

# Dinámica de degradación de estiércol y digerido bovino en dos suelos del sudoeste bonaerense.



AUTOR

Achucarro, Lucas Alberto

DOCENTE TUTOR

Iocoli, Gastón Alejandro

DOCENTES CONSEJEROS

Consejero 1: Maximiliano Garay

Consejero 2: Fernando López

DEPARTAMENTO DE AGRONOMIA – UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SUR

Octubre 2020, Bahía Blanca

## Agradecimientos

En primer lugar, quiero agradecer a mi familia y en especial a mis padres, por el apoyo incondicional.

En segundo lugar, quiero agradecer a mis amigos, tanto los que me dio la universidad como los que me acompañan desde siempre, que hicieron más fácil y amena la carrera.

A la Universidad Nacional del Sur, en especial al departamento de Agronomía, por brindarme la posibilidad de crecer como persona y como profesional.

No quiero dejar de recordar y agradecer a cada profesor que tuve durante la carrera y en especial a Gastón Iocoli que gracias a él pude llevar mi tesina a cabo.

También me gustaría agradecer a todo el INTA Ascasubi por el recibimiento que tuve y la predisposición a la hora de trabajar.

Me llevo los mejores recuerdos de esta hermosa etapa y eso fue posible gracias a todas las personas que estuvieron en el transcurso.

¡A todos muchas gracias!

## Resumen

Argentina ha experimentado un pronunciado cambio en el sistema de producción de carne bovina migrando de sistemas pastoriles a sistemas intensificados de engorde a corral, donde en la mayoría de los casos no se consideraron factores ambientales para su diseño y manejo. En función del incentivo para incorporar fuentes renovables a la matriz energética surgieron varios proyectos que utilizan residuos pecuarios para la producción de biogás incrementando los volúmenes de digeridos disponibles. Si bien se ha demostrado su potencial uso como fertilizante, su efecto sobre el agroecosistema aún no ha sido suficientemente estudiado. En este trabajo se evaluó el efecto de aplicación de digerido de estiércol bovino (DFL), en comparación con el estiércol sin procesar (FL) y urea (U) en dosis ajustadas a 54 mg NTK kg suelo<sup>-1</sup> y un control sin agregado de N sobre la actividad biológica del suelo y la biomasa microbiana. Se utilizaron dos suelos típicos del sudoeste bonaerense: un Haplustol éntico, franco-arenoso (Hilario Ascasubi), y un Paleustol petrocálcico, franco (Napostá). Los suelos se secaron al aire y se tamizaron por 2 mm. Luego de una preincubación se incorporaron al suelo los residuos y enmiendas, se estableció un control solo con agua y se humedecieron hasta el 60% del PS. Se evaluó el CO<sub>2</sub> desprendido a los 1,2, 4, 7, 14, 21, 35, 49, 70, 91 y 119 días. El DFL presentó una mayor proporción de nitrógeno en forma mineral y un menor contenido de carbono orgánico y al ser aplicado al suelo produjo la mayor tasa de desprendimiento de CO<sub>2</sub> durante el primer día reduciéndose marcadamente a los 2 días y estabilizándose en valores cercanos al control a partir de los 7 días para el suelo Napostá y a los 14 días para Ascasubi. El FL, con un elevado contenido de carbono y la mayor parte del nitrógeno en forma orgánica, también presentó un pico de emisión de CO<sub>2</sub> en el primer día, desde el cual se redujo gradualmente, pero manteniendo valores superiores al resto de los tratamientos hasta el día 49 en ambos suelos. La U generó una estimulación inicial presentando valores superiores al control el primer día para Napostá y durante los 4 primeros días para Ascasubi y luego se estabilizó. Respecto al desprendimiento acumulado el suelo Ascasubi generó un mayor desprendimiento que el suelo Napostá (6,4 y 4,9g kg<sup>-1</sup> suelo día<sup>-1</sup>, respectivamente). El tratamiento FL presentó mayores valores de

desprendimiento de CO<sub>2</sub> que el resto de los tratamientos (6,4g), mientras que U y FLD no se diferenciaron del control (5,1g) pero si entre sí (DFL (5,7g)>Urea (5,4g)). Los resultados obtenidos demostraron que el digerido generó menor desprendimiento de CO<sub>2</sub> que el estiércol sin procesar y mantuvo valores acumulados similares al control y levemente superiores a la Urea.

PALABRAS CLAVE: Digestión anaerobia, mineralización, actividad biológica.

# Índice

Agradecimientos.....	I
Resumen .....	II
Índice .....	IV
Índice de figuras .....	V
Índice de tablas.....	VI
Introducción .....	7
Inicio del sistema de engorde a corral .....	7
Engorde a corral en Argentina.....	7
Degradación anaeróbica.....	10
Etapas del proceso de degradación anaeróbica.....	11
Principales ventajas de la producción de biogás a partir de residuos .....	12
Uso como enmienda.....	13
Objetivo general .....	13
Materiales y métodos.....	14
Suelos y enmiendas utilizadas .....	14
Tratamientos .....	15
Preparación de los microcosmos.....	16
Determinación de la actividad biológica del suelo.....	16
Estimación de la biomasa microbiana .....	17
Coeficiente metabólico.....	17
Diseño experimental y análisis estadístico.....	17
Resultados .....	19
Dinámica de mineralización de carbono .....	19
Mineralización acumulada de carbono .....	22
Biomasa microbiana .....	23

Coeficiente de respiración ( $qCO_2$ ) .....	27
Discusión.....	30
Mineralización de carbono .....	30
Biomasa microbiana .....	30
Conclusión .....	32
Bibliografía.....	33
ANEXO.....	35
Tabla A1. Análisis de varianza doble con parcela dividida en el tiempo (SxTxF) .....	35
Tabla A2. Análisis de varianza con parcela dividida en el tiempo (TxF) para el suelo de H. Ascasubi (HE).....	35
Tabla A3. Análisis de varianza con parcela dividida en el tiempo (TxF) para el suelo de Naposta (PP). .....	36
Tabla A4. Análisis de varianza doble (TxS) para el desprendimiento de $CO_2$ acumulado. ....	36
Tabla A5. Análisis de varianza triple (TxSxF) para la biomasa microbiana (mg C de la biomasa). .....	37

## Índice de figuras

<i>Figura 1: Numero de animales presentes en establecimientos de engorde a corral (Tomado de IPCVA 2019).</i> .....	8
<i>Figura 2: Feed lot con producción propia de energía de biogás en el biodigestor (domo circular) y su laguna de efluentes (izquierda).</i> .....	9
<i>Figura 3: Etapas del proceso de degradación anaeróbica (Tomado de Rinland, 2015).</i> 11	
<i>Figura 4: Tendencia del desprendimiento de <math>CO_2</math> (<math>mg\ Kg^{-1}</math> suelo <math>d^{-1}</math>) de los distintos tratamientos en las diferentes fechas en suelo Paleustol Petrocalcico.</i> .....	20
<i>Figura 5: Tendencia del desprendimiento de <math>CO_2</math> (<math>mg\ Kg^{-1}</math> suelo <math>d^{-1}</math>) de los distintos tratamientos en las diferentes fechas en suelo Haplustol Éntico.</i> .....	21
<i>Figura 6: Desprendimiento acumulado de <math>CO_2</math> (<math>mg\ Kg^{-1}</math> suelo) para cada suelo.</i> .....	22

<i>Figura 7: Efecto de los tratamientos en el desprendimiento acumulado de CO<sub>2</sub> (mg Kg<sup>-1</sup> suelo) contemplando ambos suelos. ....</i>	23
<i>Figura 8: Dinámica de biomasa microbiana (mg C-bmicrobiana) para los distintos tratamientos en suelo Haplustol Éntico. ....</i>	24
<i>Figura 9: Dinámica de biomasa microbiana (mg C-bmicrobiana) para los distintos tratamientos en suelo Paleustol Petrocalcico. ....</i>	25
<i>Figura 10: Comparación de medias de biomasa microbiana (mg C-bmicrobiana) para los distintos tratamientos en suelo Paleustol Petrocalcico para las fechas 70, 91, 119. ....</i>	26
<i>Figura 11: Comparación de medias de biomasa microbiana (mg C-bmicrobiana) para los distintos tratamientos en suelo Haplustol Éntico para las fechas 70, 91, 119. ....</i>	27
<i>Figura 12: Dinámica del coeficiente de respiración en los distintos tratamientos en suelo Paleustol Petrocalcico. ....</i>	28
<i>Figura 13: Dinámica de coeficiente de respiración para los distintos tratamientos en suelo Haplustol Éntico. ....</i>	29

## Índice de tablas

Tabla 1: Caracterización fisicoquímica de los suelos.....	15
Tabla 2: Caracterización de las enmiendas utilizadas. ....	16
Tabla 3: Comparación de medias del desprendimiento de CO <sub>2</sub> (mg Kg <sup>-1</sup> suelo d <sup>-1</sup> ) de los distintos tratamientos en las diferentes fechas en suelo Paleustol Petrocalcico. ....	20
Tabla 4: Comparación de medias del desprendimiento de CO <sub>2</sub> (mg Kg <sup>-1</sup> suelo d <sup>-1</sup> ) de los distintos tratamientos en las diferentes fechas en suelo Haplustol Éntico. ....	21
Tabla 5: Comparación de medias de biomasa microbiana (mg C-bmicrobiana) para los distintos tratamientos en suelo Haplustol Éntico. ....	24
Tabla 6: Comparación de medias de biomasa microbiana (mg C-bmicrobiana) para los distintos tratamientos en suelo Paleustol Petrocalcico. ....	25
Tabla 7: Comparación de medias de coeficiente de respiración para el suelo Paleustol Petrocalcico en las distintas fechas estudiadas.....	28
Tabla 8: Comparación de medias de coeficiente de respiración para el suelo Haplustol Éntico en las distintas fechas estudiadas. ....	29

