



Trabajo de intensificación Ingeniería Agronómica

**USO DE DIGERIDO ANAERÓBICO DE FEEDLOT COMO
FERTILIZANTE: EFECTO SOBRE EL CRECIMIENTO DE
RAIGRAS PERENNE EN DOS SUELOS
CONTRASTANTES DEL SUDOESTE BONAERENSE**

BUGIOLACCHIO, ROMINA

Docente Tutor: Dr. Gastón A. Iocoli

Docentes Consejeros: Dra. Celina Zabaloy – Dr. Juan Manuel Martínez

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SUR

Departamento de Agronomía

BAHÍA BLANCA

ARGENTINA

2020

Agradecimientos

Agradezco principalmente a mis padres Miriam y Antonio; a mis hermanas María Laura y Camila por acompañarme y apoyarme en este camino.

A mi docente tutor por brindarme la ayuda necesaria para poder realizar mi tesis.

Al Departamento de Agronomía de la UNS por la cesión del invernadero y laboratorio para efectuar los ensayos experimentales.

A Semillera Guasch por las semillas de *Lolium perenne*.

A la empresa Argentierra S.A. por el estiércol bovino.

Al CERZOS (UNS-CONICET) por la financiación del ensayo a través del proyecto P-UE2016.

Resumen

El crecimiento de las producciones bovinas intensivas (*feedlots*) produce una gran cantidad de residuos, los cuales constituyen una fuente de contaminación con numerosos efectos negativos sobre el medio ambiente y los recursos naturales. Es importante realizar un manejo adecuado de los residuos generados con el fin de atenuar estos efectos. Estos desechos podrían ser reciclados en forma directa (aplicados como enmienda), tratados de forma aeróbica (compostaje) o anaeróbica (digestión anaeróbica). La digestión anaeróbica es la degradación de compuestos orgánicos en ausencia de oxígeno, generando como producto principal biogás (energía renovable compuesta mayoritariamente por CH_4 y CO_2) y un subproducto denominado digerido anaeróbico. En este trabajo se evaluó el efecto de aplicación de digerido de estiércol bovino en forma fraccionada y a la siembra, en comparación con el estiércol sin procesar, fertilizante sintético y un control sin agregados utilizando raigras (*Lolium perenne* L.) como cultivo indicador de fertilidad. Los tratamientos empleados fueron: control, estiércol sin procesar, urea y digerido anaeróbico, los últimos dos con aplicaciones en una única dosis a la siembra y con aplicaciones fraccionadas. Se emplearon dos suelos contrastantes del SOB (Napotá y Ascasubi). Durante el desarrollo del cultivo se determinó el área de cobertura y la altura de las plantas en forma semanal y se calculó el volumen de biomasa (altura x área de cobertura). Se realizaron 5 cortes en los cuales se determinó el peso seco y fresco de la biomasa. Los resultados obtenidos demostraron que la aplicación de digerido en forma fraccionada logró la mayor producción acumulada de biomasa, ambas formas de aplicación igualaron o superaron la producción de la urea y el estiércol, demostrando el potencial de reemplazar a los fertilizantes sintéticos, de mejorar el aprovechamiento del estiércol sin procesar y de reducir la contaminación ambiental.

Índice General

Agradecimientos	I
Resumen	II
INTRODUCCIÓN.....	1
1.1 Sistema de engorde a corral (<i>feedlot</i>)	1
1.2 <i>Feedlots</i> en Argentina	2
1.3 Consecuencias de la producción intensiva.....	3
1.4 Consideraciones para un manejo adecuado	5
1.5 Sistemas de tratamiento y reciclaje de residuos.....	8
1.5.1 Estiércol sin procesar: uso como enmienda	8
1.5.2 Degradación aeróbica: compostaje	9
1.6 Digestión anaeróbica	11
1.6.1 Características generales de Biogás	13
1.6.2 Digerido anaeróbico: uso como enmienda.....	14
1.7 <i>Lolium perenne</i> (nv: raigras perenne).....	15
1.7.1 Crecimiento, manejo y utilización	15
1.8 Objetivo general.....	17
1.9 Objetivos específicos	17
MATERIALES Y MÉTODOS.....	18
2.1 Suelos y enmiendas.....	18
2.2 Desarrollo del ensayo	19
2.3 Diseño experimental y análisis estadístico	23
RESULTADOS	24
DISCUSIÓN.....	30
CONCLUSIÓN.....	34
BIBLIOGRAFÍA.....	35

