

UTILIZACIÓN DE DIGERIDO ANAERÓBICO DE PURÍN DE CERDO: ACTIVIDAD BIOLÓGICA DEL SUELO Y DESARROLLO VEGETAL

GASTÓN ALEJANDRO IOCOLI* & MARISA ANAHÍ GÓMEZ

Recibido: 14-07-14

Recibido con revisiones: 28-03-15

Aceptado: 29-03-15

RESUMEN

Con el objetivo de evaluar la respuesta de las comunidades microbianas y el desarrollo vegetal a la aplicación de digerido anaeróbico y su capacidad potencial de reemplazar los fertilizantes químicos, en el presente trabajo se evaluó la actividad biológica del suelo y el desarrollo del cultivo de lechuga (*Lactuca sativa* L.) luego de la aplicación de dosis crecientes de digerido anaeróbico de cerdo y comparando este con purín de cerdo y dos fertilizantes químicos, Urea y Urea + Fosfato diamónico (PDA). La actividad biológica del suelo se determinó trabajando en microcosmos por medio del desprendimiento de CO₂ y el desarrollo de plantas de lechuga se evaluó en macetas en invernáculo. En ambos casos, el diseño experimental fue completamente aleatorizado. La aplicación de dosis crecientes de digerido generó una respuesta lineal positiva tanto para la actividad biológica como para el desarrollo vegetal. La mayor actividad biológica a las 168 horas (h) correspondió al purín de cerdo, seguido por el digerido, la Urea, la Urea + PDA y finalmente el control. La activación de la microbiota se observó a las 6 h para el digerido, a las 12 h para los fertilizantes químicos y a las 24 h para el purín de cerdo. El mayor rendimiento de lechuga, medido en peso fresco, lo alcanzó el tratamiento con purín, seguido del digerido, el cual se diferenció del control pero no de los tratamientos con fertilizantes químicos. Se concluye que, en las primeras horas el digerido produce un rápido incremento en la actividad biológica y una respuesta positiva en el desarrollo del cultivo de lechuga, comparable con los fertilizantes químicos.

Palabras clave. Biogás - Fertilizantes - Digestión anaerobia - Dosis creciente.

UTILIZATION OF ANAEROBIC DIGESTATE OF PIG SLURRY: SOIL BIOLOGICAL ACTIVITY OF SOIL AND PLANT PRODUCTION

ABSTRACT

The objective of this study was to evaluate soil biological activity and lettuce (*Lactuca sativa* L.) development after applying increasing rates of pig digestate, pig slurry and two chemical fertilizers: Urea and Urea + Diamonium Phosphate (DAP). Soil biological activity was determined in microcosms by measuring CO₂ emission and lettuce development was evaluated in pots under greenhouse conditions. In both cases, a completely randomized experimental design was used. A linear positive response for both, biological activity and plant development, was observed after applying increasing doses of digestate. The highest biological activity was observed after 168 hours in pig slurry, followed by digestate, Urea, Urea + DAP and control. The microbiota activation was observed at 6 hours for digestate, at 12 hours for chemical fertilizers and 24 hours for pig slurry. Pig slurry achieved the highest lettuce fresh weight followed by digestate. The latter differentiated from control treatment, but not from the chemical fertilizer treatment. It is concluded that, in the first hours, the digestate produced a rapid increase in soil biological activity and a positive response in lettuce development, similar to what was observed with chemical fertilizers.

Key words. Biogas - Fertilizer - Anaerobic digestion - Increasing doses.

INTRODUCCIÓN

Tendiendo a un modelo industrial, el crecimiento de las producciones intensivas de animales multiplica tanto la cantidad de establecimientos como el número de animales en cada uno de ellos. Esto último baja los costos de producción pero da lugar a la generación de una gran cantidad de desechos orgánicos concentrados que implican un importante riesgo ambiental, pudiéndose generar graves eventos de contaminación (Kunz *et al.*, 2009). Dichos efectos incluyen lixiviado de nutrientes con la consecuente contaminación de aguas y emisiones gaseosas de CH₃, NH₄ y otros gases tóxicos (Gómez-Brandon *et al.*, 2013). El tratamiento de los residuos por digestión anaeróbica, a través de la disminución de la carga orgánica y su estabilización, puede reducir los riesgos de contaminación, disminuir el olor, los microorganismos patógenos y las semillas de malezas (Walsh *et al.*, 2012). A su vez genera biogás, energía renovable compuesta mayoritariamente por CH₄ y CO₂, y digerido anaeróbico (DA) que al aplicarse al suelo contribuye a preservar su fertilidad aportando materia orgánica, estimulando las comunidades bacterianas y regulando el ciclo de nutrientes en suelos agrícolas (Walsh *et al.*, 2012). A diferencia de los sistemas de tratamiento aeróbico este permite tratar los residuos generando un doble beneficio: el uso del biogás como fuente de energía y el aprovechamiento agrícola del DA.

A diferencia de los fertilizantes orgánicos, los fertilizantes químicos solo incorporan nutrientes específicos y no tienen un efecto directo sobre las condiciones físicas del suelo (porosidad, estabilidad de agregados, retención de agua, permeabilidad, etc.). Por el contrario, los fertilizantes orgánicos, además de aportar un gran número de nutrientes, mejoran rápidamente la fertilidad física del suelo y estimulan la actividad y diversidad microbiana (Shiralipour *et al.*, 1992; Carpenter-Boogs *et al.*, 2000).

La incorporación de fertilizantes orgánicos y químicos no solo genera una estimulación en el desarrollo vegetal, sino que influencia cambios en el tamaño, actividad y estructura de las comunidades microbianas del suelo (Walsh *et al.*, 2012; Egerton-Warburton *et al.*, 2007; Knorr *et al.*, 2005; Liu & Greaver, 2010).