## Introducción

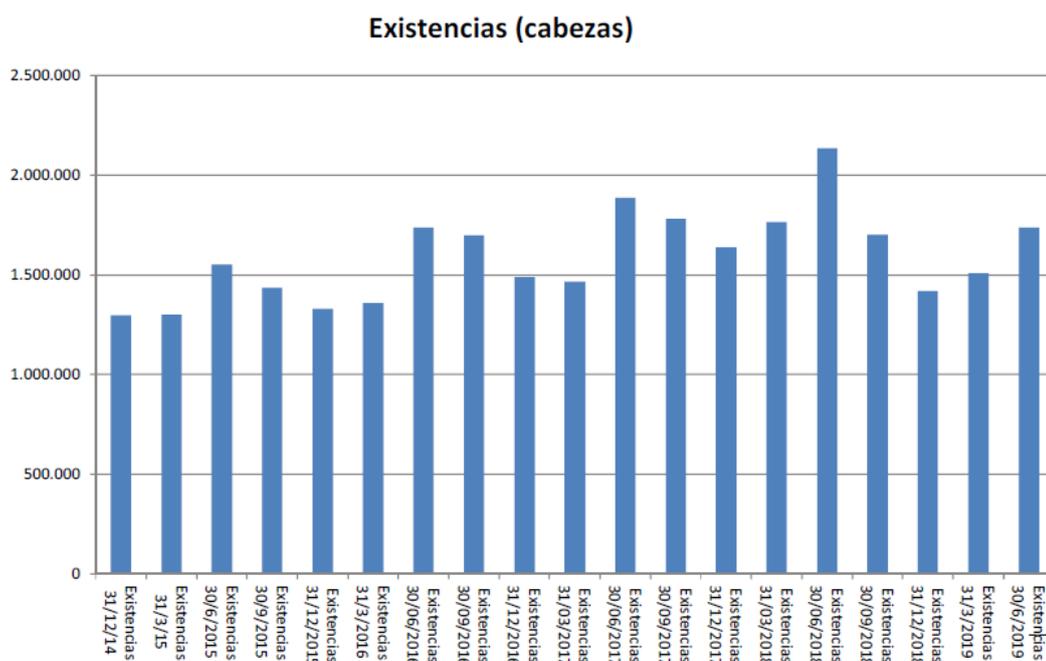
### Inicio del sistema de engorde a corral

El sistema productivo de engorde a corral tuvo sus inicios en Estados Unidos en la década del 50. Este país cuenta con grandes extensiones de tierras aptas para la cría de ganado vacuno, categoría con bajo requerimientos nutricionales. A medida que avanza el desarrollo de los animales los requerimientos nutricionales son más altos y mediante el suministro de dietas balanceadas en corrales se logra una mayor eficiencia de conversión.

Al mismo tiempo dicho país es uno de los principales productores de materia prima como granos y forrajes, lo que le permite darles valor agregado mediante la producción de carne.

### Engorde a corral en Argentina

La inserción de sistemas de engorde a corral (feed lot) en el país (Argentina) ocurrió a fin del siglo pasado y con el correr del tiempo ha ido tomando un mayor protagonismo. Tal es así que la producción de carne vacuna derivada de sistemas de engorde a corral ha tenido una inserción significativa en la cadena de ganado bovino y carne Argentina. En el año 2006 en el mes de junio se encontraban bajo este sistema productivo 995 mil cabezas de ganado y para el mismo mes de 2019 1,74 millones de bovinos (IPCVA, 2019, Figura 1).



*Figura 1: Numero de animales presentes en establecimientos de engorde a corral (Tomado de IPCVA 2019).*

En los sistemas de producción tradicionales el estiércol se distribuye de forma aleatoria en todo el territorio debido al movimiento de los animales y de esta manera se contribuye al reciclado natural de la materia orgánica y los nutrientes. En contraposición, en los sistemas intensivos o de engorde a corral, los animales se mantienen confinados en corrales (20m<sup>2</sup>/animal) y se les brinda alimento en comederos, con el objetivo de maximizar las ganancias diarias de peso y obtener la mejor eficiencia de conversión alimenticia posible. Esto trae aparejado nuevos paradigmas que resolver, como son los subproductos o desechos propios de la actividad. El estiércol es el principal residuo ya que se produce en gran cantidad y se encuentra concentrado en espacios reducidos. Los volúmenes promedio de estiércol fresco generados cada día son 22 kg/ bovino de engorde.

Por lo tanto, se deben tomar recaudos para evitar la posible degradación del suelo e incluso la infiltración de contaminantes a las capas freáticas y no generar contaminación de napas ni degradar el recurso suelo. Los principales problemas de contaminación generados por estiércol son: la emisión de gases de efecto invernadero, la eutrofización de cuerpos de agua, la contaminación de fuentes de agua superficiales o subterráneas

para consumo humano y la sobrecarga de nutrientes en suelos de cultivo lo que podría causar fitotoxicidad o desbalances nutricionales.



*Figura 2: Feed lot con producción propia de energía de biogás en el biodigestor (domo circular) y su laguna de efluentes (izquierda).*

Cabe destacar que, dependiendo del sistema productivo, sumado a las problemáticas ambientales mencionadas, los sistemas de producción actuales son “abiertos”, requiriendo un ingreso energía y nutrientes constantes, la pérdida de nutrientes del suelo debido a la confección de reservas para la alimentación de los animales puede ser muy importante. Es de vital importancia para lograr la sostenibilidad del sistema realizar una rotación de cultivos y una fertilización acorde, con énfasis en mantener las propiedades físicas y químicas del suelo.

Uno de los métodos de fertilización utilizados actualmente es la aplicación de estiércol en tierras de cultivo proporciona un beneficio ecológico al depositar nutrientes en el suelo. Por sus características orgánicas, el estiércol aumenta la capacidad de retención de agua, el intercambio catiónico y la filtración de agua al subsuelo, reduce la erosión, entre otros beneficios. Sin embargo, el suelo puede ser seriamente afectado por el estiércol si contiene concentraciones altas de nutrientes (nitrógeno, fósforo), microorganismos patógenos (*E. coli*), antibióticos, y compuestos que interactúen con el sistema endócrino (hormonas esteroidales, fitoestrógenos, plaguicidas y herbicidas) (Powers, 2009). En países donde las regulaciones ambientales son laxas o no existen, el

estiércol se aplica al suelo continuamente, excediendo la capacidad de captación de nutrientes por los cultivos (Dietz y Hoogervorst, 1991). Esta sobrecarga de nutrientes en el suelo facilita su infiltración y lixiviación en aguas superficiales y subterráneas y adicionalmente, acumulación nitratos y nitritos en el cultivo puede causar intoxicación en el ganado que los consuma (Nicholson, 2007). Por otra parte, el agua es contaminada directamente a través de escurrimientos, infiltraciones y percolación profunda. El nitrógeno es abundante en el estiércol, y está relacionado con la contaminación de aguas subterráneas por la lixiviación de nitrato a través del suelo, mientras que el fósforo del estiércol está relacionado con la contaminación de aguas superficiales (Reddy *et al.*, 1999). Debido a que el fósforo en el agua no se considera directamente tóxico, no se han establecido niveles estándares en el agua potable. Sin embargo, el fósforo tiene un impacto ambiental importante en los recursos hídricos porque vertido directamente en las corrientes o aplicado en dosis excesivas en el suelo, estimula el proceso de eutrofización el cual genera la proliferación de las plantas acuáticas, disminuye el oxígeno disuelto y varía el pH, afectando así la calidad del agua.

Entre los contaminantes liberadas por el estiércol hacia la atmósfera se destacan el amoníaco, dióxido de carbono y óxido nitroso, así como otros gases de efecto invernadero (GEI).

Es común en empresas agropecuarias que acumulen grandes cantidades de estiércol en un espacio reducido o dispersen estos materiales directamente en la superficie de los lotes, sin mediar ningún proceso previo, teniendo consecuencias ambientales negativas. Una alternativa para reducir la problemática asociada a los residuos es su utilización como sustrato para la producción de biogás (biometanización) mediante la degradación anaeróbica y la utilización de los efluentes (digeridos) como fertilizantes restituyendo nutrientes al suelo.

### Degradación anaeróbica

La degradación anaeróbica es la transformación de la materia orgánica mediada por microorganismos en ausencia de oxígeno hasta  $\text{CH}_4$ ,  $\text{CO}_2$  y trazas de otros gases ( $\text{N}_2$ ,  $\text{NH}_3$ ,  $\text{H}_2\text{S}$ ,  $\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{CO}$ ,  $\text{O}_2$ ) como fase gaseosa denominada comúnmente “biogás”. Dentro del

biodigestor ocurre un proceso controlado de degradación anaeróbica de materia orgánica con el objetivo de producir metano y tratar efluentes. Alimentados con los desechos de la producción animal, se estima que el proceso de biofermentación del estiércol reduce 66 % las emisiones de metano y óxido nitroso (Chadwick *et al.*, 2011) y 98 % los olores (Massé *et al.*, 2011).

La fase líquida-sólida constituye un subproducto del proceso denominado “digerido” y compuesto por la fracción lignocelulósica no degradada, intermediarios del proceso (principalmente ácidos orgánicos), la biomasa microbiana y una fracción de compuestos inorgánicos disponibles (Iocoli, 2018). Respecto a la producción de gas, la eficiencia media es de aproximadamente 28 m<sup>3</sup> de metano por tonelada de estiércol bovino (Rohstoffe, 2012).

