y vendidos a un bajo costo y como resultado de ello la mayoría de los granjeros ignoraron el valor de los nutrientes contenidos en la excreta. En muchos casos los fertilizantes comerciales suplían las necesidades de las cosechas y la excreta era esparcida sobre la misma tierra. Estas prácticas frecuentemente condujeron a un ineficiente uso de los nutrientes y a la contaminación de las aguas superficiales y subterráneas. El autor cita un estudio (Chase et al., 1991) en el que se indica que el 47 % de los granjeros de Iowa no modificaron la rata de aplicación de fertilizantes comerciales a pesar de que aplicaban porcinaza a los mismos suelos.

Lo anterior nos conduce a pensar que en épocas o situaciones de altos rendimientos económicos de los cultivos podría ser factible (al aplicar el principio marginalista de la ley de los rendimientos decrecientes) una sobredosificación de los nutrientes al suelo. Situación similar a aquella en la cual el granjero considera que la excreta no le "cuesta nada". En otras palabras, una subestimación del valor fertilizante de la excreta, o una subestimación de su valor económico como fertilizante pueden conducir fácilmente a una sobredosificación de nutrientes al suelo con alto riesgo ambiental subsecuente.

El uso adecuado de la excreta como fertilizante tiene muy poco riesgo ambiental directo para los cuerpos de agua. Dice Rankin (1993) que la contaminación con cargas demandantes de oxígeno, así como la sedimentación, ocurre como resultado de descargas accidentales, aguas de escorrentía que pasan por instalaciones con animales y como resultado de la erosión. En el mismo sentido están las palabras de Mosser (1995 B) cuando afirma que la contaminación de

aguas con excretas es un problema de su manejo y no un problema de la excreta en si misma.

Los riesgos ambientales del uso de la excreta como fertilizante no son mayores a los riesgos ambientales de la fertilización con productos de síntesis química. Antes, por el contrario, debido a la actividad biológica que estimulan y a la forma química en que se presenta alguna fracción de todos sus minerales, puede considerarse que los riesgos son menores.

Riesgo de contaminación de cuerpos de agua derivado de la escorrentía.

Dice Robertson (1977) que la contaminación de cuerpos de agua durante las labores de aplicación de porcinaza a los suelos agrícolas podría ocurrir bajo condiciones climáticas de altísima precipitación, cuando el suelo está a capacidad de campo y su capacidad para absorber porcinaza se vea seriamente impedida. Además de estas condiciones de alta precipitación, Rankin (1993) dice que igualmente habría riesgo de contaminación cuando ocurre inundación de tierras recién fertilizadas.

Las altas ratas y frecuencias de aplicación serían otros factores que crearían la posibilidad de contaminación por escorrentía. Pero, por ejemplo, dice Robertson (1977) que una aplicación de 55 metros cúbicos de excreta (excreta de 1.600-2.700 cerdos-día) por hectárea en una única aplicación solo mostró un pequeño efecto y de corta vida sobre la calidad del drenaje de agua. Esta aplicación que buscaba balancear el déficit de humedad en una sola aplicación condujo a una alta pérdida de nutrientes, especialmente nitrógeno.

De otro lado, el riesgo de escorrentía es mayor si la excreta se aplica sobre un suelo descubierto que sobre un suelo cubierto por un cultivo (MAFF, 1991). Entonces, en la aplicación de porcinaza a praderas el riesgo de contaminar cuerpos de agua por escorrentía es mínimo. Por esto, comúnmente se recomienda sembrar franjas de pastos como medida para corregir el riesgo de contaminación de cuerpos de agua por escorrentía al retener los sólidos, además de absorber nutrientes (Huber et al., 1994).

Pulgarin y Molina (2000) evaluaron la concentración de nitratos en una corriente de agua que discurre por potreros de pasto Kikuyo (Pennisetum clandestinum) sometidos a diferentes dosis de fertilización con porcinaza encontrando niveles de nitratos más de 150 veces inferiores al limite máximo tolerable. No encontraron diferencias significativas entre las distintas dosis de aplicación de porcinaza.

Riesgo ambiental derivado del contenido de nutrientes minerales en la excreta.

Es claro que los minerales que se encuentran en la excreta porcina no están en la proporción en que los cultivos los necesitan. Pero lo mismo ocurre para los minerales en los fertilizantes comerciales y para los minerales presentes en las excretas del ganado que se explota en pastoreo y para los lodos de depuración que se utilizan como fertilizantes o que se "infiltran" y para los residuos orgánicos compostados que se usan como enmiendas agrícolas. Es la "infinita" actividad biológica del sistema suelo la que hace posible que esto no sea contaminación.

Es bien sabido que mientras su pH no alcance valores excesivamente bajos, el suelo tiene una altísima capacidad para inmovilizar minerales, aún los metales pesados (Meadows et. al., 1974). De hecho, según el Ministerio de Agricultura del Reino Unido (MAFF, 1993), en términos prácticos, los metales que van en los residuos orgánicos se quedarán en el suelo para siempre. El riesgo de contaminación de aguas por esta vía es mínimo y como se verá más adelante está asociado a la erosión.

El suelo ha llegado a ser el principal receptor de excretas animales, ya que, comparado con el agua o el aire, el suelo tiene una gran capacidad para manejar la conversión de grandes cantidades de materiales residuales en nutrientes para las plantas (Rankin, 1993). La arcilla es el agente buffer primario en el suelo y es la responsables de la retención de grandes cantidades de cationes como amonio, potasio y fósforo. Esta capacidad ligante ayuda a retener estos compuestos en la zona radicular y reduce su caída a las aguas subterráneas (Hoek, 1993; Citado por rankin, 1993))

Para que haya un riesgo de contaminación de aguas con aquellos minerales que son ligados por el suelo, necesariamente debe ocurrir un proceso de erosión grave. El cual no ocurre cuando se trata de cultivos de pastos que como el kikuyo, estrellas y similares dan un gran cobertura del suelo.

Después de una amplia revisión bibliográfica y una detallada exposición de los graves riesgos que tiene la aplicación de cantidades excesivas de porcinaza a los suelos, en la cual se incluyeron la información preliminar de trabajos hechos en la zona de Don Matías, Orozco (1983) recomienda no aplicar más de 150 ton/ha/año de excreta fresca. Esta recomendación no dista mucho de lo que se concluiría después de la aplicación de los procedimientos que se expondrán más adelante al calcular una fertilización nitrogenada.

Podríamos considerar una excepción a lo dicho antes, la alta movilidad del nitrógeno presente en los fertilizantes sea de síntesis química o en las excretas; movilidad que hace que la fertilización nitrogenada tenga mayores riesgos ambientales.

Se hace a continuación un breve referencia al riesgo ambiental de algunos elementos minerales particulares presentes en la excreta.

- Nitrógeno

Si bien comúnmente sólo se menciona al fósforo como responsable de los problemas de eutrofisación, la contaminación nitrogenada de cuerpos de agua superficiales también provoca eutrofisación.

El primer mecanismo para prevenir la contaminación nitrogenada de las aguas, es evitar las fugas directas a los cuerpos de agua (Cann, 1993). Por esto, es importante calcular la capacidad de almacenamiento de excretas necesaria para cada explotación y evitar que las aguas lluvias lleguen al sistema de manejo de excretas causando su rebose. El segundo grupo de medidas tiene que ver con el momento y forma de aplicación dependiendo de las condiciones físicas del suelo.

Del total del nitrógeno presente en la excreta, 60-80% está en forma inorgánica o amoniacal y el resto en forma orgánica. El nitrógeno amoniacal está cargado positivamente y, por lo tanto, se liga fuertemente a la arcilla, siendo altamente disponible para la planta y no es lixiviado. La conversión de amoníaco a nitrato se llama nitrificación que es causada por procesos bacteriales en condiciones aeróbicas. En un suelo bien aireado y con la temperatura y pH adecuados, la nitrificación procede rápidamente y la mayoría del nitrógeno amoniacal de la excreta es convertido a nitrato dentro de las pocas semanas de aplicación. El nitrato es la forma de nitrógeno más disponible para la planta, pero también es la forma más fácil para su pérdida por lixiviación, ya que es un anión y la arcilla no lo puede ligar (Rankin, 1993).

