



Taller de “Buenas prácticas de manejo de residuos y efluentes pecuarios”

Resumen

Ing. Agr. M. Sc. Martín Torres Duggan

1. Objetivo

Ofrecer bases conceptuales y herramientas prácticas para el aprovechamiento agronómico de residuos pecuarios en el marco de las buenas prácticas de manejo de nutrientes.

2. La problemática agronómica y ambiental del uso de residuos pecuarios

Cuando los residuos pecuarios se aplican conociendo su composición y se consideran las condiciones ambientales y edáficas que determinan la disponibilidad de los nutrientes (e.g. mineralización de fracciones orgánicas), diferentes estudios han demostrado su bajo impacto ambiental, inclusive menor al de fertilizantes tradicionales. Para ello es necesario la aplicación de buenas prácticas agrícolas que permitan aumentar simultáneamente la eficiencia de aprovechamiento de los nutrientes agregados y minimizar el impacto ambiental (posible contaminación del suelo, agua, aire).

Cuando no es posible reutilizar la totalidad de los residuos y efluentes en los propios establecimientos de producción animal intensiva, su aprovechamiento en cultivos de proximidad (ya sean forrajeros o de cosecha) representa una opción valiosa para mejorar los balances de nutrientes a escala regional y/o subregional. En general, estos son marcadamente negativos en la mayor parte de los sistemas de producción de granos y forrajes. Así, desde una perspectiva regional, los excedentes de nutrientes generados por la acumulación de residuos y efluentes en los establecimientos de producción animal intensiva permitirían cubrir parcial o totalmente la demanda de nutrientes de los cultivos, reduciendo la dependencia y los costos en el uso de fertilizantes tradicionales o complementando su uso, dependiendo del contexto productivo.

3. ¿Cuál es el panorama de uso de residuos pecuarios en Argentina?

En la Argentina el panorama de utilización de residuos pecuarios es poco favorable ya que a pesar de las deficiencias generalizadas de nutrientes y la degradación de suelos en una buena parte de los sistemas de producción de la Región Pampeana, la reutilización de residuos pecuarios es muy reducida, soslayándose por consiguiente su valor como fuente de nutriente y/o mejorador de suelos. Asimismo, el panorama se complica aún más teniendo en cuenta que el manejo actual de los efluentes y residuos orgánicos impacta negativamente sobre el ambiente, ya que la calidad de los tratamientos aplicados sobre mismos son inadecuados o poco efectivos para reducir su potencial contaminante, o bien directamente no se realiza ningún tipo de tratamiento de estabilización, vertiéndose directamente a cuerpos de agua o en zonas adyacentes a cuerpos de agua, representando un problema ambiental.

De acuerdo con un relevamiento realizado por Herrero (2014) en 329 establecimientos lecheros en las principales cuencas de producción, el 61% de los establecimientos dispusieron los



efluentes “tratados” (la mayor parte provenientes de una laguna de estabilización poco efectiva) en sitios que representan un riesgo para algún recurso hídrico, mientras que solamente el 17% de los purines provenientes de las lagunas estabilizadas se aplicaron como abono en algún tipo de cultivo y/o pastura. En otro estudio en donde se relevó el 20% de los productores de cerdos con más de 50 madres bajo sistemas de producción confinada y/o semiconfinada en la provincia de Córdoba, se observó que el 48% de los productores aplicaron los efluentes sin ningún criterio agronómico, mientras que el 44% los depositaron en lagunas donde permanecieron durante más de 10 años (Vanesa Pegoraro, com.pers). En igual sentido, si bien se carecen de relevamientos regionales, en sistemas de *feed lot* o en sistemas intensivos de producción aviar, la reutilización de los residuos sólidos en los propios establecimientos o en campos vecinos es poco frecuente. Por el contrario, es habitual la práctica de disponer el estiércol en potreros alejados y/o en áreas de acumulación sin aprovecharlos como fuentes de nutrientes o enmiendas de suelo. Esto trae aparejado, procesos de contaminación puntual del aire, suelo y agua en los sitios en donde se disponen los residuos, y por otro lado implica un derroche de recursos potencialmente valiosos que permitirían un significativo ahorro en costos de fertilización para los productores.

Si bien la posibilidad de re-utilizar los residuos pecuarios como recursos para el mejoramiento de los suelos y la nutrición vegetal es un objetivo agronómicamente deseable y que se ajusta a los principios del manejo responsable de suelos, es necesario el estímulo y la implementación marcos normativos modernos que se ajusten al estado de conocimiento científico y tecnológico vigente, y que al mismo tiempo ofrezcan beneficios económico concretos al productor agropecuario. Un ejemplo interesante en este sentido es la normativa recientemente desarrollada en Córdoba, en donde a partir del decreto 247/15 se exige a los productores que presenten un plan de aplicación y gestión de residuos pecuarios que debe ser redactado por un Ingeniero Agrónomo y presentado por un consultor ambiental inscripto en el RETECA. Dicho plan se debe presentar cada tres años e implica el análisis de los residuos y/o efluentes utilizados y del suelo receptor como así también del cálculo de balances de nutrientes. Es importante tener en cuenta que, si bien esta normativa representa un antecedente valioso, cada provincia y/o cada localidad podría tener que establecer su propio marco normativo teniendo en cuenta las características agro-ecológicas, productivas, económicas, sociales, etc. propio de la zona.