### Etapas del proceso de degradación anaeróbica

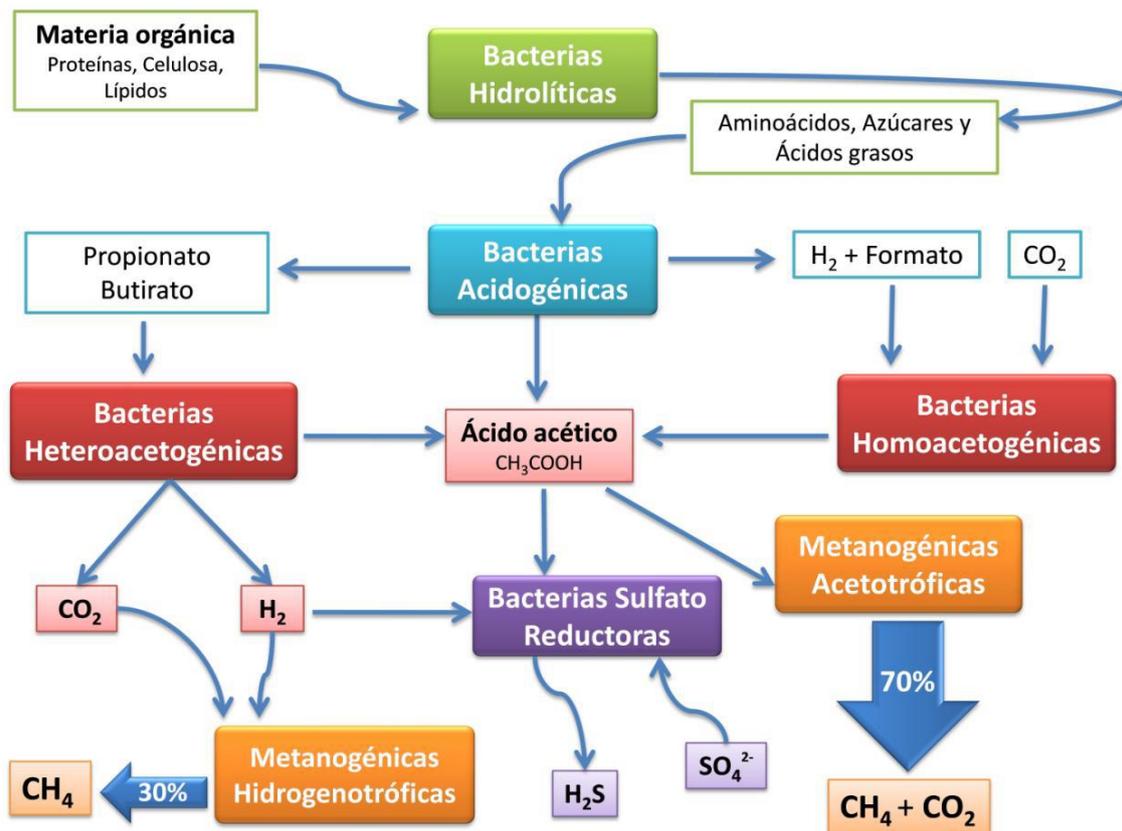


Figura 3: Etapas del proceso de degradación anaeróbica (Tomado de Rinland, 2015).

El proceso de degradación anaeróbica comienza con la etapa denominada hidrólisis. En ella principalmente ocurre una degradación de la materia orgánica a productos intermedios. El tamaño de partículas, pH, producción de enzimas y proporción de lignina afectan la velocidad y eficiencia de esta fase.

Luego continúa la fase de acidogénesis, en la que principalmente se produce ácido acético, hidrógeno y dióxido de carbono. La acumulación de ácidos grasos disminuye el pH. La siguiente fase es denominada acetogénesis, en esta etapa los compuestos formados en la fase anterior son transformados a acetato e H<sub>2</sub>. Por último, se encuentra la fase metanogénesis, donde ocurren los últimos procesos de degradación de la materia orgánica. Aquí se produce alrededor del 90% del metano (Locoli, 2018).

Estas etapas ocurren en forma superpuesta dentro del mismo digestor generando que parte de los compuestos intermediarios puedan salir del sistema en la fase gaseosa o líquida sin completar el proceso.

### Principales ventajas de la producción de biogás a partir de residuos

- Proporcionan combustible (biogás) para suplir las necesidades energéticas rurales, incrementando la producción de energía renovable (calor, luz, electricidad)
- Reducen la contaminación ambiental de la cría de animales en confinamiento, al convertir las excretas en energía y biofertilizantes, y reduciendo el riesgo de contaminación de fuentes de agua y el aire y la propagación de microorganismos patógenos, larvas, huevos, pupas de invertebrados.
- Se produce abono orgánico con un contenido mineral similar al de las excretas frescas.
- Mediante la utilización del efluente como abono orgánico, se reduce el uso de fertilizantes químicos, cuya producción y aplicación tiene consecuencias negativas para el medio ambiente.
- Mejora las condiciones higiénicas de la casa rural y/o unidad de producción a través de la reducción de patógenos, huevos de gusanos y moscas, los que mueren durante el proceso de biodigestión.
- Contribuyen a reducir los niveles de deforestación por el menor uso de leña con fines energéticos.

- Produce beneficios micro-económicos a través de la sustitución de energía no renovable y fertilizantes sintéticos por energía renovable y fertilizantes orgánicos.

Teniendo en cuenta que Argentina cuenta con 1,74 millones de cabezas bajo sistemas de engorde a corral, podemos estimar que se generan aproximadamente 38.240 toneladas de estiércol por día. Si esta cantidad de desechos es tratada mediante un proceso de degradación anaeróbica se pueden obtener alrededor de 1.070.720 m<sup>3</sup> de biogás por día y 382.400 toneladas de digeridos aptas para ser utilizadas como enmiendas. Lo que sería similar a 199.500 kg de urea granulada. A partir del biogás generado se podrían abastecer durante un año 948.575 casas de familia (4 habitantes) (ENARGAS, 2020).

### Uso como enmienda

Al aplicarse al suelo en forma correcta aporta materia orgánica, incorpora nutrientes y regula el ciclo de estos, contribuyendo a preservar la fertilidad de los suelos.

También mejora características fisicoquímicas como la infiltración, capacidad de retención de agua, capacidad de intercambio catiónico, reduce la erosión, etcétera. (Félix-Herrán, et al., 2008). Dichas enmiendas poseen un diferencial con respecto al resto de las enmiendas orgánicas ya que poseen alta proporción de N (nitrógeno) como amonio (N-NH<sub>3</sub>) y menor proporción de P (fósforo) (Abubaker *et al.*, 2013).

### Objetivo general

Mediante la degradación anaeróbica se logra obtener biogás y digerido. Esto podría darle una mayor sustentabilidad al sistema productivo, sin embargo, para su correcta utilización es fundamental profundizar los conocimientos sobre el efecto que causan sobre el suelo. En función de esto se planteó el siguiente objetivo:

*Evaluar la dinámica de mineralización de C y los cambios en la biomasa microbiana postaplicación al suelo de digerido y estiércol bovino, para mejorar la comprensión de los procesos degradativos.*

## Materiales y métodos

### Suelos y enmiendas utilizadas

Las enmiendas utilizadas fueron estiércol bovino de engorde a corral (feed lot) sin procesar, recolectado en una explotación de la zona de Las Oscuras y el mismo luego de un proceso de digestión anaeróbica (digerido), producido en un digester tipo batch de 20L. La digestión anaeróbica se realizó en condiciones de laboratorio dentro del rango mesófilo (35°C) con agitación manual y un tiempo de retención hidráulico de 45 días. Durante el proceso de digestión anaeróbica, solo se verificó la producción de gas combustible como indicador del correcto funcionamiento del proceso.

El efecto del digerido y el estiércol fresco al ser aplicados al suelo se comparó con la incorporación de urea. Los tres tratamientos se igualaron en contenido de nitrógeno total.

Se evaluó la capacidad de las enmiendas de producir la activación de la microbiota edáfica, mediante la evaluación de la dinámica de mineralización de C en un período de 119 días bajo condiciones controladas.

Se utilizaron dos suelos diferentes, típicos de la zona semiárida del sudoeste bonaerense. Uno de ellos Paleustol Petrocalcico, franco, que se extrajo del campo Napostá de la Universidad Nacional del Sur, ubicado en el km 35 de la ruta nacional número 33. El otro suelo, un Haplustol Éntico, franco arenoso, perteneciente a la serie "La Merced" (Codagnone, 1991) colectado en la estación experimental de INTA-Ascasubi.

El suelo se secó al aire y se tamizó por 2 mm. Sobre una submuestra se determinó pH (potenciométrico en agua 1:10), CE (conductimetría, 1:10), MO (Walkley& Black - IRAM 29570-1),  $N-NH_4^+$ ,  $N-NO_3^-$  y Nitrógeno total (semi micro Kjeldahl, NTK).

Las características evaluadas en ambos suelos se presentan en la tabla 1.

Tabla 1: Caracterización fisicoquímica de los suelos.

	CO	NTK	C/N	N-NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	N-NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	pH	A	L	a	CE	Textura
Muestra	%	%		mg kg <sup>-1</sup>			%			dS/m	
Ascasubi	1,73	0,13	13,3	20,3	3,2	7,6	74	16	10	0,83	Franco-arenoso
Napostá	2,36	0,2	11,8	21,3	10,2	7,8	54	38	7,3	0,73	Franco

*Napostá: Paleustol Petrocalcico; Ascasubi: Haplustol Éntico; CO: carbono orgánico, NTK: nitrógeno total Kjeldahl; N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup>: amonio; N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup>: nitrato; CE: conductividad eléctrica.*

Sobre las enmiendas frescas se determinó N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup>, N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup> y NTK por semimicro Kjeldahl. Para la determinación de P total (PT) se realizó una digestión con ácido perclórico concentrado en caliente (Sommers & Nelson, 1972) y el contenido se determinó con un Espectrómetro de Emisión Atómica por Plasma de Acoplamiento Inductivo (ICP-AES, Shimadzu 9000 Simultáneo de Alta Resolución). El C se determinó por combustión seca (1500°C, LECO C Analyser). La CE se determinó por conductimetría y el pH por potenciometría, y en ambos casos se realizó sobre la muestra sin diluir para el digerido y sobre una dilución 1:10 para el estiércol. Las características evaluadas en ambas enmiendas se presentan en la tabla 2.

### Tratamientos:

**C:** control;

**U:** urea;

**FL:** estiércol de feed lot sin procesar;

**DFL:** digerido anaeróbico de estiércol de feed lot.

Tabla 2: Caracterización de las enmiendas utilizadas.

	<b>C</b>	<b>NTK</b>	<b>N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup></b>	<b>N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup></b>	<b>ST (%)</b>
	<b>%</b>		<b>mg kg<sup>-1</sup></b>		<b>%</b>
<b>DFL</b>	<b>16,11</b>	<b>1,14</b>	<b>6810,4</b>	<b>175,4</b>	<b>2,11</b>
<b>FL</b>	<b>13,18</b>	<b>1,006</b>	<b>43,17</b>	<b>422,9</b>	<b>25,84</b>

*FL: estiércol de feed lot sin procesar; DFL: digerido anaeróbico de estiércol de feed lot. C: Carbono; NTK: Nitrógeno total (semi micro Kjeldhal); N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup>: amonio; N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup>: nitrato; ST: solidos totales. El resultado de las muestras se expresó en base seca.*

### Preparación de los microcosmos

Los microcosmos se prepararon en frascos de 750 cm<sup>3</sup> con 100 g de suelo seco al aire y tamizado por 2 mm. Los mismos se humedecieron hasta el 50% del punto de saturación (PS) y se preincubaron a 25°C en oscuridad durante una semana. Se realizaron un total de 312 unidades experimentales, 24 se usaron para el test no destructivo de mineralización de C y el resto (288) se utilizaron en el test destructivo para determinar biomasa microbiana. Luego de la preincubación el suelo fue mezclado con las enmiendas ajustando la dosis a 36 mg NTK kg<sup>-1</sup> y se corrigió la humedad hasta el 60% del PS.