Cuando el nitrógeno se convierte en nitrato es fácilmente soluble y se lixivia hacia abajo en el suelo. Cuando los nitratos alcanzan una profundidad por debajo del nivel de la zona radicular, no pueden ser devueltos a las capas superiores del suelo por las cosechas normales y eventualmente pueden alcanzar las aguas subterráneas. La aplicación de cantidades de nitrógeno que excedan la capacidad de crecimiento del cultivo para utilizarlo es la principal fuente de contaminación de aguas profundas con nitratos en los EEUU (Rankin, 1993).

La EPA de los EEUU recomendaba en 1977 que los aportes de residuos se hicieran en cantidades de N asimilable que fueran en el suelo una y media o dos veces las requeridas por los cultivos (Segarra, 1983). Hoy en día este criterio se ha restringido aún más.

Entonces, generalmente se acepta que, de los nutrientes contenidos en el estiércol, son los excedentes de nitrógeno los que tienen el mayor riesgo de movimiento por escorrentía y lixiviación (con riesgo de contaminar cuerpos de agua), y por ello el cálculo de la dosificación del estiércol se hace generalmente con base en este nutriente, quedando prácticamente cubierto cualquier riesgo de contaminación con otro componente. Así, es a partir de la necesidad de fertilizante nitrogenado de los cultivos que se calcula la cantidad de estiércol que se debe aplicar por unidad de área y unidad de tiempo en un determinado suelo y

para un determinado cultivo (Moser, 1995 B, 1996).

Por esto, en lo que respecta a la contaminación nitrogenada de aguas originada en la explotación animal, "la mejor solución sigue siendo, limitar el crecimiento de la explotación animal a las posibilidades de absorción de las deyecciones por las plantas cultivadas" (Cann, 1993).

No obstante todo lo anterior, es importante resaltar que en reciente investigación en nuestro medio se ha encontrado que los suelos derivados de cenizas volcánicas en Antioquia manifiestan una alta capacidad de retención de nitratos. A diferencia de lo que se ha afirmado como norma general por cualquier tipo de suelo en el sentido de que cualquier exceso de nitratos en la solución del suelo es perdido por lixiviación, estos suelos mostraron la capacidad de retener un 50% de los nitratos adicionados (Osorio y Franco, 1995). Este hecho tiene un gran significado desde el punto de vista de la disminución del riesgo ambiental derivado de la fertilización nitrogenada.

- Elementos diferentes al nitrógeno

Según Piva y sus colaboradores (1993), con respecto a la posibilidad de contaminación de aguas, la situación del fósforo y los metales pesados como cobre y zinc es completamente distinta en comparación con el nitrógeno, que representa el principal potencial contaminante de las aguas. La razón de esto radica en que los minerales son adsorbidos a las partículas de arcilla y materia orgánica del suelo. De otro lado, con respecto a cadmio, mercurio y arsenio, minerales indeseables, Meeus-Verdine y Desatin (1993) dicen que sólo son aportados en pequeñas cantidades.

En el Seminario sobre Manejo de excretas porcinas en México (1995), al calcular la superficie de cultivo necesaria para disponer las aguas efluentes de una granja de 1000 hembras, Moser (1995 C) expuso cómo asesoraba 20 granjas de este tamaño en Virginia (USA) y al no tener superficie suficiente para disponer el nitrógeno presente, se diseñaron los sistemas de modo que en una laguna anaeróbica de amplia superficie y en el tiempo adecuado y con un determinado sistema de aplicación se eliminara al aire la máxima proporción de nitrógeno posible y así era factible fertilizar 35 hectáreas de pasto Bermuda. Lo que significa adicionar a una hectárea de pasto los minerales excretados por más de 250 unidades de población porcina. Los funcionarios de la EPA presentes en la discusión estuvieron de acuerdo en que era necesario eliminar del efluente el nitrógeno excedentario, y no pusieron objeción a esta proporción de minerales.

- Fósforo

La mayoría de los suelos tienen una gran capacidad de retener e inmovilizar el fósforo aplicado excedentariamente por encima de las necesidades de los cultivos. Los suelos de textura fina tienen más capacidad de retención que las texturas

gruesas o arenosas. No obstante, la aplicación excedentaria de fósforo exige que la erosión y la escorrentía estén controladas (Rankin, 1993).

El fósforo es removido de la solución del suelo por adsorción a las partículas de arcilla y por complejamiento con carbonatos, aluminio o hiero (Rankin,1993). En este sentido, dice Castillón, en 1993, que los aportes de fósforo excedentario por las excretas tendrán, para el medio ambiente, las mismas consecuencias que idénticos aportes de abonos minerales fosfatados. Una vez liberado bajo la forma de iones fosfatados, el fósforo será fijado por los adsorbentes del suelo, o se asociará químicamente al hierro, al aluminio y al calcio. En esta forma, su impacto para los cuerpos de agua dependerá de que haya o no erosión del suelo. Por ello, dicen Meeus-Verdinne y Destain (1993) que los fosfatos tienen una reducida movilidad en el suelo y las pérdidas, en general, son casi nulas.

En las condiciones de los Estados Unidos y bajo cultivos con pobre o nula cobertura vegetal, el fósforo es la principal contaminación mineral como resultado de la escorrentía. Dice Rankin (1993) que el fósforo que incorporan las excretas es ligado por las capas superficiales del suelo y si hay grandes cantidades de erosión puede ser transportado hasta los cuerpos de agua.

En un estudio sobre eutrofisación en aguas en Francia, Cann (1993) analiza varias cuencas en las cuales la concentración de animales llega a las cifras exageradas de 1000 a 2000 animales (vacuno y porcino) por hectárea, y concluye que la mayor parte del fósforo presente en los cuerpos de agua procede de las tierras a causa de la erosión de los suelos. Y agrega que, por lo tanto, es necesario limitar la erosión mediante todas las prácticas agronómicas clásicas entre las cuales menciona el mantenimiento de una buena tasa de materia orgánica en el suelo para mantener su cohesión y mantener una cubierta vegetal.

Meeus-Verdinne y Destain (1993) reportan la situación de ciertas áreas de Bélgica donde los agricultores adicionan fósforo en forma de abonos de síntesis química, además de las aplicaciones de estiércol (4 veces más que la cantidad removida por los cultivos). En estas áreas la capacidad de saturación del suelo se encuentra en el rango de 60 a 140%.

En los Estados Unidos, el Dpto. de Agronomía de la Universidad del Estado de Ohio plantea que en suelos con un nivel de fósforo tal que los cultivos no responderían a una aplicación del mismo, se podría aplicar excreta al nivel que el cálculo de la fertilización de nitrógeno lo determine si no hay un alto riesgo de movilización del mismo por escorrentía (Johnson et al., s.f.).

- **Potasio, Calcio y Magnesio**

Después de la mineralización, el potasio, el calcio y el magnesio se ligan fuertemente a la materia orgánica o a la arcilla del suelo. Si bien el potasio es el

menos fuertemente ligado y alguna lixiviación puede ocurrir, aparentemente tiene pocas consecuencias, ya que es devuelto a la capa superficial del suelo por las raíces de las plantas. Particularmente, el potasio, siendo uno de los minerales mayores presentes en la porcinaza, es de muy poca preocupación ambiental. En general los niveles de potasio no son problema si la fertilización con nitrógeno y fósforo está bien dosificada (Rankin, 1993).