La relación entre el crecimiento vegetal y la estructura de la comunidad microbiana es recíproca y se asocia a la habilidad de un ecosistema de secuestrar C (Strickland & Rousk 2010) y mantener el ciclo de los macronutrientes, principalmente C y N.

Las enmiendas orgánicas tradicionales como el estiércol, lodos residuales y compost han sido ampliamente

estudiadas. Sin embargo, la aplicación de DA y su impacto en el medio ambiente y la salud humana están aún poco explorados (Nkoa, 2014).

El digerido está compuesto principalmente por un remanente de compuestos orgánicos lábiles no degradados durante la fermentación anaeróbica (Bernal Calderon *et al.*, 2011), la fracción lignocelulósica de los restos orgánicos y biomasa microbiana (Frioni, 2011).

Bernal Calderon *et al.* (2011), para los digeridos anaeróbicos, definen que la estabilidad microbiana está asociada al contenido de compuestos fácilmente degradables que provocan una rápida activación de las poblaciones microbianas, mientras que la madurez se refleja por la ausencia de efectos fitotóxicos, principalmente por un alto contenido de ácidos orgánicos volátiles. Sin embargo, para el procesamiento aeróbico de los residuos orgánicos (compostaje), la estabilidad se define en términos de biodisponibilidad de la materia orgánica, refiriéndose a su grado de descomposición (Cooperband *et al.*, 2003).

Otros estudios (Montemurro *et al.*, 2010; Rotondo *et al.*, 2009; Aruani *et al.*, 2008; Lopez Mosquera *et al.*, 2003) demuestran que la lechuga es un buen cultivo indicador por su rápido desarrollo y sensibilidad a sustancias tóxicas. Por otro lado, es un cultivo hortícola muy difundido en el país que representa el 4% de la producción de hortalizas y el 55% entre los cultivos de hoja.

Debido a la escasa información disponible sobre el uso de DA en suelos y su efecto sobre las comunidades microbianas, se planteó como objetivos: (I) evaluar la actividad biológica del suelo y el desarrollo vegetal de lechuga luego de la aplicación de dosis crecientes de DA de cerdo y (II) comparar la respuesta de la microbiota del suelo y del cultivo de lechuga a la aplicación de DA con purín de cerdo, urea y urea más fosfato diamónico.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se realizaron dos ensayos: el primero, trabajando con dosis crecientes de digerido de cerdo que involucró dos experiencias; el segundo, comparando digerido de cerdo con purín y fertilizantes químicos (urea y PDA) que incluyó tres experiencias sobre la actividad biológica del suelo en microcosmos y el desarrollo de lechuga en invernáculo.

1. Evaluación con dosis creciente de DA

Se utilizó un suelo arenoso franco de la zona rural aledaña a Bahía Blanca extraído durante el mes de julio de los primeros 15 cm. El mismo presentaba pH 7,2 (potenciométrico en agua 1:2,5), 1,2 dm m⁻¹ de conductividad eléctrica (en extracto de saturación), 1,8% de materia orgánica, 13,63 ppm de N-NH₄, 15,03 ppm de N-NO₃ y 0,134% de N total (Kjeldahl).

El DA es el efluente de la digestión anaeróbica de purín de cerdo y fue extraído en el mismo mes de un criadero de la zona de Cnel. Pringles, a 170 km de la ciudad de Bahía Blanca, con pH 7,9, 22,9 dm m⁻¹ de conductividad eléctrica, 2195 ppm de N-NH₄, 120 ppm de N-NO₃, y 2500 ppm de N total (Kjeldahl). A partir del contenido de N total, se definieron las dosis aplicadas en cada tratamiento.

Tratamientos

T1- Control sin agregados; T2- DA 2 mL 100 g⁻¹ de suelo (5 mg Nt); T3- DA 4 mL 100 g⁻¹ de suelo (10 mg Nt); T4- DA 6 mL 100 g⁻¹ de suelo (15 mg Nt); T5- DA 8 mL 100 g⁻¹ de suelo (20 mg Nt).

Análisis Estadístico

Se utilizó un diseño completamente aleatorizado simple. El número de repeticiones se aclara en cada experiencia. Primero se compararon los tratamientos con el control mediante una prueba Dunnet a una cola (Tratamiento > Control) para todas las variables excepto para las edáficas en que el test fue a 2 colas, utilizando como CM error el del ANOVA simple correspondiente y evaluando cada muestreo separadamente. Se probó un ajuste lineal para el desprendimiento de CO₂ parcial para las 24 h y para el PFA. Los valores acumulados de desprendimiento de CO₂ se compararon por contrastes polinomiales y se realizó el ajuste lineal.

1.1. Dinámica de la actividad biológica del suelo con dosis creciente de DA

La actividad biológica se evaluó por el desprendimiento de CO₂ capturado en una solución de hidróxido de sodio y titulación por retorno con HCl (Pell *et al.*, 2005, Zibilske 1994). 100 g de suelo homogeneizado y tamizado en húmedo con tamiz de 2 mm se distribuyó en cada frasco de 750 cm³. Se humedeció el suelo hasta el 50% del porcentaje de saturación (PS) (Pell *et al.*, 2005) y se preincubaron una semana en estufa a 28°C. Luego, se les aplicaron los tratamientos y se humedecieron con agua destilada hasta alcanzar una humedad del 60% del PS; se les colocó un vial plástico de 50 mL por frasco con 30 mL de NaOH (0,25 N) y se incubaron en estufa durante 8 días a 28 °C.