El panorama de reutilización de residuos pecuarios de la Argentina contrasta significativamente con el que se observa en otros países donde entre el 70 y 90% de los productores reutilizan los efluentes y residuos como abono en sus propios campos y/o lo comercializa fuera del establecimiento. En EE.UU se estima que más del 90% de las excretas generada en los establecimientos de producción ganadera intensiva se aplican como abono de cultivos (Roberto Maisonnave, com.pers). Evidentemente, en la Argentina los productores no están considerando y/o teniendo en cuenta el valor de estos materiales como recursos estratégicos para aportar nutrientes y mejorar la condición de fertilidad de los suelos. El manejo responsable de efluentes y residuos orgánicos pecuarios considerando el valor fertilizante de los mismos y las necesidades nutricionales de los cultivos permite maximizar la eficiencia de uso de los nutrientes aplicados y minimizar el impacto ambiental en los agro-ecosistemas. En la Figura 1 se muestra un esquema general de los principales factores que intervienen en la definición de un plan de aprovechamiento agronómico de residuos pecuarios.

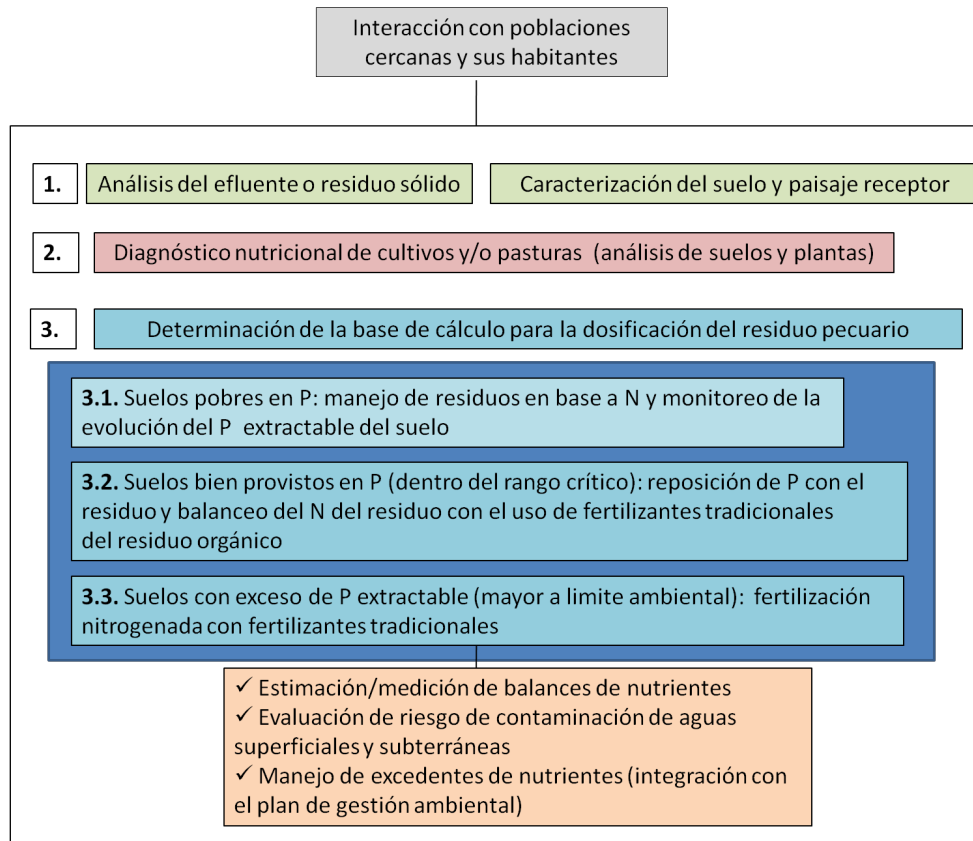


Figura 1. Principales factores a considerar en planes de aprovechamiento agronómico de residuos y efluentes pecuarios. Fuente: elaboración propia

4. Evaluación de los residuos pecuarios como fertilizantes

4.1. ¿Qué propiedades analizar en el laboratorio?

Para analizar la aptitud o calidad agronómica de los residuos pecuarios se deben considerar diferentes indicadores y/o propiedades que permiten predecir y/o estimar los posibles impactos sobre la calidad y/o capacidad productiva del suelo, como así también evaluar el aporte y disponibilidad de nutrientes. Una de las características más destacadas de los residuos de origen animal es su gran heterogeneidad y variabilidad en su composición, asociado al tipo de especie animal, estado fisiológico, sistema de alimentación, entre otros factores. Por ello, resulta imprescindible realizar un correcto muestreo y análisis de los residuos en diferentes momentos del año, como para ir generando una base de datos de resultados de análisis que permita ir ajustando los programas de fertilización a lo largo de los años. Existen algunos trabajos locales como Taverna et al. (2014), Maisonnave et al. 2015a; Maisonnave et al. 2015b que ofrecen detalles muy valiosos para la toma de muestras representativas de diferentes tipos de efluentes y residuos orgánicos pecuarios.

En la Tabla 1 se indican las variables que se deberían priorizar en el análisis de efluentes y residuos orgánicos de origen animal para su aprovechamiento agronómico.

Tabla 1. Variables de interés para considerar para el aprovechamiento agronómico de efluentes y residuos de origen animal.