Entonces, si bien no hay límite para el nivel máximo de potasio permisible en los análisis de suelo, las excretas contienen mucho más potasio que magnesio o calcio, y después de muchos años de aplicaciones continuadas de excretas, la relación del potasio al magnesio y al calcio puede ser demasiado alta para un óptimo crecimiento de las cosechas. Para ajustar esta relación, calcio y/o magnesio pueden ser adicionados como cal dolomítica o piedra caliza (Veenhuizen et al., 1992).

- Cobre Y Zinc

Generalmente se acepta que de los minerales presentes en las excretas de aves y cerdos, el cobre y el zinc, son los únicos que merecen atención y seguimiento cuando la excreta se usa de manera rutinaria en programas de fertilización (MAFF, 1993). No obstante esta no es una preocupación exclusiva: aun con los fertilizantes químicos, el riesgo de adiciones de otros metales debe monitorearse permanentemente. Tal es el caso del cadmio, fluoruros y uranio en los fertilizantes fosfóricos (MAFF, 1993).

El amplio uso de sulfato de cobre como aditivo nutricional en la alimentación de cerdos hace pensar en un posible riesgo de este al aplicar las excretas. Dice Robertson (1987) que no obstante, esto no ha causado problemas serios debido probablemente a que el cobre, aunque se haya acumulado en la fracción sólida de la excreta, es altamente indisponible. Agrega el autor, que de todas maneras mientras no se tenga información adicional, es necesario mantener el cobre y el zinc como un posible problema.

En tierras utilizadas para cosechar maíz con una historia larga de aplicación de excreta y alta acumulación de cobre en el suelo no ha sido reportada toxicidad para las plantas. La acción ligante y el pH del suelo limitan la disponibilidad del cobre para las plantas, aunque se hayan acumulado excesivas cantidades de este elemento. Los suelos arenosos con bajo pH y bajo contenido de materia orgánica tienen una capacidad reducida para retener metales pesados y, por lo tanto, hay una alta posibilidad de contaminar con metales pesados las aguas subterráneas cuando se aplica excreta a estos suelos (Rankin, 1993).

Rankin (1993) cita un estudio de Sutton y colaboradores (1983a) en el que se encuentra que el cobre no se presentó en concentraciones excesivas ni en el suelo ni en los tejidos de maíz a pesar de grandes aplicaciones de excretas que

contenían cobre. Posteriormente, otro trabajo de investigación en tres tipos de suelo diferente confirmó los hallazgos anteriores y además no encontró concentración aumentada de cobre en la semilla (Anderson y col, 1991, citado por Rankin, 1993).

Meeus-Verdinne y Destain (1993) plantean cómo la sobredosificación de excreta por encima de las necesidades de fertilizante de los cultivos puede conducir en algunos suelos a problemas con minerales como el cobre y el zinc; si bien estas mismas sobredosificaciones no han conducido a problemas en otros tipos de suelo en Bélgica. Un estudio en una zona flamenca después de 30 años de altas aplicaciones de excretas derivadas de la explotación porcina intensiva mostró que el contenido total de cinc en los suelos seguía siendo completamente normal (Meeus-Verdinne, 1988 - citado por Meeus-Verdin y Destain,1993-). Para el caso del cobre, sólo el 1 % de la superficie estudiada tenía un contenido cercano al límite superior fijado para la Unión Europea para lodos provenientes de depuradoras.

Kerr y McGavin (1941, citados por Rankin, 1993) reportaron mortalidad de ovejas que pastaban en praderas altamente irrigadas con excreta; no obstante, dicen los investigadores que el problema hubiera sido prevenido con una suplementación de molibdeno. Ya que la relación cobre a molibdeno era mayor de 10:1.

El Ministerio de Agricultura de Inglaterra tiene una recomendación de 7.5 y 15 kilos por hectárea-año para la adición máxima de cobre y zinc a los suelos agrícolas (MAFF, 1993). Partiendo de la composición de los alimentos en nuestro medio, estas cifras máximas se lograrían con una relación de 85 y 263 cerdos de ceba por hectárea, respectivamente. La primera cifra corresponde casi al doble de lo que sería la máxima fertilización nitrogenada de un pasto altamente productivo. En otras palabras, si la aplicación de la porcinaza fresca se hace con base en el cálculo de la fertilización nitrogenada no es posible alcanzar los niveles máximos de cobre y zinc que presentan las autoridades inglesas, aún suponiendo que la totalidad del cobre y zinc de la dieta sean excretados en el estiércol. En concordancia con esto, Danés y sus colaboradores afirmaban en 1966 que el cinc y el cobre no constituyen un problema importante con la legislación actual si la excreta se aplica con dosis agronómicas.

No obstante, cuando la excreta es sometida a tratamiento para disminuir la concentración de nitrógeno, dependiendo del sistema de tratamiento, se podría aumentar el riesgo de alcanzar estas cifras máximas de cobre y zinc.

Entonces, si bien comúnmente una preocupación importante es el incremento de concentraciones a niveles tóxicos de metales pesados, entre ellos cobre y cinc, en la medida en que después de varias décadas de uso de la técnica de fertilización con porcinaza, los problemas han sido muy pocos y puesto que las investigaciones en algunos cultivos muestran que ellos no se acumulan, hay una relativa tranquilidad. Pero es necesario establecer un sistema de señales

adecuadas y elaborar investigación a futuro sobre interacciones y complementación para eliminar el riesgo.

- Minerales menores

Según Rankin (1993) no hay ninguna preocupación ambiental por la gran cantidad de minerales menores que hay en la excreta; ya que ellos carecen de movilidad en el suelo con la excepción del boro. Más aún, comúnmente se adjudica a los minerales traza la responsabilidad del incremento en la producción de las cosechas en que se aplica excretas. Esta producción incrementada se observa cuando se compara con las producciones de cultivos fertilizados con fertilizantes comerciales a las mismas dosis de la fertilización con excreta. La aplicación de Boro ha conducido a incrementos en la producción de algunos cultivos (Rankin, 1993).

- Sal

Dice Rankin (1993) que algunos elementos que no se consideran estrictamente contaminación pueden presentar acumulaciones inadecuadas en suelos fertilizados con excretas. Por ejemplo, algunos suelos y especialmente en áreas de muy baja precipitación pueden acumular sales minerales. Problema que se previene y soluciona con riego. Es de anotar que en reciente seminario sobre residuos orgánicos en agricultura realizado en la Universidad Nacional de Medellín, Juan Segarra explicó que con los niveles de precipitación que hay en nuestras tierras era muy difícil pensar en problemas de sal con aplicaciones dosificadas de excreta como fertilizante (Segarra, 1996, comunicación personal).

Riesgo ambiental derivado del contenido microbial en la excreta

En nuestro medio es común oír referencias al alto riesgo para la salud pública que tiene la aplicación de excreta porcina como fertilizante (El Colombiano, 1995; Gómez, 1995). El amplio uso de las excretas como fertilizantes no sólo en Colombia, sino a nivel mundial son a nuestro modo de ver, un argumento de cómo el riesgo, si bien existe, no puede ser muy alto; de lo contrario, la práctica no estaría tan ampliamente difundida. Un argumento a favor de nuestra posición es la afirmación que aparece en la publicación de la Organización Panamericana de la Salud -Oficina Regional de la Organización Mundial de la Salud- sobre zoonosis y enfermedades transmisibles comunes a animales y humanos. En el capítulo sobre colibacilosis o diarrea enteropatógena se dice que la importancia de “el papel de los animales en la epidemiología (de esta enfermedad) no se ha determinado aún con claridad” (Acha y Szfres, 1988). Es bien significativo que después de varios siglos de incidencia de esta enfermedad y de varios siglos de uso de una práctica agrícola, no se haya podido demostrar una relación entre las

dos, aunque se hayan hecho esfuerzos importantes por encontrarla.