### Determinación de la actividad biológica del suelo

La actividad biológica se evaluó a través de la respiración del suelo por el método de absorción estática (Zibilske, 1994). El CO<sub>2</sub> producido por la actividad biológica del suelo se capturó en una solución de hidróxido de sodio formando Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>. Una vez finalizada la incubación se incorporó BaCl<sub>2</sub> (precipitaron como BaCO<sub>2</sub>) y los OH no consumidos fueron titulados con HCl utilizando solución de fenolftaleína como indicador. Se utilizaron frascos de 750 ml y viales de plástico de 50 ml. A los microcosmos se les aplicaron los tratamientos y se humedecieron con agua destilada hasta alcanzar una humedad del 60% del PS; se colocó un vial plástico por frasco con 30 ml de NaOH (0,24 N) y se incubaron en estufa durante 119 días a 25 °C. Además de los frascos con suelo se agregaron tres blancos sin suelo. Se determinó el CO<sub>2</sub> desprendido por titulación a día 1, 2, 4, 7, 14, 21, 35, 49, 70, 91 y 119.

## Estimación de la biomasa microbiana

Simultáneamente, la biomasa microbiana fue evaluada en un set separado de microcosmos bajo condiciones aeróbicas. En las mismas fechas, fueron retiradas tres réplicas de cada tratamiento. Se homogeneizó el suelo y se separó de acuerdo a la siguiente descripción: 10 g se utilizaron para determinar el contenido de humedad (gravimétrico, 105°C) y 20 g se utilizaron para la determinación de la biomasa microbiana.

La estimación de la biomasa microbiana se realizó a través del método de respiración inducida por substrato (SIR) desarrollado por Anderson y Domsch (1978). El CO<sub>2</sub> producido por la actividad biológica del suelo se capturó en una solución de hidróxido de sodio formando Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>. Una vez finalizada la incubación se incorporó BaCl<sub>2</sub> (precipitaron como BaCO<sub>2</sub>) y los OH no consumidos fueron titulados con HCl utilizando solución de fenolftaleína como indicador. Se utilizaron frascos de 750 ml con viales de plástico de 50 ml con 20 ml de NaOH (0.024 N) y las muestras de 20 g de suelo se colocaron en recipientes menores y se les agregó 0.8 ml de glucosa al 10%. El suelo se incubó durante 6 horas a una temperatura de 22°C. Una vez transcurridas las 6 horas se procedió a titular y así cuantificar la cantidad de dióxido de carbono desprendido. Para el cálculo de la biomasa microbiana (BM) se utilizó la equivalencia propuesta por Anderson y Domsch (1978) utilizando la siguiente fórmula:

$$BM = \text{mg CO}_2\text{h}^{-1} \times 0,55 \text{ ml CO}_2 \text{ mg CO}_2^{-1} \times 40 \text{ mg biomasa microbiana ml CO}_2^{-1}$$

## Coeficiente metabólico

El coeficiente metabólico (qCO<sub>2</sub>), se define como la tasa de respiración (medida como CO<sub>2</sub> desprendido) por unidad de biomasa microbiana, y por lo tanto evaluar que tan eficazmente la biomasa microbiana está utilizando el carbono disponible.

## Diseño experimental y análisis estadístico

Se utilizó un diseño experimental completamente aleatorizado con cuatro repeticiones. Los datos de actividad biológica y del coeficiente metabólico (qCO<sub>2</sub>) se analizaron a través de ANOVA doble (suelo [S] y tratamiento [T]) con parcelas divididas en el tiempo (fechas de muestreo [F]). Los datos de biomasa microbiana se analizaron a través de un anova triple (SxTx F). La actividad biológica acumulada se analizó a través de un ANOVA

doble (S y T). Para la comparación de medias se utilizó el test de diferencias mínimas significativas de Fisher (DMS). Para los análisis descriptos se utilizó el software estadístico Infostat versión estudiantil 2017 (Di Rienzo *et al.*, 2017).

## Resultados

### Dinámica de mineralización de carbono

Al momento de incorporar las enmiendas se homogenizo las muestras, generando una aireación de las mismas lo que explica la actividad en las primeras 24 h.

Al analizar el desprendimiento de CO<sub>2</sub> se observó interacción entre los factores (Tabla A1, Anexo) demostrando un efecto diferente de los tratamientos para cada suelo y fecha. Al realizar el análisis particionando por suelo también se observó interacción (Tabla A2 y A3, Anexo) por lo que el análisis se realizó particionando por suelo y fecha.

En el caso del suelo PP en el día 1 el tratamiento DFL presentó el mayor desprendimiento de CO<sub>2</sub> ( $p < 0,05$ ), mientras que los tratamientos FL y U presentaron mayores valores que el control, pero no se diferenciaron entre sí. En los días 2 y 4 los tratamientos DFL y FL presentaron los mayores valores sin diferenciarse entre sí ( $DFL = FL > C = U$ ). Entre los días 7 y 49 el tratamiento FL alcanzó mayores valores que el resto de los tratamientos ( $p < 0,05$ ). En los días 14 y 21 ningún tratamiento se diferenció del control mientras que en los días 35 y 49 el tratamiento U presentó menores valores. En el día 70 la U mantuvo menores valores que el resto de los tratamientos ( $p < 0,05$ ), mientras que Control, FL y DFL no se diferenciaron entre sí ( $p > 0,05$ ). En el día 91 U tuvo menores valores que Control y FL ( $p < 0,05$ ) sin diferencias con DFL ( $p > 0,05$ ). Finalmente, en el día 119 solo se diferenciaron FL y DFL ( $p < 0,05$ ,  $FL > DFL$ ).

En el caso del suelo HE en las primeras 24 horas el DFL mostró el mayor desprendimiento de CO<sub>2</sub> ( $p < 0,05$ ), seguido por U y FL que presentaron mayores valores que el control sin diferenciarse entre sí ( $DFL > U = FL > C$ ). Entre los días 2 y 7 el tratamiento FL alcanzó mayores valores que el resto de los tratamientos ( $p < 0,05$ ), DFL presentó mayores valores que el control en dicho período y que U los días 4 y 7. Entre el día 14 y 49 el tratamiento FL mostró los mayores valores ( $p < 0,05$ ), mientras que el resto de los tratamientos no se diferenciaron entre sí ( $p > 0,05$ ). En el día 70 FL y U presentaron los mayores valores ( $FL = U > DFL > C$ ) y finalmente en el día 119 no se encontraron diferencias significativas entre los tratamientos ( $p > 0,05$ ).

Tabla 3: Comparación de medias del desprendimiento de CO<sub>2</sub> (mg Kg<sup>-1</sup> suelo d<sup>-1</sup>) de los distintos tratamientos en las diferentes fechas en suelo Paleustol Petrocalcico.

Suelos	PP									
	1	2	4	7	14	21	35	49	70	
C	117,20 a	60,19 a	56,50 a	65,41 a	56,06 a	58,83 a	52,04 b	40,42 b	36,08 b	
U	162,63 b	59,13 a	54,38 a	62,48 a	55,06 a	59,46 a	46,01 a	33,13 a	30,63 a	
FLD	250,54 c	81,32 b	67,32 b	64,68 a	60,35 a	64,56 a	49,38 ab	36,27 ab	35,35 b	
FL	139,39 b	100,32 b	77,09 b	86,24 b	91,77 b	88,75 b	70,34 c	47,27 c	39,14 b	

PP: Paleustol Petrocalcico; C: control; U: urea; FL: estiércol de feed lot tal cual; DFL: digerido anaeróbico de estiércol de feed lot.

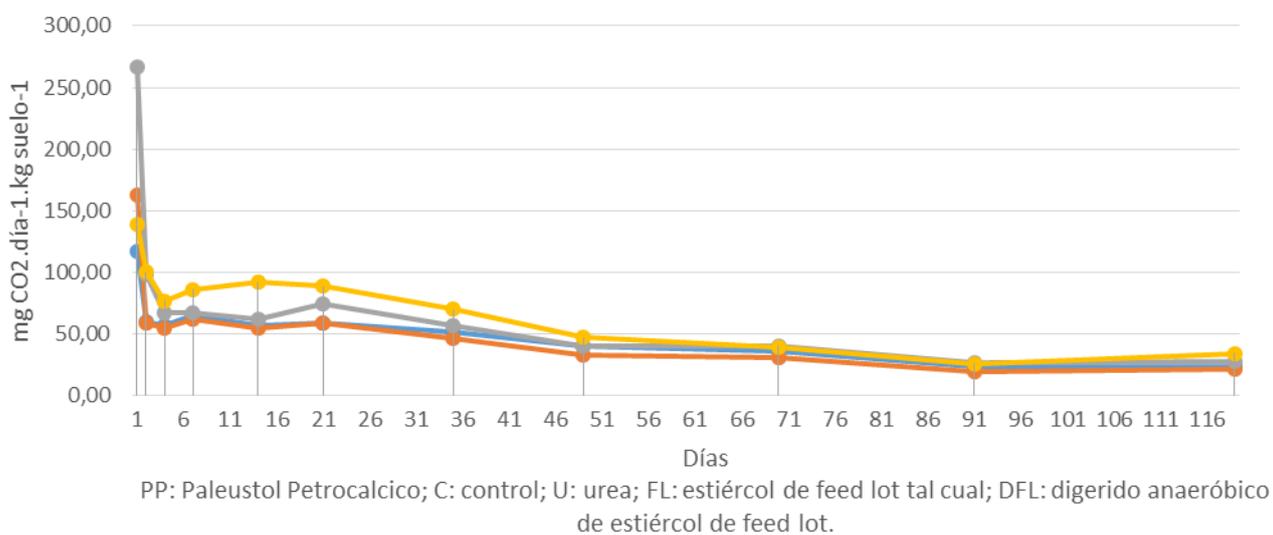


Figura 4: Tendencia del desprendimiento de CO<sub>2</sub> (mg Kg<sup>-1</sup> suelo d<sup>-1</sup>) de los distintos tratamientos en las diferentes fechas en suelo Paleustol Petrocalcico.

Tabla 4: Comparación de medias del desprendimiento de CO<sub>2</sub> (mg Kg<sup>-1</sup> suelo d<sup>-1</sup>) de los distintos tratamientos en las diferentes fechas en suelo Haplustol Éntico.