Efluentes	Residuos sólidos
pH	pH
Conductividad eléctrica (CE)	CE
Sólidos totales	Materia orgánica (MO) y/o Carbono orgánico
Nitrógeno total	Nitrógeno total
Nitrógeno como amonio (N-NH ₄ ⁺)	Relación C/N
Nitrógeno como nitrato (N-NO ₃ ⁻)	Nitrógeno como amonio (N-NH ₄ ⁺)
Fósforo total	Nitrógeno como nitrato (N-NO ₃ ⁻)
Potasio	Fósforo total
Sodio	Azufre de sulfatos (S-SO ₄ ²⁻)
Calcio	Azufre total
Magnesio	Cationes y micronutrientes

Fuente: Elaboración propia

El correcto muestreo de los efluentes o residuos sólidos representa uno de los desafíos más importantes en el manejo de los mismos como fertilizantes y/o enmiendas. Se debe tratar de lograr una adecuada representatividad de las muestras y utilizar varias submuestras para mejorar la exactitud de los resultados analíticos. De ser posible el muestreo de los efluentes y residuos en el momento de aplicación es importante ya que permite disponer de información bastante aproximada sobre qué se está aplicando. Para ello se debe prever el tiempo de demora del laboratorio en enviar los resultados, procurando hacer una primera aplicación de prueba en una pequeña parcela una semana antes de comenzar la fertilización de los lotes y/o ambientes (como para disponer de los resultados de los análisis) o bien realizar la aplicación con dosis estimadas e ir ajustando las mismas a lo largo de los años a medida que se va generando la base de datos de análisis de fuentes y residuos.

4.2. ¿Cómo estimar el aporte de nutrientes?

A diferencia de los fertilizantes convencionales, la disponibilidad de nutrientes derivados de los residuos pecuarios depende del tipo de material, composición química y de las condiciones ambientales imperantes durante su aplicación, en particular temperatura y disponibilidad hídrica. En general la base de cálculo de la dosis de aplicación se basa en el contenido de N en sus diferentes fracciones, tanto del N mineral (inmediatamente asimilable por las plantas) y el N orgánico, que requiere mineralizarse para contribuir con N disponible. El gran desafío en el manejo de efluentes y residuos orgánicos pecuarios es poder predecir o estimar la magnitud de la mineralización de N, premisa necesaria para poder sincronizar la misma con la demanda de los cultivos.

De la fracción de N orgánica, la tasa de mineralización depende principalmente de la relación C/N del residuo, del tipo de compuesto nitrogenado y de las condiciones ambientales, principalmente

temperatura y humedad edáfica. Así, es posible estimar que alrededor del 50-60% del N del estiércol vacuno podría estar disponible para ser aprovechado durante el ciclo de cultivo. Algunos trabajos locales sin embargo muestran tasas de mineralización del 20-30% del N en residuos de *feed lot* estabilizados. Por consiguiente se puede considerar que el rango posible de mineralización es amplio y se podría ubicar entre 30 y 60%. Asimismo, en condiciones de campo, luego del primer año de aplicación, la tasa de mineralización del N orgánico de los residuos o estiércoles se reduce marcadamente, alcanzando valores del orden del 20% en el caso de estiércoles frescos.

La tasa de mineralización del N de residuos compostados en forma profesional es significativamente menor, típicamente del 10% del N orgánico durante el primer año de aplicación. En el segundo año de aplicado el abono compostado la mineralización se reduce a 1-3%, que es una tasa de degradación que se puede esperar en el suelo en su condición natural.

En cuanto al aporte de P de residuos pecuarios, existen diferencias importantes entre efluentes (<10% de materia seca) y residuos sólidos (>20% de materia seca). En términos generales, la concentración de P en efluentes es muy baja y 90% aprovechable (Roberto Maisonnave, com.pers), mientras que la disponibilidad de P en residuos orgánicos es mas variable dependiendo de la composición química del material que a su vez depende de la especie animal, tipo y sistema de alimentación, consumo de agua, entre otros factores. Como valor orientativo, el 50-60% del P presente en residuos orgánicos podrían estar disponibles inmediatamente, aunque un porcentaje bastante mayor sería aprovechable por las plantas si se tiene en cuenta la disponibilidad durante los primeros dos o tres años de aplicación (e.g. 90-100%).

6. ¿Cómo definir los momentos y formas de aplicación?

La fertilización con efluentes y residuos orgánicos se deben basar en los mismos principios que se aplican al manejo de cualquier fertilizante. En este contexto, la consideración del modelo de las 4C (o 4R en inglés) del uso de la dosis, fuente, momento y forma de aplicación correctos, constituye un modelo muy extendido y crecientemente adoptado tanto a nivel académico, como así también por la industria de fertilizantes (Figura 2).