Se determinó el CO₂ desprendido reemplazando el vial de NaOH y titulándolo con HCl (0,25N) a las 24, 48, 72, 96, 120, 144 y 192 h. Se realizaron tres repeticiones por tratamiento y tres blancos sin suelo.

1.2. Desarrollo del cultivo de lechuga con dosis crecientes de DA

Se desarrolló en un invernáculo del Departamento de Agronomía de la Universidad Nacional del Sur. Se utilizaron macetas de plástico rectangulares con una boca de 14,5 x 41 cm con 8 kg de suelo cada una. Se llenaron las macetas con el suelo previamente homogeneizado, se aplicaron al azar los tratamientos indicados en la sección 1 y se llevaron a capacidad de campo. Tres días después, se realizó el trasplante de

los plantines de lechuga colocando dos por maceta. Se utilizaron plantines de lechuga (*Lactuca sativa* L var. mantecosa amarilla). Se realizaron cuatro repeticiones. El riego se realizó por aspersión en forma automática verificando que el suelo se mantenga a capacidad de campo. La cosecha se realizó a los 60 días del trasplante.

Todas las determinaciones se realizaron al finalizar el ensayo. Para evaluar el desarrollo vegetal, se determinó el índice de verdor promedio de la 6^o, 7^o y 8^o hoja expuesta por planta con un equipo Chlorophyll Meter SPAD-502 Konica Minolta, el número de hojas, el peso fresco y seco de la parte aérea (PFA y PSA respectivamente), el porcentaje de humedad (%H) y el peso seco de las raíces (PSR). Para la determinación de los pesos secos, las muestras se secaron en estufa a 70 °C durante 48 h. En suelo se determinó el pH (potenciométrico en agua 1:2,5), conductividad eléctrica (en extracto saturado) y el contenido residual de N-NH₄, N-NO₃ y N- Total por el método Kjeldahl.

2. Comparación entre distintas fuentes de nutrientes

El suelo utilizado se extrajo del mismo lote descrito en el inciso 1 pero en este caso el muestreo se realizó en el mes de octubre. Los análisis presentaron un 7,3 de pH, 1,1 dm m⁻¹ de conductividad eléctrica, 1,9% de materia orgánica, 8,2 ppm de N-NH₄, 9,0 ppm de N-NO₃ y 0,135% de N total. El Purín de cerdo (estiércol + orina + agua de lavado) fue recolectado también en octubre del mismo criadero (inciso 1), con 341,6 ppm de N-NH₄, 36,4 ppm de N-NO₃ y 1176 ppm de N total (Kjeldahl). El DA contenía 1741,6 ppm N-NH₄, 120,4 ppm N-NO₃ y 3038,0 ppm N total (Kjeldahl). Se preparó una solución de urea y otra de Urea + PDA equiparando la dosis de nitrógeno del purín.

Tratamientos

Control: 8,5 ml de agua destilada 100 g⁻¹ de suelo; Digerido (DA): 3,3 mL + 5,2 mL de agua destilada 100 g⁻¹ de suelo; Purín: 8,5 mL 100 g⁻¹ de suelo; Urea: 8,5 mL 100 g⁻¹ de suelo; Urea + PDA (U+PDA): 8,5 mL 100 g⁻¹ de suelo. Este último tratamiento no se incluyó en la tercera experiencia.

Las dosis aplicadas corresponden a la misma cantidad de nitrógeno en todos los tratamientos (10 mg de nitrógeno total 100 g⁻¹ de suelo).

Análisis Estadístico

Se utilizó un diseño completamente aleatorizado simple. La comparación de medias se realizó mediante el test Tuckey ($p \leq 0,05$).

Dinámica de la actividad biológica del suelo

El procedimiento utilizado fue como el descrito en el inciso 1.1. Se determinó el CO₂ desprendido por titulación a las 24, 48, 72, 96, 120 y 168 h. Se realizaron tres repeticiones.

Evaluación de la activación de las comunidades microbianas presentes en el suelo

Se utilizó el mismo procedimiento que el descrito en actividad biológica pero reduciendo los períodos de determinación a 6, 12, 24 y 48 h, reemplazando el vial con NaOH y titulando con HCl. Se realizaron tres repeticiones. En un período corto de tiempo (6 h) el crecimiento microbiano es insignificante, por lo tanto la respuesta respiratoria es proporcional a la biomasa microbiana existente en el suelo (Höper, 2005). Este período de tiempo es insuficiente para que las comunidades microbianas se adapten al sustrato, por lo que la respuesta respiratoria refleja las características de las comunidades microbianas *in situ* (Schipper *et al.*, 2001).

Evaluación del desarrollo del cultivo de lechuga

El presente ensayo se desarrolló en invernáculo, de manera similar a la descrita anteriormente (inciso 1.), pero en este caso se utilizaron macetas de plástico de boca redonda con 2 kg de suelo de capacidad, colocando un plantín de lechuga por maceta. Se realizaron seis repeticiones.