El riesgo epidemiológico de la aplicación de excretas como fertilizantes tiene varios aspectos a analizar: en primer lugar, la posibilidad de sobrevivencia y reproducción (crecimiento) en el suelo de los microorganismos provenientes de la excreta; en segundo lugar, la posibilidad de su transporte hasta los cuerpos de agua. En tercer lugar, la proporción de la flora microbial que es patógena entre especies.

Cuando se aplica porcinaza a los pastos no debe perderse de vista que los microorganismos presentes quedan en condiciones aeróbicas, y aquellos que quedan en la superficie del suelo o de las plantas quedan expuestos al sol y a las corrientes de aire. Condiciones estas bastante difíciles para la sobrevivencia de la mayoría de las bacterias patógenas. Además, transcurren entre 30 y 50 días antes de que se de la siguiente cosecha del pasto. Dice el Concejo para la Ciencia y tecnología Agrícola (CAST, 1996) refiriéndose a este tema que las bacterias y virus patógenos no son capaces de competir efectivamente fuera del animal huésped por períodos largos.

Según Segarra (1983), la supervivencia en los suelos de los microorganismos patógenos aportados por los residuos orgánicos depende de muchos factores. Se sabe que las condiciones que favorecen la supervivencia de los microorganismos nativos del suelo tienden a ser destructivas para tales patógenos, pudiendo aquellos, adaptados al medio ambiente del suelo, eliminarlos a través de la competencia por la alimentación y por el espacio vital. “Las bacterias patógenas no pueden competir en un ambiente bacterial saprofítico y son superadas a menos que tengan una forma de resistencia ambiental.

Ya lo dice Moser (1995B) al discutir la necesidad o no de tratamiento de la excreta antes de su uso como fertilizante: “La madre naturaleza es el mejor sistema para la descomposición de las aguas residuales. El objetivo es optimizar la naturaleza, no cambiarla. Al utilizar la excreta como fertilizante, es la tierra misma la que realiza la función de tratamiento de estos residuos. En el suelo hay más de un millón de bacterias por gramo y estas bacterias se encargan de transformar la porcinaza”.

Robertson (1987) cita una investigación de Taylor y Burrow (1971) en la cual se encuentra que la Salmonella dublin que queda en la parte más alta de los pastos después de la aplicación de excretas puede sobrevivir 10 días; 18 días en la superficie del suelo y 84 días dentro del suelo. Los mismos investigadores reportan que no fue posible recuperar Salmonella dublin del suelo o del pasto cuando la dosis de aplicación fue de 10^3 organismos/ml

Esta investigación nos confirma lo expuesto antes sobre el porqué con el uso de excreta para fertilizar praderas no se han reportado problemas sanitarios graves.

Robertson (1977) recomienda no pastorear praderas con menos de 4 semanas de haber recibido fertilización con excretas. Ahora bien, en condiciones tropicales, la sobrevivencia de las bacterias sobre el suelo y los pastos debe ser mucho menor que la reportada en la investigación citada por Robertson (1977). Lo mismo podría decirse de las investigaciones citadas por el CAST en 1996 (Bell, 1976; Bell y Bole, 1978) quienes encuentran que los coliformes fecales presentes en los lodos de aguas residuales fueron destruidos completamente en 10 horas de brillo solar; siendo muy lenta su destrucción en ausencia de brillo solar.

Aún con las altas concentraciones de animales en países europeos como Bélgica, los investigadores dicen que con la aplicación de la excreta como fertilizante "los riesgos de transmisión de enfermedades por las aguas son escasos" (Meeus-Verdinne y Destain, 1993).

Ahora bien, no debe perderse de vista que la gran mayoría de las bacterias patógenas son intraespecíficas. Los coliformes que son patógenos y habitan normalmente el tracto intestinal de una especie animal, no son las mismas especies patógenas para humanos y otras especies.

De otro lado, el riesgo de contaminar microbiológicamente cuerpos de agua está fundamentalmente en la erosión y la escorrentía al momento de la aplicación. Riesgo que se da no sólo con la aplicación de excretas líquidas, sino con cualquier explotación en pastoreo. No obstante, cuando se trata de la explotación de pastos de cubrimiento total de la superficie de cultivo, ambos riesgos quedan reducidos al mínimo. Por esto, la forma más eficiente de evitar la contaminación microbial de los cuerpos de agua, no está en el tratamiento de las excretas; está en evitar y controlar la erosión y la escorrentía.

Dejando de lado el tema de los riesgos para la salud, en cuanto al efecto de la adición de residuos orgánicos sobre la actividad biológica del suelo, dice Segarra (1983) que los organismos del suelo necesitan los mismos elementos esenciales que las plantas superiores, ya que ambos tienen similar composición elemental y parecidos sistemas enzimáticos. Y se concluye de lo expuesto por este autor que, si el residuo adicionado al suelo tiene alta concentración de carbono y de nitrógeno no hay peligro de limitar la actividad biológica del suelo. Entonces, nos surge aquí nuevamente la situación de los lodos especialmente provenientes de decantación o de tratamientos anaeróbicos.

2. Elaboración de un plan de fertilización con porcinaza

Como se ha dicho, la excreta porcina puede ser una excelente fuente de nutrientes para la producción de cosechas. Los porcicultores deben desarrollar un plan de manejo de los nutrientes de la excreta que, primero, maximice el uso de los nutrientes de la excreta, y, sólo entonces, suplementar con fertilizantes

comerciales si son necesarios nutrientes adicionales para la cosecha. Un plan como este incluye aspectos tales como:

. Conocimiento del contenido de nutrientes fertilizantes en la porcinaza producida en la explotación porcina;

. Un programa de análisis de suelos;

. Mantenimiento de registros exactos de los lotes estercolados y las ratas de aplicación utilizadas;

. Suficiente capacidad de almacenamiento para aplicaciones oportunas;

. Disponibilidad de tierras para aplicación de porcinaza;

. Aplicación uniforme y momento adecuado a través de la totalidad de la tierra;

. Aplicación que corresponda a las necesidades de nutrientes que son determinadas por los potenciales de producción reales.

Para las condiciones nuestras, la recomendación general es que la dosificación de materiales orgánicos tenga como base el aporte de nitrógeno que hace el material. Esto, ya que en términos generales es el nutriente de mayor demanda por los cultivos y es el elemento que más se cuestiona por su potencial contaminante de aguas subterráneas y superficiales.

Los análisis de suelo son de muy poca ayuda en el cálculo de las necesidades de fertilización nitrogenada. Según los funcionarios de la EPA (Boyd, 1995) si bien los análisis de suelo son un buen indicativo del fósforo disponible para las plantas y permiten tener un conocimiento sobre la situación de la cosecha en un suelo específico, la experiencia en EEUU es que con los análisis de nitrógeno se tiene una perspectiva muy breve; el análisis presenta una situación momentánea y no es una buena información sobre la disponibilidad de nitrógeno para la cosecha o cultivo que se tenga en ese momento o en el inmediato futuro. Opinión confirmada por los investigadores de la Universidad de Carolina del Norte y de Purdue (Zublena et al., 1993; Huber, 1994). En Colombia, la posición de los expertos es la misma (Osorio y Franco, 1996; Ospina, 1996). En general, la experiencia y conocimiento que se tenga de las respuesta de un cultivo específico sobre cada tipo de suelo a las diferentes dosis de nitrógeno son el punto de partida para las recomendaciones de fertilización.

El nivel de nitrógeno a aplicar se puede basar en los trabajos publicados sobre la respuesta a la fertilización química o en algunos trabajos hechos por el ICA sobre la respuesta a la fertilización orgánica. En este marco, los requerimientos

nutricionales calculados en función de la expectativa de producción permiten hacer una racional utilización del fertilizante orgánico (Osorio y Franco 1996). La determinación de la dosis de nitrógeno es de particular importancia; ya que, como ocurre con cualquier fertilización nitrogenada, el excedente no absorbido por el cultivo será un desperdicio y en su gran mayoría se perderá con alto riesgo de contaminar cuerpos de aguas.