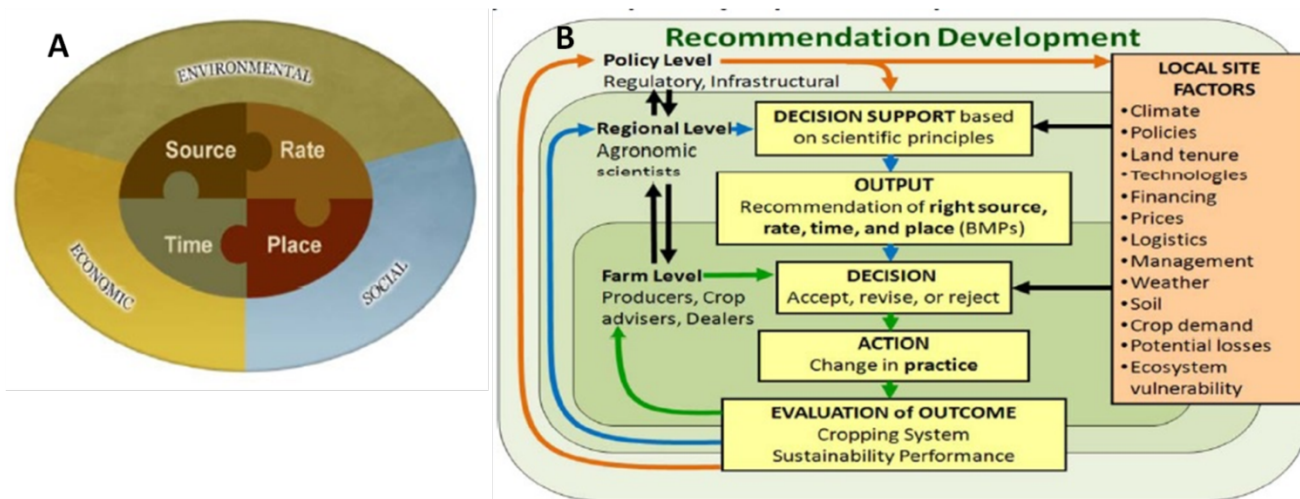


Figura 2. A. Modelo 4C como marco de referencia para el manejo de nutrientes. B. Implementación práctica y validación del modelo 4C en condiciones locales de producción. Fuente: Adaptado de



Johnston & Bruulsema (2014)

En situaciones en donde la fertilización con los efluentes y residuos orgánicos se hace en base a N, es muy importante tratar de maximizar la sincronía entre oferta y demanda del nutriente, realizando la aplicación en momentos cercanos al aprovechamiento del cultivo. Esto permite minimizar el riesgo de pérdidas de N fuera del sistema suelo-cultivo, ya sea por lixiviación de nitratos o a través de emisiones gaseosas.

Cuando el efluente y/o residuo sólido tiene un contenido significativo de N en forma de amonio, debido a la reacción alcalina de este tipo de materiales, la aplicación superficial, en general, conduce a pérdidas significativas de N por volatilización de amoníaco cuando se presentan condiciones ambientales predisponentes como temperaturas mayores a 15 o 20°C.

La residualidad generada por los residuos pecuarios (e.g. residualidad de P) puede ser aprovechada en el manejo de la nutrición de los diferentes cultivos que configuran las rotaciones. Así, es posible sumar a los residuos de origen animal como recursos valiosos dentro del proceso de intensificación sustentable, mejorando la disponibilidad de nutrientes y fertilidad de los suelos, como así también reduciendo las erogaciones en fertilizantes (“ahorro parcial en fertilización”).

7. ¿Cómo caracterizar y monitorear la calidad de los suelos tratados con residuos pecuarios?

La implementación de programas de aprovechamiento agronómico de residuos pecuarios requiere del monitoreo de la fertilidad de los suelos tratados con este tipo de materiales, con el fin de analizar tanto los impactos de interés agronómico (e.g. mejoras en los niveles de MO, concentración de nutrientes, etc.) como así también prevenir y eventualmente mitigar posibles impactos ambientales desfavorables. Dentro de éstos últimos, la contaminación de aguas superficiales a través del escurrimiento de formas solubles de P y la contaminación de aguas subterráneas derivadas de la lixiviación de nitratos son los principales procesos a prevenir y monitorear. Por ello, el plan de manejo de nutrientes se debe integrar a un sistema de gestión ambiental que debería incluir la medición de la profundidad y calidad de la capa freática.

Los principales objetivos del monitoreo de suelos tratados con efluentes y residuos pecuarios son:

- ✓ Evaluar los cambios en el pH, salinidad y sodicidad
- ✓ Conocer las modificaciones en la fertilidad edáfica (e.g. aumento del contenido de MO, P extractable o micronutrientes metálicos).
- ✓ Analizar la concentración y patrón de distribución de nitratos en el perfil de suelos que recibieron aplicaciones frecuentes de residuos o efluentes, evaluando el riesgo de lixiviación de nitratos.
- ✓ Conocer la evolución temporal de la concentración de nutrientes poco móviles como P extractable y/o micronutrientes (e.g. Zn) que suelen aumentar marcadamente en suelos que reciben aplicaciones frecuentes de residuos orgánicos pecuarios

- ✓ Prevenir posibles impactos ambientales, como podría ser la acumulación de P extractable en el suelo y el posible escurrimiento de formas solubles hacia cuerpos de agua superficial

En cuanto al diseño y tipo de muestreo de suelos, para el monitoreo de condiciones de salinidad y sodicidad se recomienda realizar muestreos dirigidos georreferenciados en una o más estaciones de muestreo. Por el contrario, en situaciones en donde, además de querer conocer la evolución temporal de la variable de interés, se van a tomar decisiones a escala de lote y/o ambiente (e.g. fertilización fosfatada), se debería llevar a cabo un muestreo compuesto representativo del ambiente o lote de referencia. En la Tabla 2 se muestran recomendaciones generales para la evaluación y monitoreo de suelos que reciben aplicaciones periódicas de residuos pecuarios.

Tabla 2. Recomendaciones generales para el muestreo de suelos en programas de aprovechamiento agronómico de residuos pecuarios.