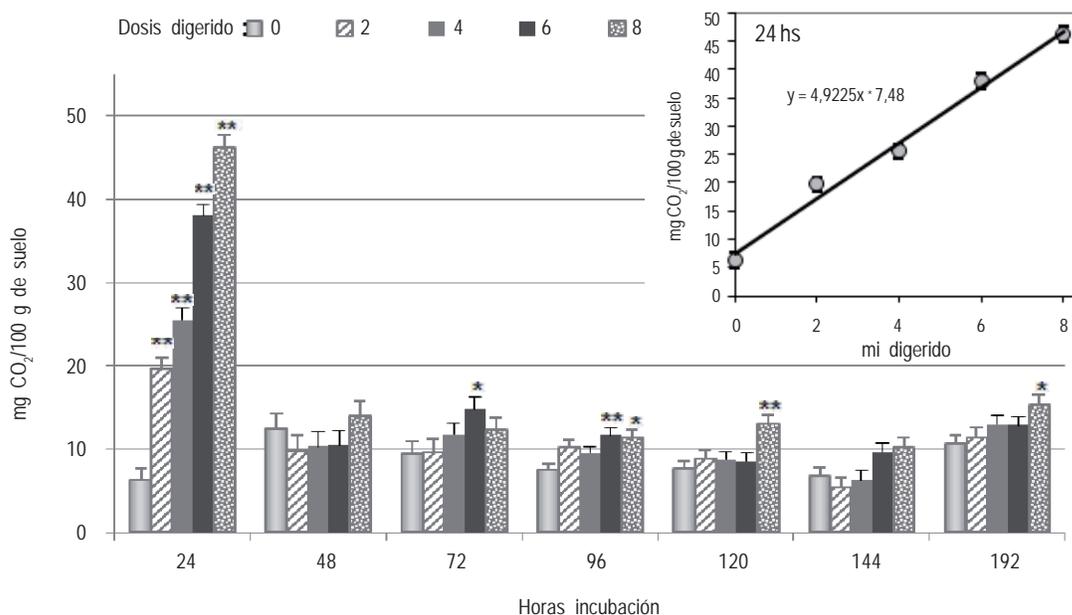
RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Dosis creciente de DA

Dinámica de la actividad biológica del suelo

Se registró una rápida respuesta de la actividad biológica a los tratamientos en las primeras 24 h (Fig. 1), coincidiendo con lo descrito por Marcato *et al.* (2009) al aplicar DA de purín de cerdo. La correlación de la actividad biológica con las dosis aplicadas presentó una pronunciada pendiente (4,922) y un ajuste elevado ($R^2=0,970$). Luego de las 48 h la respiración disminuyó acercándose a la respiración basal, representada en el control y solo se encontraron diferencias puntuales entre los tratamientos y el control sugiriendo que la fracción fácilmente degradable del DA fue completamente mineralizada. Marcato *et al.* (2009) sostienen que en un primer momento la mineralización del carbono del DA es comparable con el comienzo del proceso de compostaje y rápidamente este proceso se comporta como en el compost maduro, sin fase intermedia, coincidiendo con lo observado en este ensayo.

La marcada respuesta en las primeras 24 h se debió probablemente a que en este período se degradan las sustancias más lábiles, principalmente ácidos orgánicos y aminoácidos remanentes del proceso de biometanización, y al alto porcentaje de nutrientes disponibles con énfasis



*mayor que el testigo ($p < 0,05$) - ** mayor que el testigo ($p < 0,01$)

Figura 1. Emisión de CO₂ luego de aplicar dosis crecientes de DA.

Figure 1. Soil CO₂ emission after applying increasing doses of DA.

en el nitrógeno que presentó un 80% como NH₄. Estas observaciones coinciden con las determinaciones de Makádi *et al.* (2012) y Kirchman *et al.* (1992) quienes establecen que el amonio constituye entre el 50 y el 80% del Nt. Luego de las 24 h queda en el DA la fracción orgánica más recalcitrante, que según Tambone *et al.* (2009) podría estar compuesta por lignina, cutina, ácidos húmicos, esteroides y proteínas complejas. En resumen, el DA contiene compuestos muy lábiles, no consumidos en la producción de biogás, que producen la rápida activación de la microbiota del suelo y una fracción de lenta mineralización demostrada por la disminución de la respiración microbiana.

La producción acumulada de CO₂ (Fig. 2) mostró durante todo el ensayo una clara respuesta a los tratamientos con DA a dosis creciente con una diferencia final de 60 mg de CO₂. Al realizar la comparación de medias a través

de contrastes polinomiales, los datos presentaron un ajuste lineal altamente significativo para todos los muestreos (p < 0,0001) y las regresiones lineales mostraron un ajuste alto, R² mayor a 0,92 para todos los casos.

1.2. Desarrollo del cultivo de lechuga

Variables en el cultivo

Durante el desarrollo del cultivo no se evidenciaron síntomas de fitotoxicidad en ninguna planta. La dosis de 2 mL no se diferenció del control para ninguna variable analizada y la de 6 mL para el índice de verdor. Las dosis restantes se diferenciaron del control para todas las variables evaluadas (Tabla 1). El PFA presentó un buen ajuste lineal (Y = 27,08X + 46,01; R² = 0,72) siendo la variable más

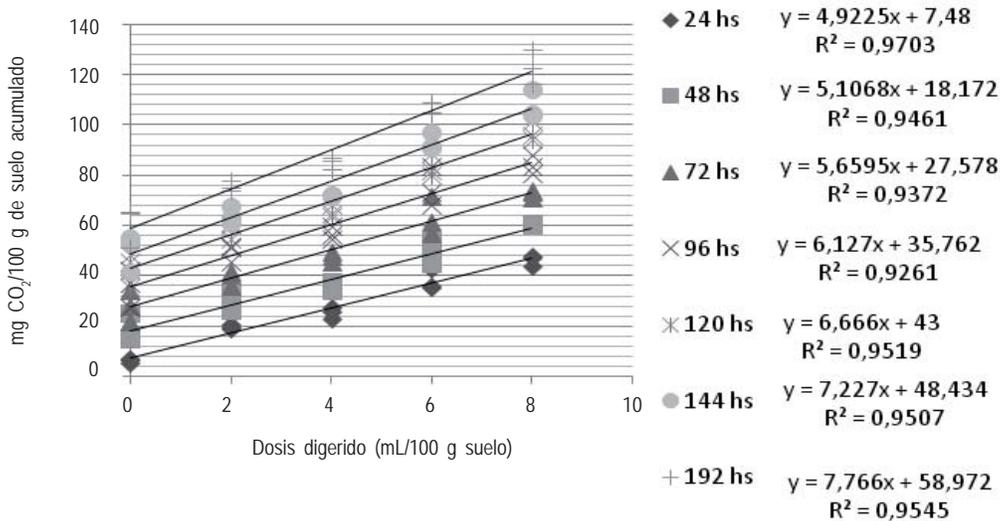


Figura 2. Emisión de CO₂ acumulado en el suelo luego de aplicar dosis crecientes de DA.
Figure 2. Cumulated soil CO₂ emission after applying increasing doses of DA.