ANEXO 40

INTRODUCCIÓN

1.1 Sistema de engorde a corral (*feedlot*)

El engorde a corral o *feedlot* es una metodología de producción que se utiliza para convertir granos y/o silaje en carne. Consiste en mantener los animales en corrales, sin permitir el acceso a pastoreo voluntario o directo (Figura 1). Reciben el alimento en comederos distribuidos proporcionalmente en base a la cantidad de animales en el establecimiento. La alimentación se basa en raciones formuladas dependiendo de la demanda de los animales, basada principalmente en concentrados. En nuestro país los corrales para engorde están a cielo abierto, hechos de postes y alambrados de la forma tradicional.



Figura 1. Sistema de engorde a corral.

Fuente: SENASA. 2017

La implementación de este sistema aumentó debido a que permite eliminar cultivos forrajeros de las rotaciones de suelos incrementando los lotes agrícolas, obtener una mayor carga animal (cantidad de animales por unidad de superficie) y al mismo tiempo asegurar la terminación, la edad a faena, diversificar la producción, etc. Existen dos tipos de establecimientos, los que realizan el encierre de sus propios animales, y los

que prestan servicios a terceros (hotelería). Los establecimientos que encierran sus propios animales lo realizan de acuerdo a los objetivos o necesidades de cada productor en particular, algunos mantienen los animales durante todo el año en los corrales, otros solo lo utilizan para cría, recría o engorde final y/o terminación de los animales, mientras que los servicios de hotelería son con encierro permanente.

Para la implementación de este sistema se debe tener en cuenta en primer lugar el objetivo de la empresa, con sus restricciones y oportunidades, seguido del tipo de animal que se utilizará y el número de animales destinados a la producción. Una vez resuelto el objetivo principal, se debe tener en cuenta la ubicación en la que se va a encontrar el establecimiento, la dieta de los animales, la forma de suministro etc. Para diseñar el sistema productivo no solo se deben considerar los aspectos relacionados directamente con la producción, sino el manejo de las excretas y efluentes, debido a las consecuencias que estos residuos generan en el ambiente, los cuales serán descritos en los apartados siguientes de este trabajo. Todos estos aspectos son necesarios para poder lograr una producción rentable y sostenible en el tiempo teniendo en cuenta no solo el aspecto económico, sino también el impacto ambiental y social que genera esta actividad.

Este sistema de engorde permite obtener terminaciones uniformes y de calidad, una exigencia muy importante para el mercado actual. Al mismo tiempo permite obtener un engorde acelerado. En la mayoría de los establecimientos de la región la dieta se basa en mezclas con incorporación de grano (entero o molido), con un concentrado proteico (de origen comercial o subproductos como harina de girasol o soja), un núcleo vitamínico-mineral y por último el aporte de fibra a través de rollos (enteros o molidos). En algunos casos, adicionalmente se incorpora urea para aportar nitrógeno y estimular la producción de proteína ruminal, reduciendo el agregado de harinas proteicas (Por domingo, 2003).

1.2 Feedlots en Argentina

La producción ganadera argentina, históricamente se desarrolló de forma extensiva. Durante las últimas décadas, debido a la expansión agrícola, se desplazó la producción animal hacia áreas de menor productividad. En respuesta a este proceso, el engorde a corral comenzó a expandirse hacia fines de la década del 90 y comienzos

del 2000, dando como resultado la intensificación de la producción, con utilización dietas elaboradas conforme a los requerimientos animales.