Indicador	Tipo de muestreo	Frecuencia	Profundidad	Intensidad de muestreo
pH, CE, % de sodio intercambiable	Dirigido georreferenciado	Anual o bianual	0-60 cm cada 20 cm	Muestreos dirigidos georreferenciados: 10-15 submuestras Muestreos compuestos en lotes: variable (>20 submuestras)
P extractable	Compuesto simple o por ambientes	Anual o bianual	0-20 cm	~40-50 submuestras
Zn (DTPA)	IDEM	IDEM	0-20 cm	> 20 submuestras
N de nitratos	IDEM	Anual y en pre-siembra	Mínimo 0-60 cm, ideal hasta 1 m	~20 submuestras
S de sulfatos	IDEM	IDEM	0-60 cm	IDEM

Fuente: elaboración propia.

Ejemplo de fertilización nitrogenada con residuos de *feed lot*

Datos:

- ✓ Cultivo: maíz para silo
- ✓ Suelo: Arguidol típico, franco (serie Vendado Tuerto)
- ✓ Dosis de aplicación de N: 50 kg ha⁻¹ (definida en base a un adecuado diagnóstico que implica la evaluación del lote a través del muestreo y análisis de suelos)
- ✓ Análisis del residuo: se realizó el muestreo y análisis de diferentes muestras de residuos de *feed lot* en distintos años y confeccionadas a partir del muestreo en pilas estabilizadas de más de 6 meses.
- ✓ Factor de disponibilidad de N del residuo orgánico: 50% del N (el aporte de N inorgánico, por su baja concentración, se lo considera agronómicamente insignificante)
- ✓ Factor de disponibilidad de P del residuo orgánico: 60% en el primer año y 100% en los tres años posteriores a la aplicación.
- ✓ Manejo del P: reposición y enriquecimiento
- ✓ Necesidad de P: remoción estimada en 40 kg de P ha⁻¹
- ✓ Concentración actual de P extractable (P Bray 1, 0-20 cm): 12 ppm

Resultados del análisis de diferentes muestras de residuos de *feed lot* (mediana, n=15).

Variable	Unidad	Valor
pH	-	7,8
CE	dS m ⁻¹	15,1
MO	%	16,04
C	%	7,5
Humedad	%	20
N	%	0,69
P	%	0,49
C/N	-	10,2
N-NO ₃ ⁻	mg kg ⁻¹	0,45
N-NH ₄ ⁺	mg kg ⁻¹	42

Resolución del caso:

- ✓ **Dosificación de N:** para dosificar 50 kg de N ha⁻¹ con un residuo orgánico que tiene 0,34% de N disponible (3,4 kg de N por tonelada) se debe aplicar 14,7 ton de residuo ha⁻¹. El agregado del residuo implica un ahorro de 38 USD ha⁻¹ en fertilización nitrogenada
- ✓ **Aporte de fósforo:** cada tonelada de residuo aportará ~3 kg de P disponible en el primer año de aplicación (60% del contenido de P en el residuo). Por consiguiente, el agregado de 14,7 ton ha⁻¹ de residuo aportará ~44 de P ha⁻¹ (equivalente a 86 kg de MAP ha⁻¹ o de 95 kg de SFT ha⁻¹). A precios de junio de 2017, significa un ahorro de 44 USD ha⁻¹ en fertilización fosfatada
- ✓ **Momentos y formas de aplicación:** considerando que la fracción de N amoniacal es despreciable agrónomicamente (fracción más susceptible a la volatilización de amoníaco) y que el abono orgánico se puede aplicar sin problemas en cobertura total con equipos estercoleros, se debería realizar la aplicación en pre-siembra. Para garantizar la homogeneidad en la distribución del residuo sobre el terreno, se debería realizar una calibración y evaluación de la superposición de pasadas de un modo similar a como se suele hacer cuando se realiza la aplicación de fertilizantes granulados a través de máquinas esparcidoras de sólidos.
- ✓ **Monitoreo de suelos:** la aplicación frecuente de residuos orgánicos utilizados como fuentes de N producen excedentes de P a lo largo de los años que requieren de su evaluación y monitoreo. Así, es importante medir la concentración del P extractable en el suelo cada 2 o 3 años, como mínimo, o idealmente en forma anual. La fertilización con residuos orgánicos se debería interrumpir cuando se superan límites ambientales de concentración de P extractable en el suelo. Se deben considerar referencias de concentración crítica de P extractable calibradas a nivel regional para las condiciones agro-ecológicas particulares de cada zona productiva. El monitoreo también permitirá evaluar la evolución de la salinidad y sodicidad de los suelos, que se debería mantener dentro de rangos que no limiten el crecimiento y rendimiento de los cultivos
- ✓ **Efectos sobre la fertilidad del suelo:** si bien este ejemplo didáctico tiene como finalidad mostrar cómo se puede estimar la dosificación con N utilizando un residuo pecuario, es importante tener en cuenta que la aplicación frecuente de cualquier abono orgánico produce cambios significativos en la condición física, química y biológica de los suelos. Algunos de los efectos favorables que se observan en suelos tratados con residuos orgánicos son: incremento en contenido de MO y en la capacidad de retención de agua, aumento en la tasa de infiltración de agua, reducción de la compactabilidad, mejoras en la estructura, incremento en la disponibilidad de nutrientes como P extractable y micronutrientes metálicos, entre otros.

8. ¿Cómo mejorar la eficiencia de uso de nitrógeno de residuos y efluentes pecuarios?

El principal desafío agronómico y ambiental del manejo de efluentes y residuos pecuarios consiste en lograr maximizar la eficiencia de uso del N aplicado (EUN) y la eficiencia de

recuperación del N agregado (ERN). Esta meta se puede alcanzar tanto a través de la implementación de buenas prácticas de manejo de N, como así también considerando el uso de estabilizadores de N y otras tecnologías menos adoptadas (Tabla 3).