Suelos	HE											
	1	2	4	7	14	21	35	49	70	91	119	
C	111,94 a	76,03 a	60,19 a	79,79 a	71,53 a	76,56 b	69,30 a	54,12 a	45,18 a	30,67 a	24,22 a	
U	172,74 b	97,16 b	75,24 b	80,60 a	65,06 a	67,20 a	60,69 a	54,09 a	53,89 c	32,43 ab	23,55 a	
DFL	279,84 c	103,49 b	88,18 c	100,03 b	80,96 ab	74,30 b	70,46 a	52,80 a	49,03 b	31,34 a	27,55 a	
FL	164,74 b	127,77 c	102,43 d	117,33 c	95,35 b	101,58 c	80,08 b	64,99 b	54,18 c	36,96 b	31,62 a	

HE: Haplustol Éntico; C: control; U: urea; FL: estiércol de feed lot tal cual; DFL: digerido anaeróbico de estiércol de feed lot.

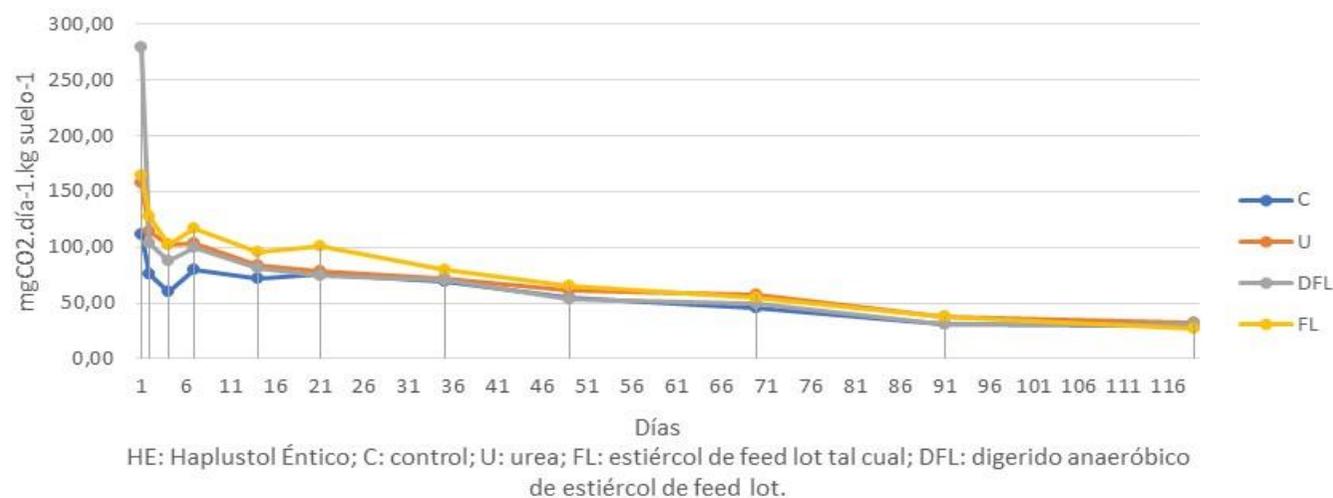


Figura 5: Tendencia del desprendimiento de CO<sub>2</sub> (mg Kg<sup>-1</sup> suelo d<sup>-1</sup>) de los distintos tratamientos en las diferentes fechas en suelo Haplustol Éntico.

## Mineralización acumulada de carbono

Al analizar el desprendimiento de CO<sub>2</sub> acumulado durante el ensayo (119 días) no se observó interacción entre los factores suelo y tratamiento (Tabla A4, Anexo). A continuación, se compararon los suelos a partir de la media entre tratamientos y los tratamientos a partir de la media de los suelos. El suelo de HE presentó mayor desprendimiento de CO<sub>2</sub> que el suelo PP ( $p < 0,05$ ).

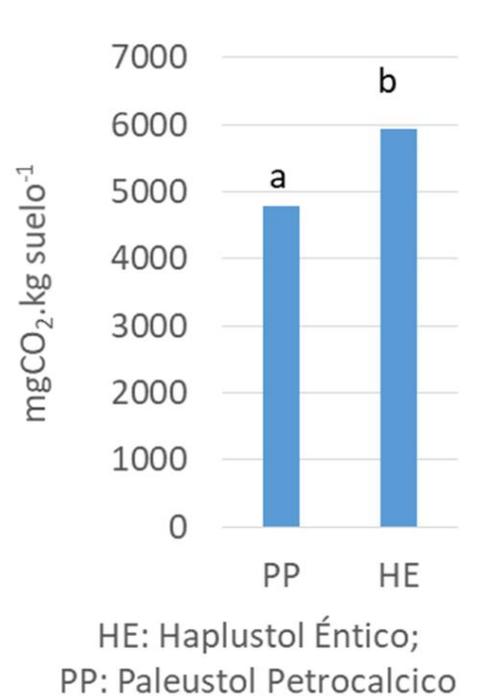


Figura 6: Desprendimiento acumulado de CO<sub>2</sub> (mg Kg<sup>-1</sup> suelo) para cada suelo.

El tratamiento FL presentó mayores valores de desprendimiento de CO<sub>2</sub> que el resto de los tratamientos ( $p < 0,05$ ), mientras que U y FLD no se diferenciaron del control ( $p < 0,05$ ).

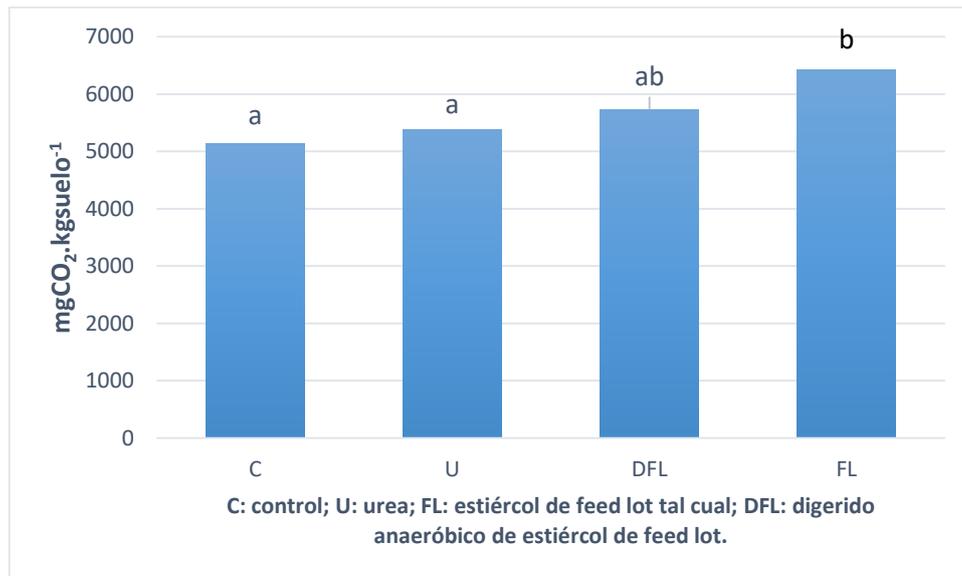


Figura 7: Efecto de los tratamientos en el desprendimiento acumulado de CO<sub>2</sub> (mg Kg<sup>-1</sup> suelo) contemplando ambos suelos.

### Biomasa microbiana

Al analizar los datos de biomasa microbiana se observó interacción entre los tres factores en el Anova triple (TxSxF, Tabla A5, Anexo) como en el Anova doble (TxF, Tabla A6, Anexo) al particionar por fecha. En consecuencia, se realizó en análisis particionando por suelo y por fecha.

Durante las primeras fechas se observaron los cambios más pronunciados en la dinámica de los tratamientos para ambos suelos (Tablas 5 y 6, y Figuras 8 y 9). No se observó un comportamiento claro de los tratamientos respecto a las características de los materiales o a la dinámica del desprendimiento de CO<sub>2</sub>, sin embargo, se observó una tendencia del FLD y el FL a incrementar la biomasa microbiana respecto al Control. A continuación, se describen los cambios observados para cada suelo.

En el suelo HE en el momento de aplicación (día 0) los suelos fertilizados presentaron mayor biomasa microbiana que el control sin diferenciarse entre ellos (Tabla 5). Entre los 2 y 14 días no se observaron diferencias significativas entre los tratamientos. En el día 21 se observó una disminución de la biomasa para todos los tratamientos respecto al Control. A los 35 y 49 días el FL y el digerido presentaron los mayores valores diferenciándose de la U y el Control. En el día 91 no hubo diferencias y en el día 119 todos los tratamientos presentaron mayor biomasa que el Control.

Tabla 5: Comparación de medias de biomasa microbiana (mg C-bmicrobiana) para los distintos tratamientos en suelo Haplustol Éntico.

Suelo HE	0	1	2	4	7	14	21	35	49	70	91	119
C	378,2 a	433,7 a	367,8 a	341,4 a	438,2 a	213,0 a	520,1 c	326,5 a	298,1 a	433,7 a	379,5 a	283,9 a
U	502,7 b	551,8 b	384,6 a	349,8 a	418,2 a	209,1 a	384,6 a	298,1 a	267,2 a	504,7 b	406,6 a	367,8 b
FLD	512,4 b	524,7 ab	396,2 a	300,7 a	469,8 a	177,5 a	463,3 b	480,1 b	384,6 b	490,5 b	428,5 a	356,2 b
FL	469,8 b	539,5 b	413,0 a	398,8 a	420,8 a	278,8 a	429,8 ab	477,5 b	353,6 b	518,8 b	436,2 a	352,4 b

HE: Haplustol Éntico; C: control; U: urea; FL: estiércol de feed lot tal cual; DFL: digerido anaeróbico de estiércol de feed lot.