En términos generales, el procedimiento para calcular la fertilización con excretas porcinas incluye los siguientes pasos:

1. A partir del inventario de población porcina y de la caracterización de sus excretas, se calculan las cantidades diaria y anual de nitrógeno producido en las excretas (también puede calcularse la cantidad de nitrógeno presente en cada unidad de volumen de excretas, por ejemplo por metro cúbico, y la cantidad de unidades de volumen producidas; esto es especialmente importante cuando es necesario almacenar por varias semanas o meses la excreta antes de esparcirla en los campos o cuando es necesario someter la excreta a tratamiento para reducir su contenido de nitrógeno cuando no se cuenta con tierra de cultivo suficiente).

2. Conocimiento de las necesidades de nitrógeno que tiene el cultivo al año por unidad de superficie. Se parte de la recomendación de fertilización nitrogenada para cada cosecha (o pastoreo).

3. Al dividir la cantidad anual de nitrógeno que se produce por las necesidades del cultivo (por unidad de superficie), se obtiene la superficie de cultivo que es posible fertilizar con las excretas. Igualmente, al dividir las necesidades de nitrógeno (por unidad de superficie) por la cantidad de nitrógeno presente en cada unidad de volumen de excreta, se obtiene el número de unidades de excreta que se deben aplicar anualmente por cada unidad de superficie del cultivo.

4. A partir de la cantidad de nitrógeno que se debe aplicar por cada unidad de superficie y de la cantidad de nitrógeno que se produce en cada día, se calcula la superficie de cultivo que se puede fertilizar con la porcinaza producida cada día.

5. A partir del área de cada lote de cultivo o potrero se calcula el número de días de porcinaza que debe aplicarse a cada lote en cada rotación o cosecha.

6. A partir de la cantidad e porcinaza que debe aplicare en cada dosis por unidad de superficie se calcula el tiempo que debe permanecer el cañón de riego en cada sitio.

Cualquier cantidad adicional de nitrógeno será desperdiciada y puede perderse como contaminante.

Como parte del nitrógeno presente en la porcinaza está en forma orgánica, la totalidad del nitrógeno de la excreta no estará inmediatamente disponible para los cultivos. Este cálculo del nitrógeno residual es mucho más importante en lotes donde se tiene rotación de cultivos; ya que cada cosecha consecutiva recibirá una dosis diferente de excreta. No obstante, cuando se trata de praderas permanentes, los lotes recibirán recurrentemente la misma dosis de fertilización y por lo tanto, a partir del segundo año es posible trabajar con base en el nitrógeno total. Ahora bien, al iniciar la aplicación de porcinaza por primera vez a un lote, podría ser importante tener en cuenta el nitrógeno disponible; de lo contrario, al arrancar el cultivo podría ser subdosificado en nitrógeno.

El cálculo del nitrógeno disponible y del nitrógeno residual incluye los siguientes elementos:

1. El 40 % del nitrógeno presente en la excreta es orgánico, el cual tiene una disponibilidad del 40%. El 60% restante es nitrógeno amoniacal con una disponibilidad del 100%.

2. El nitrógeno orgánico que no es inmediatamente disponible al momento de la aplicación se hará disponible dentro del primer año de aplicación.

2.1. Cálculo de la fertilización

La posibilidad de utilizar la excreta como fertilizante durante los 365 días del año en los países tropicales nos ha permitido desarrollar una metodología que parte de la producción diaria de nitrógeno por animal independiente del grado de dilución en agua que dependerá de los sistemas de construcción, almacenamiento y practicas asociadas al uso de agua.

Se ha elaborado un formulario que guía paso a paso el cálculo de la fertilización con excretas porcinas, El procedimiento y el formulario se incorporaron al Convenio de Concertación Para una Producción Más Limpia Entre el Subsector Porcícola y Ambiental del Departamento de Antioquia (Asociación Colombiana de Porcicultores et. Al. 1997); igualmente fue Incorporado dentro de la Guía Ambiental del Subsector Porcícola producida por el Ministerio del Medio Ambiente. Traemos a continuación un resumen de este procedimiento .

Si partimos de cerdos alimentados con raciones comerciales normales, conocemos cuál es el aporte diario de nitrógeno (y demás nutrientes) en sus excretas. Partamos del ejemplo de una granja de 100 cerdas de cría de ciclo completo (cría, precebos, ceba). La suma del N aportado por las diferentes etapas nos da un total de 24.8 k de N por día; esto es, 9.041 k de N al año (19.6 ton de urea).

Tabla 2. Producción diaria de nutrientes para fertilización según el estado fisiológico * * *

Estado	Nitrógeno gms / anim	Nitrógeno gms* / 100 k	P_2O_5 gms / anim	P_2O_5 gms / 100 k	K_2O gms / anim	K_2O gms / 100 k
Hembra lactante * *	133		69		79	
Pié de cria no lactante	52		31		34	
Precebo		54		37		37
Levante		45		31		34
Finalizacion		45		35		35

* Gramos por cada 100 kilos de peso vivo
** Incluye la camada
*** Con base en la informacion de: Midwest Plan Service -USA-, 1993; American Society of Agriculture Engineers, 1992; Consejo Mexicano de Porcicultura, 1996.

Continuando con nuestro ejemplo, se trata de fertilizar praderas de pasto kikuyo para las cuales se nos ha recomendado una fertilización de 50 k de N/ha/pastoreo. Si tenemos una rotación de 35 días, esto es, 10.4 rotaciones/año, se necesitarán (10.4 x 50) 520 k de N / ha-año .

En el tercer paso del procedimiento, concluimos que a una dosis de 520 k de N/ha-año y con una producción anual de 9.041 k de N por la granja porcina, ella nos permite fertilizar 17.4 ha (9.041 /520). Este resultado del cálculo es fundamental, porque podría ser que la finca no contara con superficie disponible para utilizar el nitrógeno producido, y estaríamos frente a un grave problema de contaminación y desperdicio económico.

Suponiendo que la finca cuenta con 20 ha dedicadas al pastoreo las cuales serán fertilizadas en su totalidad con porcinaza, tenemos que vamos a aplicar 452 k de N / ha-año (9.041/20); esto es, 43.5 K de N /ha por rotación (452/10.4).

Como paso siguiente, partiendo de la cantidad de N que se produce diariamente y de la dosis de N que se debe aplicar, calculamos la superficie que se debe fertilizar con la porcinaza producida diariamente: (24.8 / 43.5) 0.57 ha/día (o 1.8 días/ha).

La información anterior permite calcular el número de días de porcinaza que debe aplicarse a cada potrero de la finca. Por ejemplo, si la producción diaria de nitrógeno en las excretas nos permite fertilizar diariamente 0.57 ha, un potrero de

2 ha requerirá la aplicación de 3.5 días de porcinaza, y un potrero de 3.5 ha requerirá la aplicación de la porcinaza producida durante 6 días, y así se debe calcular para todos y cada uno de los potreros o lotes de cultivo.

Como podrán darse cuenta, hasta el momento no hemos utilizado el volumen de porcinaza en nuestros cálculos, ya que el volumen de porcinaza producido diariamente es una función del uso de agua en la granja, mientras que la producción de nitrógeno no de pende de ello: en nuestro ejemplo, la granja produce diariamente 24.8 k de nitrógeno ya sea que se produzcan 20, 23 o 25 metros cúbicos de porcinaza.

El volumen diario de porcinaza se necesita para calcular el tiempo que debe permanecer el cañón de riego en cada sitio para realizar un correcta fertilización con porcinaza. Supongamos que en la granja se producen diariamente 25.000 litros de porcinaza y que el cañón que vamos a utilizar en nuestro ejemplo cubre un diámetro de 30 metros, esto es 706.9 metros cuadrados, o 0.0707 ha., con un caudal de 100 l/min.