Tabla 3. Pautas agronómicas y tecnológicas para mejorar la EUN y la ERN en suelos que reciben aplicaciones periódicas de efluentes y/o residuos orgánicos pecuarios.

Momentos de aplicación	Formas de aplicación	Uso de estabilizadores de N
<ol style="list-style-type: none"> 1. Aplicar en momentos próximos al aprovechamiento de N del cultivo 2. Evitar dentro de lo posible aplicaciones en momentos con alta temperatura ambiente (riesgo de volatilización de amoníaco) o en contextos en donde se pueden presentar pérdidas significativas por lixiviación de nitratos y/o desnitrificación (e.g. lluvias abundantes/anegamiento temporario) 3. Evitar la aplicación cuando el suelo esté excesivamente húmedo, ya que podría determinar tanto fenómenos de lixiviación de nitratos como así también escurrimientos de formas de P solubles hacia cuerpos de agua 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Residuos orgánicos: en aplicaciones en cobertura total sin incorporación durante condiciones de elevada temperatura, procurar realizar las aplicaciones temprano a la mañana o a la noche 2. Efluentes: utilizar equipos que inyecten y/o localicen el producto en el suelo sin proyectar el material en el aire. <p>El fertirriego con efluentes en equipos de riego complementario tipo pivote central puede ser una opción cuando el % de MS del efluente es muy bajo (<4%). Cuando el % de MS es mayor se requiere el uso de equipamiento específico para manejar la carga hidráulica y el posible taponamiento de emisores.</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. En algunos países como EE.UU se utilizan estabilizadores de N (i.e. inhibidores de la ureasa y/o nitrificación) que se pueden mezclar con los efluentes y residuos orgánicos previos a su aplicación a campo, sobre todo en aplicaciones en cobertura total sin incorporación. 2. La mezcla de zeolita natural y residuos orgánicos es una opción interesante para incrementar la eficiencia de recuperación de N cuando los residuos se aplican sobre la superficie del suelo sin incorporar. También existen experiencias promisorias en EE.UU donde se observó que la mezcla de zeolita y residuos orgánicos al inicio del proceso de compostaje reduce las pérdidas de N durante el proceso de preparación del compost, aumentando la concentración de N en el producto compostado. En Argentina se dispone de yacimientos de zeolitas con potencial agronómico.

Fuente: elaboración propia

9. Algunas reflexiones y consideraciones finales

La situación actual de manejo de residuos y efluentes pecuarios en la Argentina dista mucho ser adecuada, ya que se evidencia un muy escaso nivel de reutilización de los mismos para su aprovechamiento agronómico. Asimismo, la utilización actual de efluentes y residuos, por no sustentarse en los criterios de las buenas prácticas agrícolas, frecuentemente generan procesos de contaminación de suelos, agua y/o aire en los sitios de disposición final (impacto ambiental).

La escasa implementación de sistemas de tratamiento de fluentes efectivos en un contexto en donde una porción significativa de los mismos se terminan vertiendo a cursos de agua o bien en áreas con impacto sobre recursos hídricos, representa un riesgo ambiental significativo. En el caso particular de los establecimientos de tambo, en donde se dispone de información diagnóstica detallada sobre el tipo de tratamientos que se realizan y sobre la proporción de tambos que realizan



aplicación de efluentes como abono/fertilizante en las diferentes cuencas lecheras (e.g. Herero y Gil, 2008; Herrero, 2014), se debería trabajar intensamente desde la extensión rural para revertir el contexto. Así, se debería estimular la adopción de sistemas de tratamientos de efluentes como la propuesta por el INTA Rafaela (triple laguna) y sobre todo comunicando los beneficios agronómicos del uso de estos recursos como fuente de nutriente y mejoradores de la fertilidad de los suelos. Esta reflexión también es válida para otros sistemas de producción animal intensiva generadora de efluentes como por ejemplo los establecimientos de producción confinada o semi-confinada de cerdos, como así también sistemas de producción animal intensiva generadoras principalmente de residuos sólidos como los de *feed lot* y los producidos en galpones de producción de pollos parrilleros o ponedoras.

Se debería intensificar el esfuerzo por relevar la situación actual de gestión de residuos y de reutilización de los mismos en sistemas de producción de cerdo, aves y *feed lot*, en donde si bien se han llevado a cabo algunos trabajos de gran utilidad (e.g. Maisonnave et al. 2015a, b), es necesario disponer de un mayor nivel de detalle en el diagnóstico a nivel regional y subregional. Esto permitirá establecer las estrategias de extensión a cada zona productiva y mejorar la efectividad de la inversión en comunicación.

Es muy importante que las acciones de investigación y extensión rural consideren las múltiples opciones tanto para el tratamiento de residuos como así también para su aprovechamiento como fertilizante/enmienda en los propios establecimientos o en cultivos de proximidad. En situaciones en donde la generación de efluentes y residuos no permita su utilización total en el área de influencia, debería estimularse el desarrollo de emprendimientos y mercados para la utilización de residuos en la elaboración de compost destinados a cultivos intensivos (e.g. florales, forestales, hortícolas, frutícolas, ornamentales); generación de biogás; fertirriego, entre otros posibles destinos.