Tabla 1. Valores medios de variables asociadas al crecimiento del cultivo de lechuga post-aplicación de dosis creciente de digerido.
Table 1. Average values of variables associated with lettuce growth after applying increasing doses of digestate.

TRAT.	PFA (g)	PSA (g)	% H	VERD.	Nº de hojas	PSR (g)
1-Control	62,36	2,82	90,2	17,78	31,5	2,44
2- 2 ml D.	55,05 ns	2,29 ns	91,69 ns	16,64 ns	31,5 ns	4,18 ns
3- 4 ml D.	188,72**	6,75**	92,59*	20,27*	40,5**	6,64**
4- 6 ml D.	209,79**	6,59**	93,35**	19,71 ns	38,75**	4,96*
5- 8 ml D.	255,84**	7,03**	94,26**	20,20*	42,0**	5,16*

ns: no mayor que el control (p > 0,05); * mayor que el control (p < 0,05); ** mayor que el control (p < 0,01) ns: no greater than the control (p > 0,05); * greater than the control (p < 0,05); ** greater than the control (p < 0,01) Peso fresco aéreo (PFA); peso seco aéreo (PSA); peso seco raíces (PSR) Aboveground fresh weight (PFA); Aboveground dry weight (PSA); Root dry weight (PSR).

sensible a la aplicación de DA. Rotondo *et al.* (2009) y Lopez Mosquera *et al.* (2003) encontraron respuestas similares sobre el cultivo de lechuga aplicando otras enmiendas orgánicas (lombricompost y cama de pollo).

VARIABLES EDÁFICAS

No se hallaron diferencias significativas ($p > 0,05$) entre los niveles residuales de NH_4 , NO_3 y Nitrógeno total. Estos valores junto a las variables del cultivo de lechuga permiten sugerir que gran parte del nitrógeno contenido en el DA fue utilizado por el cultivo, lo cual confirmaría su rápida disponibilidad. La fracción no utilizada se podría haber perdido por lixiviación o volatilización.

Tampoco se detectaron diferencias significativas ($p > 0,05$) en el pH y la conductividad eléctrica al finalizar el ensayo. Se debe considerar que se realizó una única aplicación y que el riego frecuente con agua de buena calidad genera el lavado de las sales que podrían acumularse bajo otro tipo de sistemas productivos.

COMPARACIÓN DEL DA Y PURÍN DE CERDO CON FERTILIZANTES QUÍMICOS

DINÁMICA DE LA ACTIVIDAD BIOLÓGICA DEL SUELO

El valor más alto de actividad biológica se observó a las 24 h en todos los tratamientos (Fig. 3). El tratamiento con purín mostró los valores más elevados de desprendimiento de CO_2 difiriendo del resto de los tratamientos hasta las 96 h. Este comportamiento posiblemente se deba a su menor estabilidad ya que no fue sometido a ningún proceso de degradación previo a la aplicación al suelo. Mayor actividad biológica en el purín de cerdo respecto al DA también fue encontrada por Marcato *et al.* (2009). El DA, si bien presentó valores superiores al control, solo se diferenció estadísticamente a las 24, 72 y 120 h. Entre los tratamientos Urea y U + PDA no se encontraron diferencias, y solo difirieron del control a las 24 h. A medida que los microorganismos degradan los compuestos lábiles, la actividad biológica disminuye a valores próximos a la respiración basal del suelo (control) que responde a variables más estables del suelo, como son el contenido de materia orgánica y sus características físico químicas. Plaza *et al.* (2007), trabajando también en microcosmos con purín de cerdo, verificaron que la mineralización se extiende durante 30 días posaplicación.

Al analizar los valores de CO_2 acumulados el DA y el purín siempre difirieron entre sí y con los demás tratamientos. Trabajando con estiércol de pollo, Aruani *et al.* (2008) tam-

bién detectaron mayor actividad biológica que usando fertilizantes químicos. De la misma manera, Mohammadi (2011), evaluando la actividad biológica a través de la actividad enzimática (proteasa, fosfatasa ácida y alcalina, ureasa y deshidrogenasa) en el cultivo de trigo encontró la actividad máxima al aplicar estiércol de corral combinado con compost, y todas las enmiendas orgánicas (estiércol de corral, compost, estiércol de corral + compost, estiércol de corral + compost + fertilizantes químicos) mostraron mayor actividad que la fertilización química. Álvarez Solís *et al.* (2010) demostraron que la disminución de la fertilización inorgánica y su complementación con estiércol ovino, generó un aumento del 20% en la biomasa microbiana y una mayor eficiencia en la asimilación del carbono orgánico y en la construcción de la materia orgánica.