Cada día tenemos 25.0000 litros y necesitamos 1.8 días de porcinaza por cada hectárea. Por lo tanto se deben aplicar 43.922 litros de porcinaza por hectárea (1.8 x 25.000). Lo que nos conduce a una necesidad de 3.110 lts. de porcinaza por cada 0.07 ha que es el área cubierta por el cañón (0.071 x 43.992).

Si el cañón descarga 100 litros de porcinaza por minuto, la aplicación debe ser de 31.1 minutos en cada sitio (3110 / 100).

En suma, el procedimiento permite calcular el número de días de porcinaza que debe recibir cada lote o potrero (independiente del volumen de porcinaza que se produzca diariamente) y el tiempo que debe permanecer en cada sitio el cañón con el que se aplica la porcinaza (el cual si está determinado por el volumen de porcinaza).

Cualquier cantidad adicional de porcinaza que se aplique se perderá como contaminación nitrogenada con un gran desperdicio económico.

2.2. Variación del inventario animal

En granjas con un solo lote de ceba o de precebos y que funcionan con sistema “todo dentro - todo fuera” el inventario de población porcina en pié varía a medida que transcurre el lote y con ello varía la cantidad diaria de fertilizante nitrogenado que se produce. En estos casos es recomendable calcular para cada período 2 o 3 semanas la cantidad de nitrógeno que se produce en un día.

Lo mismo ocurre en el caso de granjas de cría que no mantienen constante su inventario. Cada que se tenga un cambio importante en el inventario, debe calcularse la cantidad de nitrógeno que se produce en un día. Como medida de

seguridad, puede ser adecuado llevar un control mensual de la cantidad de nitrógeno producida en un día, lo cual debe hacerse con base en los registros de inventario que se manejan normalmente en toda granja.

Tabla 3. Variación de la producción diaria de nitrógeno en una granja de 200 cerdos de ceba que funciona " todo dentro - todo fuera "

Sema-na	Peso promedio k	Peso total k	Prod. N k / dia	Superficie a fertilizar m^2 / día	N / cerdo / día
1	22.5	4,500	2.0	406	0.010
3	32.5	6,500	2.9	586	0.015
5	42.5	8,500	3.8	767	0.019
7	52.5	10,500	4.7	947	0.024
9	62.5	12,500	5.6	1,113	0.028
11	72.5	14,500	6.5	1,291	0.032
13	82.5	16,500	7.3	1,469	0.037
15	92.5	18,500	8.2	1,647	0.041
17	102.5	20,500	9.1	1,825	0.046
Total N / ceba - k			703.4		3.52
Total N en 2.7 cebas / año - k			1,899.2		9.50
Has. a 520 k N / ha - año			**3.7**		0.02

2.3. Fertilización con porcinaza sólida

Al momento de la separación, la porcinaza sólida tiene 13 kilos de N por metro cúbico. De este, el 33% es nitrógeno amoniacal. Si la porcinaza sólida se almacena antes de su disposición a los campos de cultivo, comienza un proceso de pérdida de nitrógeno amoniacal y de humedad. En esta medida puede decirse que después de 7 días de almacenamiento, se obtiene una porcinaza con el 25 % de humedad y 8,6 kilos de nitrógeno por metro cúbico; estando todo el nitrógeno en forma orgánica. Del total de nitrógeno orgánico, sólo el 40% es inmediatamente disponible para la planta. Por lo tanto, por cada metro cúbico de sólidos se tienen 3,4 kilos de nitrógeno disponible y 5,1 kilos de nitrógeno no disponible inmediatamente.

1 m^3 de sólidos contiene:
3.4 k de N disponible
5.1 K de N no disponible
8.6 k de N total

El uso de los sólidos de la porcinaza en cultivos muy exigentes en la dosificación de nitrógeno disponible, como por ejemplo maíz y pastos en su etapa inicial, exige utilizar una fuente adicional de nitrógeno disponible. La recomendación de los expertos debe ser muy clara al respecto.

En algunas oportunidades, es posible y preferible contar con una caracterización de la porcinaza sólida obtenida después de varios análisis. Generalmente se obtiene el contenido de nitrógeno por kilo o por tonelada de porcinaza y no por metro cúbico (comúnmente una cifra entre 0,006 y 0,010 k de N por kilo de sólidos; equivalente a 6 - 10 kilos de N por cada tonelada de sólidos).

Adicionar a los suelos cantidades de nitrógeno por encima de las recomendaciones agronómicas (ya sea en la forma de porcinaza o de nitrógeno comercial) conduce a pérdidas de nitrógeno y por lo tanto de dinero. El nitrógeno perdido, no aprovechado por el cultivo, contaminará las aguas y el aire.

2.4. Sobrestimación de la superficie disponible

"De importancia primordial para el éxito en los sistemas en los días actuales es evitar asunciones demasiado optimistas en la evaluación de la producción de excreta, eficiencias de tratamientos, en el diseño de depósitos y sistemas de tratamiento y disposición a tierra. Asunciones de diseño demasiado optimistas en estas áreas han sido frecuentemente utilizadas para justificar la localización de una explotación en una determinada parcela de tierra que es realmente muy pequeña. Esta tranquilidad en el corto plazo termina en operaciones que muy probablemente conducirán ya sea a conflictos de olor o a sistemas inestables ambientalmente en la perspectiva del manejo de los nutrientes. Medidas para ahorrar costos en la selección del sitio y en el diseño de las instalaciones pueden conducir a costos excesivos por reajustes o reformas de difícil funcionamiento y conflictos de vecindad en años posteriores (Miner, 1995).

Uno de los problemas que puede presentarse muy fácilmente es la ampliación de las instalaciones para producción porcina sin ampliar las instalaciones para el manejo de excretas y sin verificar si la tierra de cultivo está en capacidad de utilizar todo el nitrógeno producido.

Bibliografía

ACHA, P. N. y B. Szyfres. Zoonosis y enfermedades transmisibles comunes al hombre y los animales. Organización Panamericana de la salud. Publicación científica No. 503. Seg. Edición. Washington, E.U.A. 1988. 989 p.

Asociación Colombiana de Porcicultores, CORNARE, CORANTIOQUIA. Manejo de elementos de la producción porcina que pueden causar efectos ambientales. Edición: Comité Operativo del Convenio de Concertación para una Producción Más Limpia entre el Subsector Porcícola y Ambiental del Departamento de Antioquia. 1997.155 p.

ASPERT, Van. Aspectos de excretas porcinas en Europa. En: Manejo de aguas residuales y excretas porcinas en México - Seminario. Consejo Mexicano de Porcicultura, A.C. Cocoyoc, México, marzo 6-9. (Grabación transcrita, sin pie de imprenta). 1995.

ASPERT, Van. Manejo de aguas residuales y excretas porcinas en México Seminario. Consejo Mexicano de Porcicultura, A.C. Cocoyoc, México, marzo 6-9. Intervención en mesas de trabajo. (Grabación transcrita, sin pie de imprenta). 1995

ASAE. Seventh International Symposium on Agricultural and Food Processing Wastes (ISAFPW95)- Proceedings. Chicago, Illinois. ASAE – the Society for Engineering in Agricultural, Food, and Biological Systems. St Joseph Ml- USA. 1995.

BATLLÓ Colominas, M. La problemática atmosférica de los residuos ganaderos. En: Residuos Ganaderos - Jornadas técnicas. Fundación “la Caixa”, Barcelona; Editorial Aedos S.A. Primera edición. 1993. P. 59-73.

CMP. Manejo de aguas residuales y excretas porcinas en México – Seminario. Consejo Mexicano de Porcicultura, A.C. Cocoyoc, México, marzo 6-9. (Grabación transcrita, sin pie de imprenta). 1915.

BAENA L., V. y M. A. Baena L. Nuestro pueblo Donmatias. Seg. Ed. Litoarte Ltda. Medellín, Colombia. 1989. 220 p.