El panorama de manejo de residuos pecuarios de la Argentina es el opuesto al vigente en países desarrollados como EE.UU o regiones como Europa en donde la mayor parte de los residuos generados en los establecimientos de producción animal intensiva se los reutiliza como abono y/o fertilizante en los propios sistemas o bien en explotaciones de proximidad o para la generación de biogás, para su posterior transformación en energía térmica y/o eléctrica. Por otro lado, en EE.UU existe un esfuerzo colaborativo de diferentes organizaciones (e.g. EPA, Universidades, USDA) en unificar la comunicación resaltando los beneficios y también los posibles riesgos ambientales del uso de residuos animales, estimulando su aprovechamiento agronómico en el marco de las buenas prácticas agrícolas como pilar de la comunicación. En este sentido se debería evitar el debate "ambiental vs. agronómico", propendiendo hacia mensajes y/o estrategias de extensión que promuevan los principios científicos del manejo integrado y sustentable de nutrientes, que en definitiva permitirá mejorar significativamente el desfavorable contexto que se observa en la actualidad en la Argentina.

Los pilares centrales sobre los cuales se sustentan los planes de aprovechamiento agronómico de residuos y efluentes pecuarios son su análisis en laboratorio y la caracterización y análisis del suelo/paisaje que actuará como receptor de las aplicaciones. Para la situación argentina en donde prácticamente no se aplica ningún criterio de manejo, un muy buen primer paso sería promover la adopción de prácticas agronómicas de costo cero o de bajo costo como la realización de diagnósticos de necesidades de nutrientes (promoviendo el análisis de suelos), y el ajuste de las dosis de aplicación de los residuos y efluentes según las necesidades nutricionales en cada lote y/o ambiente de producción. En simultáneo, es necesario difundir la idea del monitoreo de suelos y aguas en los



propios establecimientos tanto para evaluar impactos positivos (e.g. mejoras en la disponibilidad de nutrientes y/o en la fertilidad edáfica), como así también para prevenir y/o mitigar posibles impactos ambientales negativos (e.g. contaminación de la capa freática, escurrimiento de P soluble, entre otros).

10. Bibliografía citada y recomendada

Barbazán, M; del Pino, A.; Moltini, C.; Hernández, J. y J. Rodríguez. 2011. Caracterización de materiales orgánicos aplicados en sistemas agrícolas intensivos del Uruguay. *Agrociencia Uruguay*. 15 (1). 82-92.

Bolton, A.; G.A Studdert y H.E Echeverría. 2004. Utilización de estiércol de animals en confinamiento como fuente de recursos para la agricultura. *Rev. Arg. Prod. Anim.* Vol 24 N° 1-2: 53-73.

De Haro-Marti, ME; M Chahine; H Neibling and L Chen. Composting of dairy manure with the addition f zeolites to reduce ammonia emissions. *Waste Worth* 2017. Material de extension de la Universidad de Idaho.

Del Pino, A.; C. Repetto, C. Mori y C. Perdomo. 2007. Patrones de descomposición de estiércoles en el suelo. *Terra Latinoamericana*. 26: 43-52

Eghball, B. y J.F. Power. 1994. Beef feedlot manure management. *J. Soil Water Conservation*. (49): 113-122.

Frioni, L. 2011. Biotransformación de residuos orgánicos. En: *Microbiología: básica, ambiental y agrícola*. Orientación Gráfica Editora. Capítulo 21. p 593-622.

Gambaudo, S.; S. Imhoff; M.E. Carrizo, M. Marzetti y S. Racca. 2014. Uso de efluentes líquidos de tambo para mejorar la productividad de cultivos anuales y la fertilidad del suelo. *Ciencia del Suelo* (Argentina). 32 (2): 197-208.

Gil, S.B. y M.A. Herrero. 2010. Manejo del estiércol y posibilidades de uso. En: *Suplementación y engorde a corral de vacunos*. Capítulo 3. M. Suárez (Ed). p 70-74.

Herrero, M.A y S.B Gil. 2008. Consideraciones ambientales de la intensificación en producción animal. *Ecología Austral* 18: 273-289.

Herrero, M. A. 2014. Manejo y tratamiento de estiércol y purines. En: *La producción animal y el ambiente*. M. A. Herrero; S. B. Gil, M. Rebuelto y G.M.I. Sardi (Eds). Bmpress. 97-126 p

Herrman, C. y M. Torres Duggan. 2016. Fertilizantes y enmiendas de origen mineral en la Argentina: caracterización y uso en la Argentina. En: *Suelos y Geología Argentina*. FX Pereyra y M Torres Duggan (Eds). Capítulo 13. Coedición de la Asociación Geológica Argentina y Asociaición Argentina de la Ciencia del Suelo. p 329-355.

Imhoff, S.; M.E. Carrizo, R. Martel; V. Lotto y O. Zen. 2014. Efluentes líquidos de tambo: efectos de su aplicación sobre las propiedades físicas de un Argiudol. *Ciencia del Suelo* (Argentina). 32 (2): 177-187.

Johnston, A.M. & T.W. Bruulsema, T.W. 2014. 4R nutrient stewardship por improved nutrient use efficiency. *Procedia Engineering* 83: 365-370.

Maisonnave, R; K Lamelas y G Mair. 2015a. Buenas prácticas de manejo y utilización de cama de pollo y guano. Secretaria de Agricultura, Ganadería y Pesca. Ministerio de Agroindustria. 42 pp.



Maisonnave, R; P Millares y K Lamelas. 2015b. Buenas prácticas de manejo y utilización de efluentes porcinos. Secretaria de Agricultura, Ganadería y Pesca. Ministerio de Agroindustria. 53 pp.