En sus comienzos este sistema se caracterizó por ser de estructuras básicas y de baja inversión, de escala pequeña (pocos animales) y de características estacionales (preferentemente de invierno y primavera). En cuanto a su distribución geográfica se han concentrado en la región pampeana extendiéndose hacia el noroeste argentino, siguiendo la expansión de la producción de granos y de subproductos (Pordomingo, 2003). Actualmente el mayor porcentaje de *feedlot* se encuentra en la provincia de Buenos Aires alcanzando el 63% de los mismos, luego se ubican Santa Fe con el 15% y Santiago del Estero con el 7% (SENASA IPCVA., 2019). Esta distribución posiblemente sea debida a que allí se encuentran las principales plantas de faena y los grandes centros urbanos de consumo. En septiembre de 2008 se registraron 1420 establecimientos de *feedlot* en Argentina, con un promedio de 1,6 millones de cabezas, para el año 2013 el número aumentó a 1679 establecimientos con un promedio de 1,2 millones de cabezas (SENASA, 2013). Este año (2019) se registraron 1205 establecimientos y 1,5 millones de cabezas, observándose una disminución en el número de establecimientos, pero un incremento en la cantidad de animales mostrando una mayor intensificación.

Dentro de las producciones intensivas las categorías más rentables para la economía argentina, son los animales más jóvenes y de menor peso, es decir más livianos, debido a que estos provocan una mayor eficiencia de conversión de alimento y aumento de peso (Pordomingo, 2003).

1.3 Consecuencias de la producción intensiva

La producción intensiva animal reduce los costos, pero da lugar a la generación de una gran cantidad de desechos orgánicos que implican un importante riesgo ambiental, pudiéndose generar graves problemas de contaminación (Kunz et al., 2009). El término residuo tiene en cuenta todos los desechos originados en el lugar y se definen como efluentes a la mezcla de tierra, restos de alimento, agua y orina (Charlón, 2007).

Los residuos originados que no se gestionan correctamente, provocan efectos negativos sobre el medio ambiente debido a la contaminación química y biológica que

estos ocasionan sobre el suelo, el aire y cursos de agua presentes en el área que rodean los establecimientos.

Diariamente en los corrales se genera un gran volumen de deyecciones, las cuales se depositan sobre el suelo provocando una elevada acumulación sobre el piso (García et al., 2012) esto sucede por la presencia de un elevado número de cabezas en una superficie reducida. Como ejemplo un establecimiento de 5000 animales, con un promedio de peso de 250 kg/animal, genera entre 42500-47500 kg de estiércol y 15000-22500 kg de orina por día (Cole et al., 2009).

La mayoría de los establecimientos de engorde a corral no poseen un sistema adecuado para almacenar los efluentes (piletas de acumulación), o no se encuentran correctamente construidas y como consecuencia genera una gran contaminación de las aguas subterráneas y superficiales (Sweeten, 2000).

Los nutrientes provenientes de la degradación de la materia orgánica (García y Iorio, 2003) incorporados a los cursos de agua generan enriquecimiento de nutrientes o eutrofización, estimulando la proliferación de algas y bacterias en superficie (Bernad, 1999) y como consecuencia impiden el pasaje de luz afectando el desarrollo de las especies acuáticas que se encuentran en profundidad, las cuales son fuente de protección para peces y crustáceos. De esta forma se genera un desequilibrio de las poblaciones biológicas acuáticas y se ve afectada la diversidad de especies. Al mismo tiempo provoca el aumento de la concentración de amoníaco, generando toxicidad sobre el medio, y hasta en algunos casos la muerte de peces. La susceptibilidad por amoníaco varía según la especie, concentraciones bajas como 0,01 mg/L, pueden perjudicar a la fauna acuática (Herrero et al., 2008).

Los efluentes contienen residuos de drogas de uso veterinario, hormonas, virus y bacterias (Herrero et al., 2008), las cuales si son ingeridas resultan perjudiciales para la salud humana. Perdomo et al. (2001) durante una investigación realizada en zonas agrícolas de sudoeste de Uruguay determinaron un elevado número de bacterias coliformes (provenientes del intestino animal) en aguas subterráneas y superficiales, por lo que concluyó que el incremento de estas bacterias estaba estrechamente relacionado a la presencia de *feedlots* en la zona.