Se destaca que el DA presentó un comportamiento similar a los fertilizantes químicos siendo una alternativa para remplazarlos, coincidiendo con Gálvez *et al.* (2011) que demostraron, trabajando en microcosmos, que la harina de colza y el DA de purín de cerdo son los más apropiados para mejorar la fertilidad química y biológica del suelo. En función de los datos obtenidos y realizando una extrapolación potencial, en 168 h la emisión de CO_2 a la atmósfera debida a la actividad microbiana del suelo, resultaría en $1784 \text{ kg de CO}_2 \text{ ha}^{-1}$ con la fertilización con DA y $4391 \text{ kg de CO}_2 \text{ ha}^{-1}$ con la fertilización por purín, es decir que fertilizar con DA produciría $2608 \text{ kg de CO}_2 \text{ ha}^{-1}$ menos de emisiones que la fertilización con purín. Sin embargo, el mayor impacto en la disminución de gases efecto invernadero está dado por la sustitución de energías por el uso del biogás (Moller *et al.*, 2009). Si bien el DA generó un mayor desprendimiento de CO_2 que los fertilizantes químicos, para su comparación habría que considerar el CO_2 emitido durante la elaboración de los fertilizantes y su transporte.

2.2. EVALUACIÓN DE LA ACTIVACIÓN DE LAS COMUNIDADES MICROBIANAS DEL SUELO

Al igual que en el ensayo anterior, también se verificó que la actividad máxima se produjo durante las primeras 24 h, y al evaluar períodos de tiempo más reducidos se detectaron marcadas diferencias en la intensidad y velocidad de degradación (Fig. 3). El DA presenta el valor máximo en las primeras 6 h, la Urea a las 12 h y el purín a las 24 h.

Se destaca que la dinámica del desprendimiento de CO_2 en el suelo tratado con DA tiene un comportamiento simi-

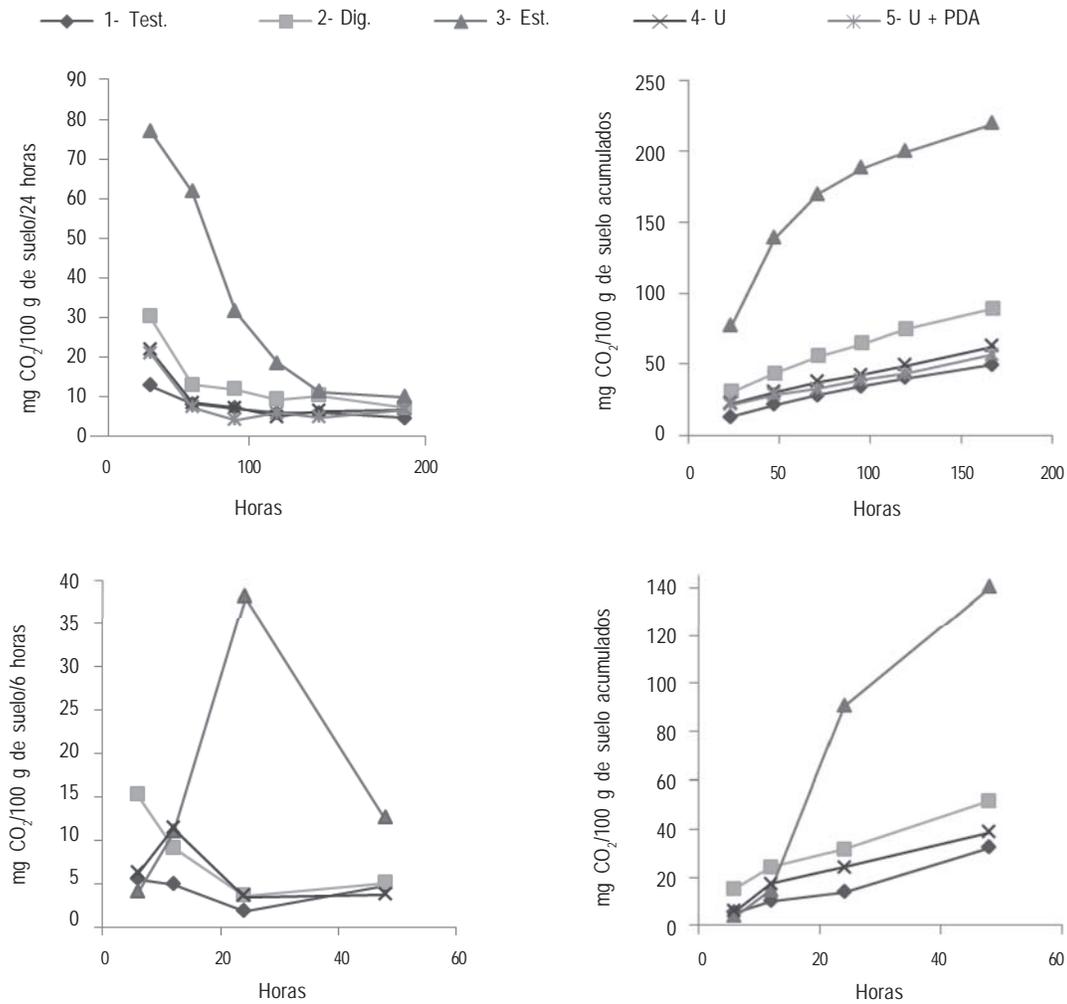


Figura 3. Desprendimiento CO₂ del suelo tratado con digerido, purín y fertilizantes químicos evaluado cada 6 y 24 horas y sus valores acumulados. Figure 3. Emission of CO₂ of soil treated with digestate, slurry and chemical fertilizer evaluated every 6 hs and 24 hs and acumulated values.

lar a la de los suelos tratados con fertilizantes químicos aún cuando los valores sean superiores. El purín mostró una mayor actividad biológica y un retraso en alcanzar la máxima actividad probablemente debido a que, por su menor estabilidad, requirió un incremento de la biomasa y la sucesión de distintos grupos microbianos en su degradación. La conversión de sustancias de alto peso molecular como polisacáridos, proteínas y grasas es producto de la interacción cooperativa de diversos grupos fisiológicos de procariontes (Madigan *et al.*, 2004). Esto permitiría demostrar el efecto de la degradación anaeróbica sobre la estabilidad y madurez del purín de cerdo. A diferencia del ensayo anterior, en los valores acumulados, no se diferenció estadísticamente el DA de la urea.