Mazzarino, M.J.; P. Satti y L. Roselli. 2012. Indicadores de estabilidad, madurez y calidad de compost. En: Comostaje en la Argentina: experiencias de producción, calidad y uso. M.J. Mazzarino y P. Satti (eds). Universidad Nacional de Río Negro. Orientación Gráfica Editora. p 13-28

Mumpton, F.A. 1999. La roca mágica: uses of natural zeolites in agricultura and industry. Proc. Natl. Acad. Sci. USA. Vol 96. p. 3463-3470.

Pordomingo, A.J. 2010. Captura, contención y manejo de efluentes y estiércol. En: Suplementación y engorde a corral de vacunos. Capítulo 3. M. Suárez (Ed). p 70-74.

Omar, L.; O.H. Ahmed; y N. M. A. Majid. 2015. Improving ammonium and nitrate release from urea using clinoptilolite zeolite and compost produced from agricultural wastes. *The Scientific World Journal*. Article ID 574201. 12 p.

Pegoraro, V.R.; Boccolini, M.; M.B. Aimetta; T. Baigorria y C.R. Cazorla. 2014. Influencia de la aplicación de efluente porcino sobre propiedades químicas y biológicas de un Argiudol típico (Córdoba, Argentina). *Ciencia del Suelo (Argentina)*. 32 (2):283-289.

Rimski-Korsakov, H. y R.S. Lavado. 2016. Contaminación del medio: aire y agua. En: Sustentabilidad de los agrosistemas y uso de fertilizantes. 3ª parte. Capítulo 8. R.S. Lavado (coordinador). p 169-181.

Rodríguez, M.B.; Suiffet, I. y MC Quinteros. 2005. Valoración agronómica de estiércol de feedlot aplicado al cultivo de soja. V Reunión Nacional científico-técnica de biología de suelo. 6-8/7/05. San Salvador de Jujuy. Resumen en Actas.

Rodríguez, M.B y M. Torres Duggan. 2015. Caracterización de los fertilizantes, enmiendas, abonos y su calidad agronómica. En: Fertilidad de suelos y fertilización en la Región Pampeana. Álvarez, R. (Ed). Facultad de Agronomía. Universidad de Buenos Aires. p 369-400.

Rodríguez, MB; Torres Duggan, M; Couchot, F; Castro, L. y G. Civeira. 2016. Destinos del nitrógeno en el sistema suelo-planta: efecto de la enmienda órgano-zeolítica. Actas del XXV Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. C.G. Cholaky y J.M. Cisneros (Editores). Universidad Nacional de Río Cuarto. ISBN 978-987-688-170-8. p 197.

Ruiz Díaz, D.A. ; J.E. Sawyer; y A. P. Mallarino. 2008. Poultry manure supply of potentially available nitrogen with soil incubation. *Agronomy Journal*. 100 (5): 1310-1317.

Ruiz Díaz, D.A.; J.E. Sawyer y A.P. Mallarino. 2011. On farm evaluation of poultry manure as a nitrogen source for corn. *SSSAJ*. 75 (2): 729-737.

Ruiz Díaz, D.A; J.E Sawyer y D.W. Barker. 2012. Residual poultry manure nitrogen supply to corn the second and third years after application. *Soil Science Society of America Journal*. Doi: 10.2136/sssaj2012.0075

Torres Duggan M. y M.B. Rodríguez. 2015. Biomasa y aprovechamiento de agua y nitrógeno de raigrás en un Hapludol éntico tratado con residuos de *feed lot* y zeolitas. En: Simposio Fertilidad 2015. Nutriendo los suelos para las generaciones del futuro. García y A. Correndo (Editores). p 217-225.

Torres Duggan, M. y MB Rodríguez. 2016. La fertilidad de los suelos en relación a la edafogénesis. En: Suelos y Geología Argentina. 2016. Una visión integradora desde diferentes campos disciplinarios. Capítulo 11.



Pereyra, F.X y M. Torres Duggan (editores). Asociación Argentina de la Ciencia del Suelo (AACS). Asociación Geológica Argentina (AGA). Universidad Nacional de Avellaneda (UNDAV). p 288-312.

Torres Duggan, M; MB Rodríguez, F Behrends Kraemer; P Fernández; L Castro y P Leal. 2017. Condición hidrofísica y química de un suelo Haplustol éntico tratado con zeolita y residuos de *feed lot*. Simposio Fertilidad 2017. Fertilizar AC e IPNI Cono sur p 240-248.

Taverna, MA; K García, MB Adorni. 2014. Procedimiento de muestreo de efluentes líquidos y residuos sólidos orgánicos generados en tambo. Ediciones INTA. 33 pp.

Trenkel, M.E. 2010. Slow and controlled release and stabilized fertilizers. An option for enhancing nutrient use efficiency in agriculture. IFA. Paris. 160 pp.

Woli, K., D.A. Ruiz Díaz; D.E Kaiser; A. P. Mallarino; y J.E. Sawyer. 2015. Field-scale evaluation of poultry manure as a combined nutrient resource for corn production. *Agronomy Journal*. 107 (5): 1789-1800.

Wyngaard, N; V. Videla; L. Picone; E. Zamuner y N. Maceira. 2012. Nitrogen dynamics in a feedlot soil. *J. Soil Sci. & Plant Nutr.* 12 (3): 563-574.

Zubillaga, M.S y A. Branzini. 2013. Abonos orgánicos. En: Fertilización de cultivos y pasturas. Sección 4. Capítulo 3. R. Alvarez, P. Prystupa, M.B. Rodríguez y C. Alvarez (Eds). p 583-612.