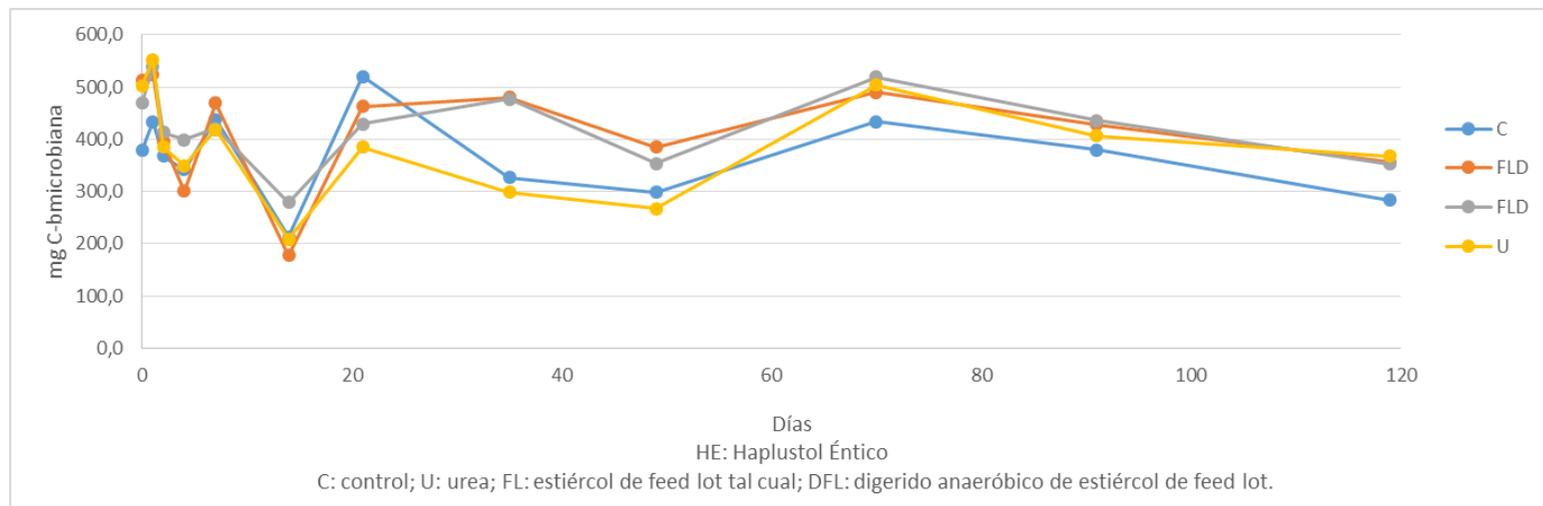


Figura 8: Dinámica de biomasa microbiana (mg C-bmicrobiana) para los distintos tratamientos en suelo Haplustol Éntico.

En el suelo PP en general el FLD y el FL presentaron mayores valores que el C y la U. A los 2, 21, 70 y 91 días no se detectaron diferencias entre tratamientos y a los 4, 14 y 35 días U presentó menores valores que el Control.

Tabla 6: Comparación de medias de biomasa microbiana (mg C-bmicrobiana) para los distintos tratamientos en suelo Paleustol Petrocalcico.

Suelo PP	0	1	2	4	7	14	21	35	49	70	91	119
C	356,2 a	345,9 a	329,1 a	310,4 b	354,9 a	245,2 b	464,6 a	317,5 b	254,3 a	398,8 a	321,4 a	335,6 a
U	349,1 a	445,3 b	321,4 a	209,1 a	507,2 b	171,7 a	385,3 a	271,0 a	373,0 bc	384,0 a	338,2 a	378,2 ab
FLD	410,4 b	485,9 b	316,2 a	274,9 b	352,4 a	251,7 b	442,7 a	333,6 b	340,7 b	487,9 a	345,9 a	407,9 bc
FL	446,6 b	470,4 b	381,4 a	313,6 b	375,6 a	254,3 b	445,3 a	431,1 c	407,9 c	536,9 a	360,1 a	432,4 c

PP: Paleustol Petrocalcico; C: control; U: urea; FL: estiércol de feed lot tal cual; DFL: digerido anaeróbico de estiércol de feed lot.

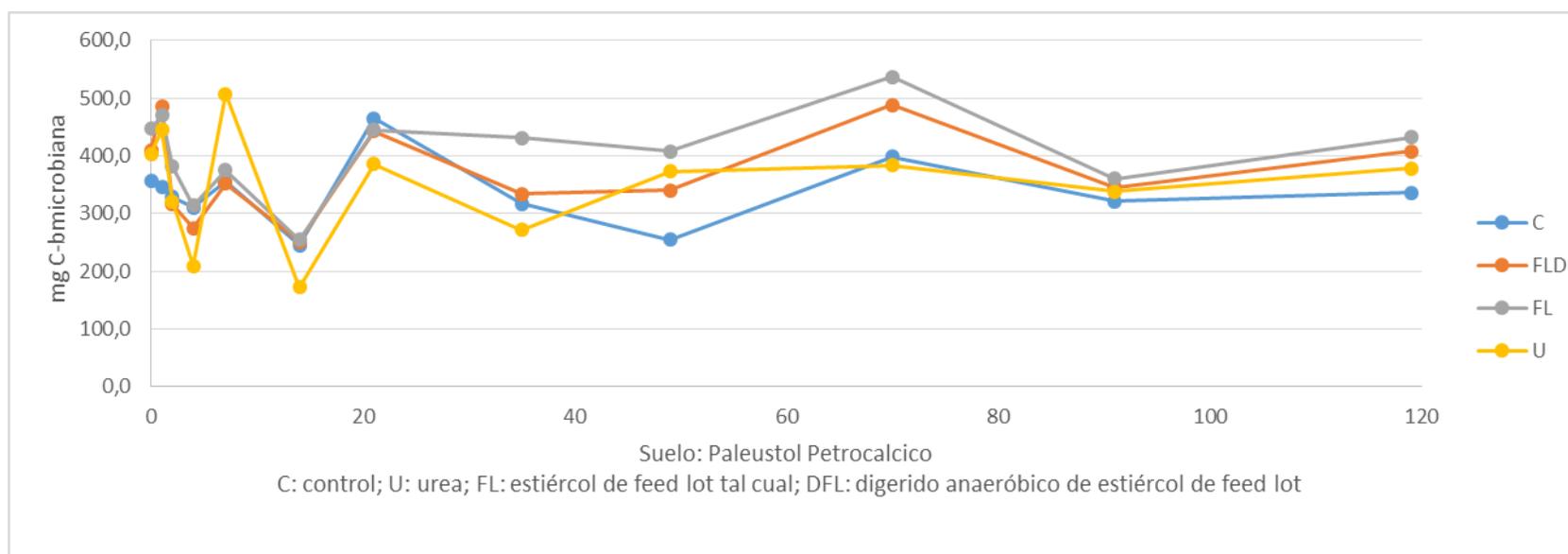


Figura 9: Dinámica de biomasa microbiana (mg C-bmicrobiana) para los distintos tratamientos en suelo Paleustol Petrocalcico.

En función de la variabilidad inicial y las posibles interferencias en la estimación de la biomasa por el método SIR, se decidió analizar en forma separada las últimas tres fechas, debido a que estas fueron las más estables, están alejadas de la aplicación de los tratamientos y podrían corresponder con la tendencia a más largo plazo. Para cada suelo no se observó interacción fecha por tratamiento por lo que se analizaron en conjunto. En el suelo HE todos tratamientos presentaron mayor valor de biomasa que el control sin diferenciarse entre sí (Figura 11).

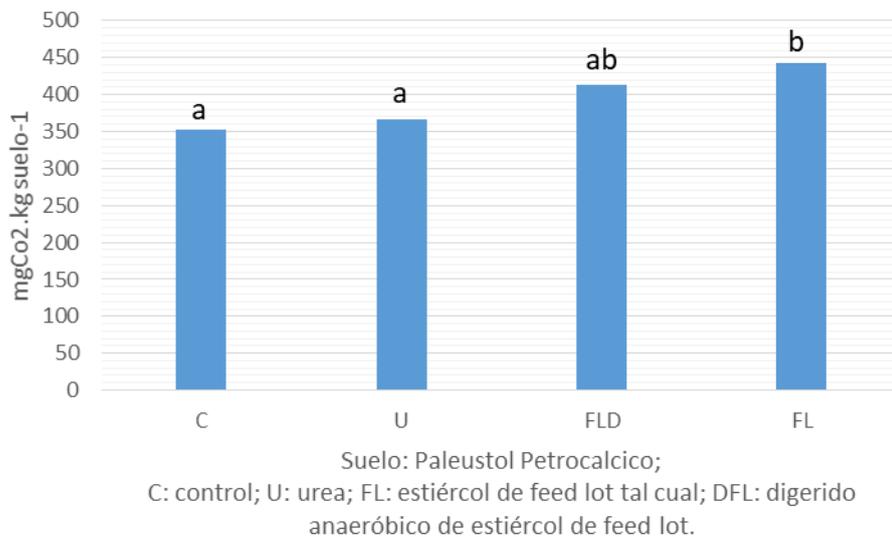


Figura 10: Comparación de medias de biomasa microbiana (mg C-bmicrobiana) para los distintos tratamientos en suelo Paleustol Petrocalcico para las fechas 70, 91, 119.

En el suelo PP, FL presentó mayor biomasa microbiana que C y U ( $p < 0,05$ ) mientras que U y DFL no se diferenciaron del control (C).

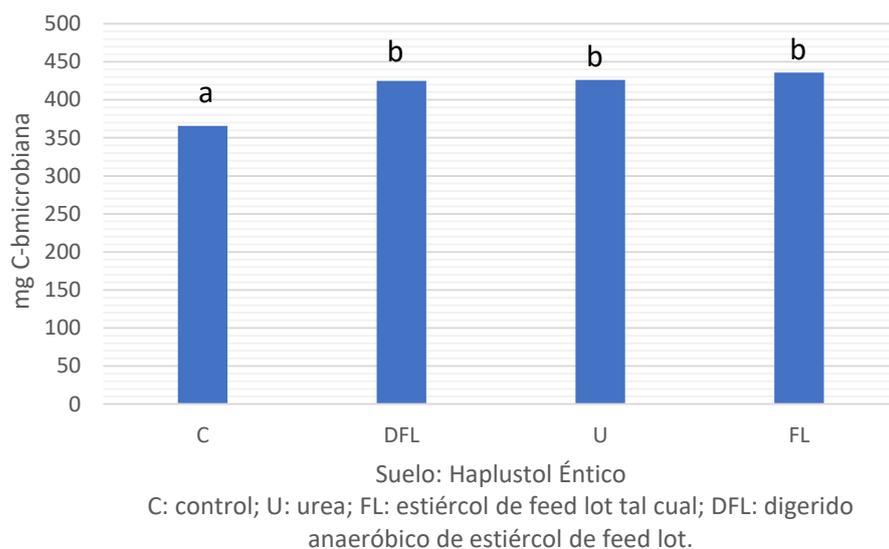


Figura 11: Comparación de medias de biomasa microbiana (mg C-bmicrobiana) para los distintos tratamientos en suelo Haplustol Éntico para las fechas 70, 91, 119.