2.3. Evaluación del desarrollo del cultivo de lechuga

En general todos los tratamientos difirieron del control (Tabla 2). El purín presentó el mayor valor para PFA, PSA, N° de Hojas y PSR, seguido por el DA, la Urea, U + PDA y por último, el control. DA no se diferenció estadísticamente del U + PDA ni la Urea del Control aun cuando presentó mayores valores en las variables de producción. Aruani *et al.*, 2008 trabajando con lechuga pero bajo condiciones de campo, obtuvieron mayor rendimiento con la aplicación de estiércol de pollo que con fertilizantes químicos.

No se detectaron efectos fitotóxicos en el tratamiento con purín posiblemente debido a su dilución por el frecuente riego. Por otro lado, la mayor respuesta en el cultivo de lechuga puede deberse a la diferencia en el contenido de

Tabla 2. Valores medios de variables vegetales con distintas fuentes de nutrientes.

Table 2. Average values of vegetal variables with different nutrient sources.

	PFA (g)	PSA (g)	Nº de Hojas	Verdor	%H	PSR (g)
Control	11,89 a*	0,79 a	16,8 a	18,4 ns	93,89 b	1,00 a
DA	29,87 b	2,88 b	23,2 b	17,4 ns	91,35 a	3,87 a
Purín	49,75 c	5,22 c	29,3 c	17,3 ns	90,56 a	8,08 b
Urea	22,74 ab	2,02 ab	18,7 a	19,7 ns	91,88 a	2,20 a
U + PDA	25,36 b	2,41 b	22,0 b	18,1 ns	91,52 a	2,86 a

*Letras distintas indican diferencias estadísticas (Tukey $p < 0,05$)

*Differents letters indicate significant difference (Tukey $p < 0,05$)

Peso fresco aéreo (PFA); peso seco aéreo (PSA); peso seco raíces (PSR)

Fresh weight air (PFA); dry weight air (PSA); dry weight roots (PSR).

otros nutrientes no evaluados y a la disponibilidad de nutrientes a lo largo del ciclo del cultivo a través de la mineralización. Este último factor pudo ser de importancia dado el reducido volumen de suelo y las importantes láminas de agua aplicadas con el riego, que pueden haber generado el lixiviado principalmente del N en los tratamientos químicos y el DA.

Para el verdor no se encontraron diferencias significativas entre ningún tratamiento y para el porcentaje de humedad del material vegetal todos los tratamientos se diferenciaron del control pero no entre sí.

CONCLUSIONES

La digestión anaeróbica logró estabilizar la materia orgánica presente en el purín de cerdo. La aplicación de DA generó una rápida activación de las comunidades microbianas del suelo similar a la generada por compuestos lábiles y a las 24 h el suelo recuperó la actividad basal. La dinámica de la actividad biológica fue similar a la generada por los fertilizantes químicos. La aplicación de dosis creciente de DA generó una respuesta lineal tanto en la actividad biológica del suelo como en el desarrollo vegetal de lechuga. No presentó diferencias en los niveles residuales de las distintas formas de nitrógeno, sugiriendo que una proporción fue transformada en tejido vegetal; tampoco modificó significativamente el pH y la ce del suelo, posiblemente por el lavado generado por el riego.

La información presentada muestra que el DA se comporta de manera similar a los fertilizantes químicos pudiendo considerarse su utilización como fertilizante.

AGRADECIMIENTOS

A Gonzalo Pasdevicelli y a su familia por permitirnos acceder a las instalaciones del criadero. Al CONICET por la beca de posgrado. Al Dpto. de Agronomía (UNS) por las instalaciones y el subsidio SGCYT PGI 24/A200. A Ricardo Camina por el asesoramiento estadístico; Al LANAIS N-15 por los análisis químicos; AM. Rosa Landriscini y a JA Galantini por el SPAD.

BIBLIOGRAFÍA

- Álvarez Solís, JD; E Díaz Pérez; NS León Martínez & J Guillén Velásquez. 2010. Enmiendas orgánicas y actividad metabólica del suelo en el rendimiento de maíz. *Terra Latinoamericana* 28(3): 239-245.
- Aruani, MC; P Gili; L Fernández; R González Junyent; P Reeb & E Sánchez. 2008. Utilización del Nitrógeno en diferentes manejos de fertilización en lechuga (*Lactuca sativa* L.) y su efecto sobre algunas variables biológicas del suelo, Neuquén. Argentina. *AGRO SUR* 36(3): 147-157.
- Bernal Calderon, MP; JA Albuquerque Méndez; MA Bustamante Muñoz & RC Carrillo. 2011. Guía de utilización agrícola de los materiales digeridos por biometanización. Probiogas. Fondo Europeo de Desarrollo Regional. España. 106pp. ISBN 9788469418680.
- Carpenter-Boggs, L; AC Kennedy & JP Reganold. 2000. Organic and Biodynamic Management: Effects on Soil Biology. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 64: 1651-1659.
- Cooperband, LR; AG Stone; MR Fryda & JL Ravet. 2003. Relating compost measures of stability and maturity to plant growth. *Compost Sci. Util.* 11(2): 113-124.
- Egerton-Warburton, LM; NC Johnson & EB Allen. 2007. Mycorrhizal community dynamics following nitrogen fertilization: A cross-site test in five grassland. *Ecol Mongr* 77: 527-544.
- Frión, L. 2011. Microbiología: básica, ambiental y agrícola. 1a. ed. Orientación Gráfica Editora. Bs. As. Argentina. 778 pp.
- Gálvez, A; T Sinicco; ML Cayuela; MD Mignorange; F Fornasier & C Mondini. 2011. Use of organic residues for the recovery of soil and environmental sustainability. *Environmental Quality* 7: 33-40.