BOYD, W. La experiencia de Estados Unidos. En: Manejo de aguas residuales y excretas porcinas en México - Seminario. Consejo Mexicano de Porcicultura, A.C. Cocoyoc, México, marzo 6-9. (Grabación transcrita, sin pie de imprenta). 1995.

BOYD, W. Manejo de aguas residuales y excretas porcinas en México – Seminario. Consejo Mexicano de Porcicultura, A.C. Cocoyoc, México, marzo 6-9. Intervención en mesas de trabajo. (Grabación transcrita, sin pie de imprenta). 1995

CADAVID M., L. J. Mejoramiento de la fertilidad del suelo en base a residuos de porquerizas. En: Suelos Ecuatoriales, Revista de la Sociedad Colombiana de la Ciencia del Suelo. Vol. XIII, No. 1, 1983. p:82-93.

CANN, C. La polución producida por los compuestos azoados. Alteraciones del medio ambiente por los desechos zootécnicos. En: Residuos Ganaderos – Jornadas Técnicas. Fundación "la Caixa", Barcelona; Editorial Aedos S.A. Primera edición. 1993. P 39-45.

CASTILLÓN, P. Valoración agronómica de las deyecciones de los animales. En: Residuos Ganaderos - Jornadas técnicas. Fundación "la Caixa", Barcelona; Editorial Aedos S.A. Primera edición. 1993. P 131-141.

CERVANTES de S., M. 1944. El ingenioso hidalgo Don Quijote de La Mancha. Parte segunda, Cap XII. Espasa-Calpe, S.A. Madrid. Vol. 5 de 8. 345 p.

COLL B., D. La intensificación ganadera como proceso de producción de residuos. En: Residuos Ganaderos - Jornadas Técnicas. Fundación "la Caixa", Barcelona; Editorial Aedos S.A. Primera edición. 1993. P 5-15.

Council for Agricultural Science and Technology. Integrated animal waste management. Task Force Report No 128, November. 1996.

COPELAND D., J. and J. S. Hipp, - A. Environmental laws impacting Iowa livestock producers. National Center for Agricultural Law Research and Information. University of Arkansas School of Law. USA. 1994105 p.

COPELAND D., J. and J. S. Hipp, - B. Environmental laws impacting Illinois livestock producers. National Center for Agricultural Law Research and Information. University of Arkansas School of Law. USA. 1994100 p.

COPELAND D., J. and J. S. Hipp,. Environmental laws impacting Missouri livestock producers. National Center for Agricultural Law Research and Information. University of Arkansas School of Law. USA. 1994 - C 105 p.

COPELAND D., J. and J. S. Hipp, Environmental laws impacting Minnesota livestock producers. National Center for Agricultural Law Research and Information. University of Arkansas School of Law. USA. 1994 - D 105 p.

FRIENDSHIP, R. Too little water, most frequent problem. International Pigletter, Vol. 6, No. 9, November. 1986. P. 33-34.

GEOHRING, L. D. and H M. van Es. Soil hydrology and liquid manure applications. In: NRAES, 1994. Liquid manure application systems. Design, Management and Environmental Assessment. Proceedings from the liquid manure application system conference. Rochester, New York. Northeast Regional

Agricultural Engineering Service - Cooperative Extension. 1994. P 166-174.

GIRALDO, S. Crisis ecológica del planeta. En: Manejo de excretas Poprcinas e impacto ambiental, Seminario Asociación Colombiana de Porcicultores. Bogotá, Pereira. 1996. P. 1-29.

GO, Antthony, La experiencia de Singapore. En: Manejo de aguas Residuales y excretas porcinas en México - Seminario. Consejo Mexicano de Porcicultura, A.C. Cocoyoc, México, marzo 6-9. (Grabación transcrita, sin pie de imprenta). 1995.

Gómez G., L. J. Apuntes para una historia de la producción animal. Universidad de Antioquia, Dpto. de Publicaciones, 1ra. Ed. Medellín, Colombia. 1990. 122p.

GÓMEZ G., M. "Marranada" orgánica le quita el aire a Donmatías. El Tiempo, Mayo 12, . 1995p 14c.

HAMILTON, N. D. A Livestock producer´s legal guide to: nuisance, land Use control, and environmental law. American Farm Bureau Federation; Drake University Agricultural Law Center. Des Moines, Iowa. 1992. 176 p.

HARRIS, M.. Vacas, cerdos, guerras y brujas. Los enigmas de la cultura. Alianza Editorial, El libro de bolsillo. Madrid, 1980. 235 p.

HUBER, D., B. Joem, D. Jones, A. Sutton, J. Healy, P McLoud, J. Wilcox Swine manure management planning. Purdue University Cooperative Extension Service, Indiana Soil Conservation Service. West Lafayette, USA.ID-205. . 1994. 28 p.

IGAG. Instituto Geográfico Colombiano Agustín Codazzi. Suelos y bosques de Colombia. Santafé de Bogotá. (citado por Murgueitio y Preston, 1992). 1988.

JOHNSON, J., M. Loux, G. Ropp, J. Adams. (S. F.). Best Management practices. Minimizing agricultural impact on the environment. Department of Agronomy, The Ohio State University, Ohio Cooperative Extension Service. AGF-207. 4 p.

JOKELA, W., D. Côté. Options for direct incorporation of liquid manure. En: In: NRAES-79. Liquid manure application systems. Design, Management and Environmental Assessment. Proceedings from the liquid manure apllication system conference. Rochester, New York. Northeast Regional Agricultural Engineering Service - Cooperative Extension. 1994. P 201-215.

MAFF. Code of good agricultural practice for the protection of water. Ministry of Agriculture, Fisheries and Food, Welsh Office Agriculture Department.

London. 1991. 80 p.

MAFF. Code of good agricultural practice for the protection of air. Ministry of Agriculture, Fisheries and Food, Welsh Office Agriculture Department. London. 1992. 74 p.

MAFF. Code of good agricultural practice for the protection of soil. Ministry of Agriculture, Fisheries and Food, Welsh Office Agriculture Department. London. 1993. 55 p.

MEADOWS, H. D., D. L. Meadows y J. Randers. Más allá de los límites del crecimiento. Ed. El País S.A., Aguilar S.A., Madrid. Tercera ed. 1994. 355 p. Trad. Del Ingles por C.A. Schvartz.

MEEUS-VERDINNE, K y J. P. Destain. Contaminación de los suelos por los desechos de la cría de ganado. En: Residuos Ganaderos - Jornadas Técnicas. Fundación "la Caixa", Barcelona; Editorial Aedos S.A. Primera edición. 199. P 25 36.

MOSER, M. A. Diseño de un sistema adecuado de manejo de excretas porcinas. Conferencia presentada en el: Seminario Internacional Alternativas en Producción y Comercialización para la Porcicultura. Agroexpo 95. Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural - Asociación Colombiana de Porcicultores. Bogotá. Grabación, Sin pié de imprenta. 1995 - A.

MOSER, M. A. Programas de fertilización con excretas porcinas sin procesar. Conferencia presentada en el: Seminario Internacional Alternativas en Producción y Comercialización para la Porcicultura. Agroexpo 95. Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural - Asociación Colombiana de Porcicultores. Bogotá. Grabación transcrita, Sin pié de imprenta. 1995 - B

MOSER, M. A. Manejo de aguas residuales y excretas porcinas en México - Seminario. Consejo Mexicano de Porcicultura, A.C. Cocoyoc, México, marzo 6 9. Intervención en Mesas de Trabajo. (Grabación transcrita, sin pie de imprenta). 1995 - C.

MOSER, M. A. Estiércol de cerdo: recolección, tratamiento y uso como fertilizante para cultivos. Porcicultura Colombiana. No 41, En. - Feb. P. 11-19. 1996.