### Coeficiente de respiración ( $qCO_2$ )

El análisis del coeficiente de respiración presentó interacción entre los factores por lo que se realizaron nuevos análisis particionando por suelo y fecha (Tabla 7 y 8; Figura 11 y 12).

A las 24 horas de aplicados los tratamientos, el DFL presentó mayores valores de  $qCO_2$  en ambos suelos. El FL presentó mayores valores a los 4 y 21 días en el suelo HE y a los 7 y 14 días en el suelo PP. En algunas fechas los tratamientos muestran algunas leves diferencias aisladas y a partir de los 70 días todos los tratamientos se estabilizaron en valores cercanos al control ( $p > 0,05$ ).

Tabla 7: Comparación de medias de coeficiente de respiración para el suelo Paleustol Petrocalcico en las distintas fechas estudiadas.

Suelos	PP																					
	1	2	4	7	14	21	35	49	70	91	119											
C	0,26	a	0,21	a	0,18	a	0,19	a	0,34	a	0,15	a	0,21	c	0,18	b	0,10	a	0,08	a	0,11	a
U	0,31	a	0,27	a	0,21	ab	0,21	a	0,29	a	0,18	b	0,20	bc	0,20	b	0,11	a	0,08	a	0,09	a
FLD	0,54	b	0,26	a	0,29	c	0,22	a	0,46	a	0,16	a	0,15	a	0,14	a	0,10	a	0,07	a	0,09	a
FL	0,31	a	0,32	a	0,26	bc	0,28	a	0,35	a	0,24	c	0,17	ab	0,18	b	0,10	a	0,08	a	0,08	a

PP: Paleustol Petrocalcico; C: control; U: urea; FL: estiércol de feed lot tal cual; DFL: digerido anaeróbico de estiércol de feed lot.

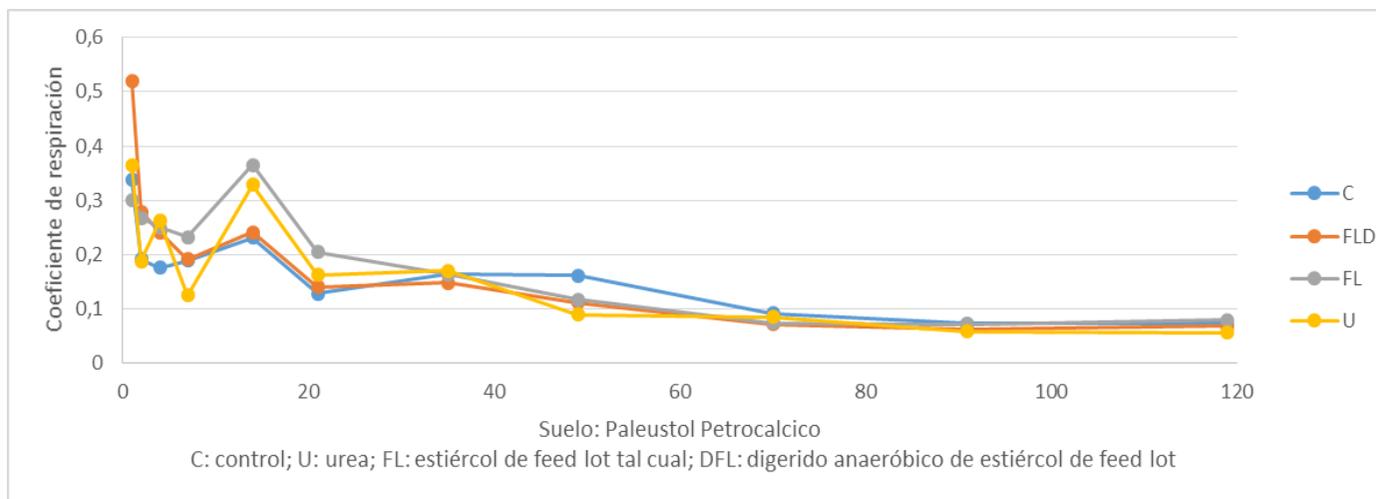


Figura 12: Dinámica del coeficiente de respiración en los distintos tratamientos en suelo Paleustol Petrocalcico.

Tabla 8: Comparación de medias de coeficiente de respiración para el suelo Haplustol Éntico en las distintas fechas estudiadas.

Suelos	HE																					
	1	2	4	7	14	21	35	49	70	91	119											
C	0,34	a	0,19	a	0,18	a	0,19	ab	0,23	a	0,13	a	0,16	b	0,16	b	0,09	a	0,07	a	0,07	a
U	0,37	a	0,19	a	0,26	a	0,12	a	0,33	ab	0,16	a	0,17	b	0,09	a	0,09	a	0,06	a	0,06	a
FLD	0,52	b	0,28	a	0,24	a	0,19	ab	0,24	a	0,14	a	0,15	a	0,11	a	0,07	a	0,06	a	0,07	a
FL	0,30	a	0,27	a	0,25	a	0,23	b	0,37	b	0,20	a	0,16	b	0,12	a	0,07	a	0,07	a	0,08	a

HE: Haplustol Éntico; C: control; U: urea; FL: estiércol de feed lot tal cual; DFL: digerido anaeróbico de estiércol de feed lot.

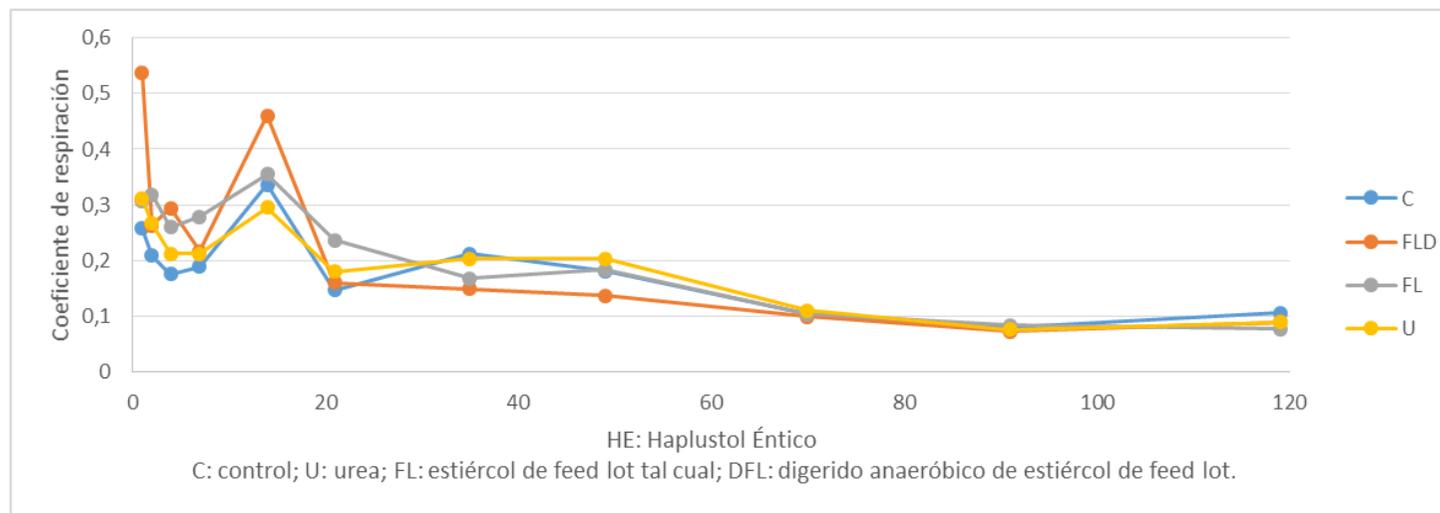


Figura 13: Dinámica de coeficiente de respiración para los distintos tratamientos en suelo Haplustol Éntico.

## Discusión

### Mineralización de carbono

El mayor desprendimiento de CO<sub>2</sub> durante el primer día generado por el digerido en ambos suelos es consecuencia del aporte de compuestos orgánicos fácilmente degradables (Iocoli, 2018). Otros autores (Iocoli et al., 2019; Alburquerque et al., 2012; Grigatti et al., 2011; Marcato et al., 2009) observaron un comportamiento similar al aplicar digeridos anaeróbicos al suelo. El control, el FL y la urea también presentaron una mayor actividad inicial en comparación con las fechas siguientes probablemente debido a la aireación provocada al homogeneizar el suelo al inicio del ensayo. El mayor desprendimiento de CO<sub>2</sub> respecto al control de los suelos tratados con estiércol (FL) durante los primeros 49 días es consecuencia de la presencia de compuestos de mayor peso molecular que se degradan lentamente (Kirchman & Witter, 1992), en concordancia con lo observado por Iocoli (2018) al aplicar al suelo la fracción sólida del efluente de tambo.

El suelo HE presentó una mayor liberación de CO<sub>2</sub> que el suelo PP, probablemente como consecuencia de la textura franco arenosa que presenta mayor aireación y menor capacidad de retener materia orgánica (Verbene et al., 1990; Hassink, 1992), mientras que el suelo de PP, de textura franca, presenta menor aireación y mayor protección física a la materia orgánica (Verbene et al., 1990) reduciendo su exposición al ataque microbiano (Elliot & Coleman, 1988).

Los suelos tratados con U y con DFL no se diferenciaron del control para el desprendimiento de CO<sub>2</sub> acumulado, mientras que FL presentó valores mayores a todos los tratamientos debido al aporte de una alta proporción de compuestos orgánicos fácilmente degradables.

### Biomasa microbiana

El incremento en la biomasa microbiana en el momento inicial (día 0) en el suelo HE tratado con urea, puede ser, en parte, consecuencia de la mayor disponibilidad de nitrógeno que promueve la degradación de la glucosa generando una mayor respuesta respiratoria que en el control, sin representar una mayor biomasa real. Este fenómeno no se observó en el suelo PP que tienen un mayor contenido de N disponible.