- Gómez-Brandón, M; M Fernández Delgado Juárez; J Domínguez & H Insam. 2013. Animal Manures: Recycling and Management Technologies. *In: Matovic, MD (ed), Biomass Now - Cultivation and Utilization*. <http://www.intechopen.com/books/biomass-now-cultivation-and-utilization/animal-manures-recycling-and-management-technologies> (25/03/15).
- Höper, H. 2005. 6.3 Substrate-induced Respiration. *In: Bloem, J; DW Hopkins & A Benedetti (eds). Microbiological Methods for Assessing Soil Quality*. Pp 84-92 CABI Publishing.
- Kirchmann, H & E Witter. 1992. Composition of fresh, aerobic and anaerobic farm animal dungs. *Bioresour Technol* 40(2):137-142.
- Knorr, M; SD Frey & PS Cuttis. 2005. Nitrogen additions and litter decomposition: A meta-analysis. *Ecology* 86: 3252-3257.
- Kunz, A; M Miele & R Steinmetz. 2009. Advanced swine manure treatment and utilization Brazil. *Bioresour Technol* 100: 5485-5489.
- Liu, L & TL Greaver. 2010. A global perspective on belowground carbon dynamic under nitrogen enrichment. *Ecol Lett* 13: 819-828.
- López-Mosquera, ME; ME Carballo; F Cabaleiro; E Carral; MJ Lema; A López-Fabal & MJ Sainz. 2003. Valorización agronómica de estiércol de pollo deshidratado y granulado en el cultivo de lechuga (tipo trocadero) bajo invernadero. *Actas de Horticultura N° 39. X Congreso Nacional de Ciencias Hortícolas Pontevedra*.
- Madigan, MT; JM Martinko & J Parker (eds). 2004. Brock. Microbiología de los Microorganismos. 10ª Edición. Pearson Educación S.A. Madrid. 1096 pp.
- Makádi, M; A Tomócsik & V Orosz. 2012. Digestate: A New Nutrient Source – Review. *In: Kumar, S (ed). Biogas*. Pp. 295-310. InTech. ISBN 978-953-51-0204-5
- Marcato, CE; R Mohtar; JC Revel; P Pouech; M Hafidi & M Guisresse. 2009. Impact of anaerobic digestion on organic matter quality in pig slurry. *Int Biodeter Biodegr* 63(3): 260-266.
- Mohammadi, K. 2011. Soil Microbial Activity and Biomass as Influenced by Tillage and Fertilization in Wheat Production. *American-Eurasian J Agric & Environ Sci* 10(3): 330-337.
- Moller, J; A Boldrin & TH Christensen. 2009. Anaerobic digestion and digestate use: accounting of greenhouse gases and global warming contribution. *Waste Manage Res* 27: 813-817
- Montemurro, F; D Ferri; F Tittarelli; S Canali & C Vitti. 2010. Anaerobic Digestate and On-Farm Compost Application: Effects on Lettuce (*Lactuca sativa* L.) Crop Production and Soil Properties. *Compost Sci Util* 18(3): 184-193.
- Nkoa, R. 2014. Agricultural benefits and environmental risks of soil fertilization with anaerobic digestates: a review. *Agron Sustain Dev* 34(2): 473-492.
- Pell, M; J Stenström & U Granhall. 2005. 7.2 Soil Respiration. *In: Bloem, J; DW Hopkins & A Benedetti (eds). Microbiological Methods for Assessing Soil Quality*. Pp. 117-126. CABI Publishing.
- Plaza, C; JC García-Gil & A Polo. 2007. Microbial activity in pig slurry-amended soils under aerobic incubation. *Biodegradation* 18(2): 159-165.
- Rotondo, R; IT Firpo; L Ferreras; S Toresani; S Fernández & E Gómez. 2009. Efecto de la aplicación de enmiendas orgánicas y fertilizante nitrogenado sobre propiedades edáficas y productividad en cultivos hortícolas. *Horticultura Argentina* 28(66): 18-25
- Schipper, LA; BP Degens; GP Sparling & LC Duncan. 2001. Changes in microbial heterotrophic diversity along five plant successional sequences. *Soil Biol Biochem* 33: 2093-2103.
- Shiralipour, A; W Mc Connell & WH Smith. 1992. Physical and chemical properties of soil as affected by municipal solid waste compost application. *Biomass Bioenerg* 3: 195-211.
- Stickland, MS & J Rousk. 2010. Considering fungal:bacteria dominance in soils - Methods, controls and ecosystems implication. *Soil Biol Biochem* 42: 1295-1303
- Tambone, F; P Genevini; G D'Imporzano & F Adani. 2009. Assessing amendment properties of digestate by studying the organic matter composition and the degree of biological stability during the anaerobic digestion of the organic fraction of MSW. *Biosource Technol* 100(12): 3140-3142.
- Walsh JJ; J Rousk; G Edwarda-Jones; DL Jones & A Prysor Williams. 2012. Fungal and bacteria growth following the application of slurry and anaerobic digestate of livestock manure to temperature pasture soils. *Biol Fertil of Soils* 48(8): 889-897.
- Zibilske, LM. 1994. Carbon Mineralization. *In: RW Weaver; S Angle & P Bottomley (eds). Methods of soil analysis, Part 2, Microbiological and Biochemical Properties*. pp. 835-863. Soil Sci Soc of America Inc, Wisconsin, USA.