MPCA - Minnesota Pollution Control Agency, Rules Regulation and Air Quality Standards, s. f. Odorous emisions (7011.0300 - 7011.0330), p. 209-212.

MUÑOZ A., R. Uso de residuos de origen animal en la producción de cultivos. En: Suelos Ecuatoriales, Revista de la Sociedad Colombiana de la Ciencia del Suelo. Vol. XIII, No. 1, 1983. p:94-104.

MURGUEITIO, E. y T. R. Preston. Los sistemas sostenibles de producción como respuesta a la crisis de la producción pecuaria tropical. Industria y Producción Agropecuaria, Año 1, Jul -Sep, 92. 1992. P. 15-28.

NPPC - National Pork Producers Council. Guide to environmental quality in pork production. Des Moines, Iowa, USA. 1992. 31p.

NRAES - Northeast Regional Agricultural Engineering Service. Liquid manure application systems, Design, Management and Environmental Assessment. Proceedings from the liquid manure apllication system conference. Rochester, New York. Northeast Regional Agricultural Engineering Service – Cooperative Extension. 1994. 220 p.

OROZCO P., F.E. Uso de la porcinaza como materia orgánica para los suelos. En: II Curso Internacional de Porcicultura. Medellín, Colombia. COLVEZA. 1983.

OSORIO, W. y J. Franco. Profesores de la Facultad de Ciencias, Departamento de Ssuelos, y Facultad de Ciencias Agropecuarias, Departamento de Recursos Pecuarios, Universidad Nacional Sede Medellín. Comunicación personal. 1996.

OSPINA, M. Programa de pastos y forrajes, Coopperativa Lechera de Antioquia - COLANTA. Comunicación personal. 1996.

PIVA, G., A. Prandini y M. Mortiacchini. La alimentación como medio para reducir la acción contaminante de las deyecciones porcinas. En: Residuos Ganaderos - Jornadas Técnicas. Fundación “la Caixa”, Barcelona; Editorial Aedos S.A. Primera edición. 1993. P 119-129.

Po, C. Manejo de aguas residuales y excretas porcinas en México – Seminario. Consejo Mexicano de Porcicultura, A.C. Cocoyoc, México, marzo 6-9. Intervención en mesas de trabajo. (Grabación transcrita, sin pie de imprenta). 1995.

PULGARÍN N.S. y J.J. Molina. Ajuste de la aplicación de porquinaza a Partir de la determinación de nitritos y nitratos en aguas superficianles. Tesis, Universidad Nacional de Colombia. Medellín, 2000. 65p.

RANKIN, R. L. An economic evaluation of two waste management systems– A relative profitability study comparing slurry tank-injection systems to lagoon irrigation systems. Thesis, Master of Science in Veterinary Medical Scince, University of Illinois, Urbana-Champaign. 1993. 99 p.

ROBERTSON, A. M. . Farm Wastes Handbook. Publ. by the Scottish Farm

Buildings Investigation Unit, Aberdeen. 1977. 114p.

ROJAS E., A. y R Lora. Fertilización en diversos cultivos – Quinta aproximación. Instituto Colombiano Agropecuario - ICA, Subgerencia de Investigación, Sección Recursos Naturales. Santafé de Bogotá. Manual de Asistencia Técnica No. 25. 73 p. 1992.

ROSS, K. Impacto ambiental de las excretas porcinas. En: Manejo de aguas residuales y excretas porcinas en México - Seminario. Consejo Mexicano de Porcicultura, A.C. Cocoyoc, México, marzo 6-9. (sin pie de imprenta). 1995

SAA H., F. Separación y estabilización de sólidos y líquidos. En: Manejo De aguas residuales y excretas porcinas en México - Seminario. Consejo Mexicano de Porcicultura, A.C. Cocoyoc, México, marzo 6-9 1995..

SAFLEY, L.M. Designing and Planning your nutrient management program. En: Meeting the environmental challenge. Environmental symposium. Minneapolis, Minnesota. National Pork Producers Council, National Pork Board. 1993. Pg. 165 –176

SEGARRA, J. Utilización y manejo de los lodos de aguas residuales Urbanas con fines agrícolas. En: Suelos Ecuatoriales, Revista de la Sociedad Colombiana de la Ciencia del Suelo. Vol. XIII, No. 1, 1983. p: 151-173.

SEGARRA, J. Residuos Orgánicos. Aprovechamiento Agrícola como abono Y sustrato. Seminario internacional. Sociedad Colombiana de la Ciencia del Suelo Regional Antioquia, Universidad Nacional de Colombia Facultad de Ciencias Agropecuarias. Junio 27 y 28 de 1996. (Sin pie de imprenta).

SOLIVA T., M. Metodología analítica y expresión de resultados. En: Residuos Ganaderos - Jornadas Técnicas. Fundación “la Caixa”, Barcelona; Editorial Aedos S.A. Primera edición. 1993. P 106-117.

SUTTON, A.L., D.D. Jones, E.R. Collins, L. W. Jacobs, S. W. Melvin. Swine manure as a nutrient resource. Purdue University Cooperative Extension Service, West Lafayette, USA. PIH25. 1996. 12 p.

SUTTON, A.L., D.D. Jones, B.C. Joern, D.M. Huber. Animal manure as a plant nutrient resource. Purdue University Cooperative Extension Service. USA. ID-101. 13 p.

TAIGANIDES, E. P. Pig Waste management and recycling. The Singapore experience. International Development Research Centre. Canadá. 1992. 368 p.

TAIGANIDES, E. P. Manejo de aguas residuales y excretas porcinas en México - Seminario. Consejo Mexicano de Porcicultura, A.C. Cocoyoc, México,

marzo 6-9. Intervención en Mesas de trabajo. (Grabación transcrita, sin pie de imprenta). 1995.

TAIGANIDES, E. P., R Perez, E. Girón. Manual para el manejo y control de aguas residuales y excretas porcinas en México. Consejo Mexicano de Porcicultura, A.C. México, 1996. 141 p.

TAYLOR, A.G. Illinois Livestock Waste Regulations, New Amendments. Illinois Environmental Protection Agency, Springfield, IL. Citado por: National Pork Producers Council. (1992). Guide to Environmental Quality In Pork Production. De Moines, Iowa. USA. 1991. 31 p.

URIBE, F. Director Operativo Secretaría de Agricultura de Antioquia. Comunicación personal. 1996.

VAN ASPERT. Aspectos de excretas porcinas en europa. En: Manejo de aguas residuales y excretas porcinas en México - Seminario. Consejo Mexicano de Porcicultura, A.C. Cocoyoc, México, marzo 6-9. 1995. (Grabación transcrita, sin pie de imprenta).

VAN DEN BROEKE, J, Legislación europea de medio ambiente en la críaç porcina. Anaporc (España), No. 134 (mayo), 1994. p 41 - 59.

VEENHUIZEN, M.A., Eckert, D.J., Elder K., Johnson J., F.L. William, K.M. Manel, G.ç Schnitkey. Ohio Livestock manure & wastewater management guide. The Ohio State University, USA. 1992. 79p.

WEEKS, S.A. Livestock manure systems for the 21st century: A systems perspective. In: NRAES. Liquid manure application systems. Design, Management and Environmental Assessment. Proceedings from the liquid manure apllication system conference. Rochester, New York. Northeast Regional Agricultural Engineering Service - Cooperative Extension. 1994. P 6-9.

WEIGAND, F. Separación de sólidos de excretas poprcinas. En: Manejo de aguas residuales y excretas porcinas en México - Seminario. Consejo Mexicano de Porcicultura, A.C. Cocoyoc, México, marzo 6-9. 1995.

ZUBLENA, J.P., J.C. Barker, J.W. Parker, C.M. Stanislaw. Soil Facts – Swiine Manure as a Fertilizer Source. North Carolina Cooperative Extension Service, North Carolina State University College of Agriculture & Life Science. USA. AG 439-4 WQWM-39. 1993. 6p.