El aporte de compuestos orgánicos tiene un efecto positivo en la biomasa microbiana (Francioli et al., 2016). Tanto el FL como el DFL pueden aportar biomasa microbiana que justifique los mayores valores respecto al Control, pero sin embargo también es posible que esta se sobreestime por los compuestos orgánicos lábiles que podrían degradarse en el período evaluado, y el nitrógeno disponible incorporados con estos. En el caso del DFL también podría darse una saturación de la biomasa en el momento 0 al sumarse la glucosa a los compuestos lábiles aportados por el digerido, lo que produciría una subestimación de la biomasa. Estas consideraciones refuerzan lo observado previamente por Blagodatsky et al. (2000) quienes sugieren que el método SIR solo debe utilizarse para evaluar poblaciones microbianas estables y no en crecimiento.

En las últimas fechas todos los tratamientos alcanzaron mayor biomasa que el control en el suelo HE mientras que solo el tratamiento con estiércol lo hizo en el suelo PP. Esto, probablemente, sea consecuencia del menor contenido de MO del suelo HE junto con su mayor capacidad de mineralización que reduce los compuestos residuales para sostener los niveles de biomasa.

Los mayores valores de  $qCO_2$  observados en los suelos tratados con DFL puede ser consecuencia del importante aporte de compuestos carbonados lábiles, como ácidos orgánicos de cadena corta, que son intermediarios del proceso de biometanización. El incremento de compuestos lábiles puede reducir la eficiencia de utilización de C (EUC; menor proporción de C retenido como biomasa microbiana) al incrementar la relación C lábil:N lábil. Spohn et al. (2016) reportaron que incrementos en los niveles de nitrógeno reducen la tasa de utilización de carbono sin reducir la tasa de crecimiento microbiano (incrementa la eficiencia de utilización del C). Hupfauf et al. (2016) también detectaron un incremento en el coeficiente metabólico al aplicar digeridos anaeróbicos en suelos con cultivos de sorgo y amaranto, pero en ese estudio sugieren que es consecuencia de un estrés respiratorio generado por la formación de minerales fosforados recalcitrantes y la consecuente reducción del P disponible para la biomasa microbiana.

## Conclusiones

A partir de los resultados obtenidos se concluye que:

- El digerido estimuló la actividad microbiana en el momento de aplicación, pero esta rápidamente se estabilizó en valores cercanos al control.
- El digerido generó un desprendimiento acumulado similar al control y al tratamiento con urea y menor al estiércol sin procesar.
- El suelo Haplustol Éntico presentó una mayor mineralización acumulada de C.
- El método de respiración inducida por sustrato (SIR) utilizado para la estimación de biomasa microbiana no resultó adecuado para las primeras fechas debido a que hay interacción entre los tratamientos y el agregado de glucosa.
- En las últimas fechas (70-119) todos los tratamientos presentaron un incremento en la biomasa respecto al control en el suelo de Haplustol Éntico y solo el tratamiento con estiércol superó al control en el suelo de Paleustol Petrocalcico.

## Bibliografía

Abubaker, J., Cederlund, H., Arthurson, V., & Pell, M. (2013). Bacterial community structure and microbial activity in different soils amended with biogas residues and cattle slurry. *Applied Soil Ecology*, 72, 171-180.

Anderson, J. P. E., & Domsch, K. H. (1978). A physiological method for the quantitative measurement of microbial biomass in soils. *Soil biology and biochemistry*, 10(3), 215-221.

Blagodatsky, SA, Heinemeyer, O., y Richter, J. (2000). Estimación de la biomasa microbiana activa y total del suelo mediante análisis de respiración cinética. *Biología y fertilidad de los suelos*, 32 (1), 73-81.

Chadwick, D., Sommer, S., Thorman, R., Fanguero, D., Cárdenas, L., Amon, B. y Misselbrook, T. (2011). Manejo del estiércol: implicaciones para las emisiones de gases de efecto invernadero. *Animal Feed Science and Technology* , 166, 514-531.

Codagnone, R. (1991). Carta detallada de suelos de la EEA INTA Hilario Ascasubi. *Prov. de B. Aires. CIRN-INTA Castelar*.

Dietz, FJ y Hoogervorst, NJ (1991). Hacia un uso sostenible y eficiente del estiércol en la agricultura: el caso holandés. *Economía ambiental y de recursos*, 1 (3), 313-332.

Francioli, D., Schulz, E., Lentendu, G., Wubet, T., Buscot, F. y Reitz, T. (2016). Enmiendas minerales versus orgánicas: la estructura de la comunidad microbiana, la actividad y la abundancia de microbios agrícolas relevantes son impulsadas por estrategias de fertilización a largo plazo. *Frontiers in Microbiology* , 7 , 1446.

Hassink J. 1992. Effect of soil texture and structure on carbon and nitrogen mineralization in grassland soils. *Biol Fertil Soils* 14: 126-134.

Herrán, J. A. F., Torres, R. R. S., Martínez, G. E. R., Ruiz, R. M., & Portugal, V. O. (2008). Importancia de los abonos orgánicos. *Ra Ximhai: revista científica de sociedad, cultura y desarrollo sostenible*, 4(1), 57-68.

Hupfauf, S., et al., Biogas digestates affect crop P uptake and soil microbial community composition, *Sci Total Environ* (2015),.

Iocoli, G. A. (2018). Estudio integrado sobre la reutilización de residuos agropecuarios: caracterización, mineralización y capacidad fertilizante en suelos frágiles. Tesis Doctor en Agronomía. Universidad Nacional del Sur, Bahía Blanca, Argentina. 154 pag.

Massé, DI, Talbot, G. y Gilbert, Y. (2011). Producción de biogás en la granja: un método para reducir las emisiones de GEI y desarrollar operaciones ganaderas más sostenibles. Ciencia y tecnología de alimentación animal. 166 , 436-445

ORDEN, L., IOCOLI, G., & GÓMEZ, M. MINERALIZACIÓN DE N POSAPLICACIÓN DE ENMIENDAS ORGÁNICAS AL SUELO (2016).

Rinland M E. 2015. Biodegradación anaeróbica del residuo de la producción de cebolla del Valle Bonaerense del Río Colorado. Tesis de Doctor en Agronomía. Universidad Nacional del Sur, Bahía Blanca, Argentina. 173 pag.

Rohstoffe eV, F. N. (2012). Guide to Biogas From Production to Use. Gülzow-Prüzen, Germany, 75.

Spohn, M; Pötsch, EM; Eichorst, SA; Woebken, D; Wanek, W; Ritchter, A. 2016. Soil microbial carbon use efficiency and biomass turnover in a longterm fertilization experiment in a temperate grassland. Soil Biology & Biochemistry 97:168-175.

Verberne E L J, Hassink J, De Willigen P, Groot J J R, Van Veen J A 1990. Modelling organic matter dynamics in different soils. Neth J Agric Sci.38: 221-238.

[www.enargas.gob.ar/home.php](http://www.enargas.gob.ar/home.php). 5/10/20

[www.ipcva.com.ar](http://www.ipcva.com.ar); Instituto de la Promoción de la Carne Vacuna Argentina. 5/10/20

## ANEXO

Tabla A1. Análisis de varianza doble con parcela dividida en el tiempo (SxTxF)

Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV	
mg CO <sub>2</sub> .d-1(Min)	244	0,98	0,97	10,68	
Cuadro de Análisis de la Varianza					
F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	465659,76	84	5543,57	100,17	<0,0001
Tratamiento	24686,25	3	8228,75	148,69	<0,0001
Suelos	13891,6	1	13891,6	251,02	<0,0001
Dias	353627,76	10	35362,78	639,01	<0,0001
Tratamiento*Dias	68747,82	30	2291,59	41,41	<0,0001
Suelos*Dias	2306,66	10	230,67	4,17	<0,0001
Tratamiento*Dias*Suelos	2399,67	30	79,99	1,45	0,0774
Error	8799,05	159	55,34		
Total	474458,8	243			

Tabla A2. Análisis de varianza con parcela dividida en el tiempo (TxF) para el suelo de H. Ascasubi (HE).

Suelos	Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
HE	mg CO <sub>2</sub> .d-1	122	0,99	0,98	8,38
Cuadro de Análisis de la Varianza					
F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	257865,59	45	5730,35	134,79	<0,0001
Tratamiento	15148,97	3	5049,66	19,91	0,0482
Tratamiento>UE	507,2	2	253,6	5,97	0,0039
Dias	198258,76	10	19825,88	466,35	<0,0001
Tratamiento*Dias	43950,66	30	1465,02	34,46	<0,0001
Error	3231	76	42,51		
Total	261096,59	121			

Tabla A3. Análisis de varianza con parcela dividida en el tiempo (TxF) para el suelo de Naposta (PP).

Suelos	Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
Naposta	mg CO <sub>2</sub> .d <sup>-1</sup>	122	0,98	0,96	12,56
Cuadro de Análisis de la Varianza					
F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	192378,01	45	4275,07	71,89	<0,0001
Tratamiento	8038,34	3	2679,45	1839,42	0,0005
Tratamiento>UE	2,91	2	1,46	0,02	0,9758
Días	157490,25	10	15749,02	264,85	<0,0001
Tratamiento*Días	26846,51	30	894,88	15,05	<0,0001
Error	4519,2	76	59,46		
Total	196897,21	121			

Tabla A4. Análisis de varianza doble (TxS) para el desprendimiento de CO<sub>2</sub> acumulado.

Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV	
mg CO <sub>2</sub>	22	0,93	0,90	5,64	
Cuadro de Análisis de la Varianza					
F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	19250784,5	7	2750112,08	28,54	<0,0001
Suelo	10589555,5	1	10589555,5	109,89	<0,0001
Tratamiento	7346841,24	3	2448947,08	25,41	<0,0001
Suelo*Tratamiento	401070,60	3	133690,20	1,39	0,2877
Error	1349102,02	14	96364,43		
Total	20599886,5	21			

Tabla A5. Análisis de varianza triple (TxSxF) para la biomasa microbiana (mg C de la biomasa).

Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV	
mg C-bmic	283	0,85	0,77	11,76	
Cuadro de Análisis de la Varianza					
F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	2112985,1	92	22967,23	11,28	<0,0001
Tratamiento	159797,88	3	53265,96	26,15	<0,0001
Suelos	91992,86	1	91992,86	45,16	<0,0001
Días	1341491	11	121953,73	59,87	<0,0001
Tratamiento*Días	264172,78	33	8005,24	3,93	<0,0001
Suelos*Días	114409,14	11	10400,83	5,11	<0,0001
Tratamiento*Días*Suelos	141121,43	33	4276,41	2,1	0,001
Error	387011,24	190	2036,9		
Total	2499996,4	282			