Por otro lado, la fermentación entérica del ganado libera compuestos volátiles (gases) los cuales producen efectos negativos sobre la atmósfera, estos gases se denominan gases de efecto invernadero (GEI). El gas metano (CH_4) es el más importante ya que tiene un gran potencial de calentamiento global, 25 veces superior al CO_2 (IPCC AR4, Foster et al., 2007). Adicionalmente, los gases NH_3 y H_2S tienen efecto irritante, mientras que CH_4 y CO_2 producen un efecto asfixiante (Rodríguez, 2002), provocando consecuencias negativas en el bienestar humano y animal. De acuerdo a un informe realizado por la FAO (2011), la ganadería es responsable del 18% de las emisiones mundiales de (GEI).

En sistemas de producciones intensivas se concentra un gran número de animales en una superficie reducida, por lo tanto, la emisión de CH_4 /superficie ganadera utilizada va a ser mayor comparado a un sistema de producción extensivo (Rodríguez., 2002). De lo contrario en una producción ganadera extensiva, se genera una mayor producción de CH_4 /animal, pero el aporte de CH_4 /superficie ganadera resulta ser menor (Bernard et al., 2007).

Los efectos negativos antes mencionados, son provocados como consecuencia de que la mayoría de los *feedlots* no están diseñados correctamente (Pordomingo, 2014). Es de crucial importancia para la actividad agropecuaria, la salud humana y el medio ambiente establecer la regulación de los parámetros de operación, llevar a cabo la correcta instalación y así realizar un manejo más eficiente de los establecimientos intensivos.

1.4 Consideraciones para un manejo adecuado

La instalación de los sistemas intensivos debe realizarse a cielo abierto, en sitios altos con drenaje adecuado para evitar el escurrimiento superficial y la infiltración que se genera en los corrales. Los establecimientos deben posicionarse en zonas donde no haya peligro de contaminación de recursos hídricos superficiales y subterráneos, teniendo en cuenta la profundidad donde se encuentre la napa freática. Con una profundidad mayor a 2 metros el riesgo de contaminación es muy bajo (Pordomingo, 2003).

Debido a los olores desagradables provenientes de la descomposición del estiércol, la ubicación del establecimiento debe realizarse teniendo en cuenta los vientos predominantes de la zona, además se recomienda que se localicen a más de 10 kilómetros de los centros urbanos para evitar el impacto negativo sobre la población.

Las pendientes no deben superar el 4-5%, para que el escurrimiento de los efluentes sea de manera lenta y gradual hacia las lagunas de almacenamiento, tampoco menores al 2% porque provocaría anegamiento e infiltración excesiva.

Los efluentes líquidos deben ser conducidos mediante caminos o canales de la manera más eficientemente posible hacia lagunas de almacenamiento. Las lagunas deben ser de gran superficie y con una estructura adecuada para almacenar los efluentes por largos periodos de tiempo. La superficie debe ser impermeable para evitar la contaminación e infiltración (Walker, 1995). En un trabajo realizado sobre el manejo de *feedlots* en la Región Metropolitana de Buenos Aires (Zorich y García, 2017), se realizó una estimación del tamaño adecuado que deberían tener las lagunas para contener todo el efluente que se genera luego de ocurridas las máximas lluvias registradas para la zona, y los resultados obtenidos fueron que solamente un 15% de las lagunas se encontraban bien diseñadas.

Es importante considerar el manejo de los excrementos para reducir el impacto que estos generan sobre los recursos como el aire, el suelo y el agua (Morse, 1995), mencionados anteriormente. Se deben realizar limpiezas periódicas de los corrales y sus alrededores para evitar suciedad, enfermedades varias y hasta en algunos casos consecuencias sobre los miembros inferiores de los animales (Pordomingo, 2003). Al mismo tiempo el estiércol que se encuentra en la superficie está expuesto a pisoteo, biodegradación y alteraciones físico químicas, por lo tanto cuanto mayor sea el período de permanencia de los excrementos en los corrales, mayores serán las pérdidas de nitrógeno y potasio, y en consecuencia menor el valor como fertilizante de este material (Elliot et al., 1972).

Para realizar un correcto planeamiento del sistema es de gran utilidad y practicidad construir un esquema previo (Figura 2), donde se observe la distribución de cada área, teniendo en cuenta la localización de corrales, lagunas de almacenaje de efluentes, caminos, silos donde se almacena el alimento y otros sitios de interés.

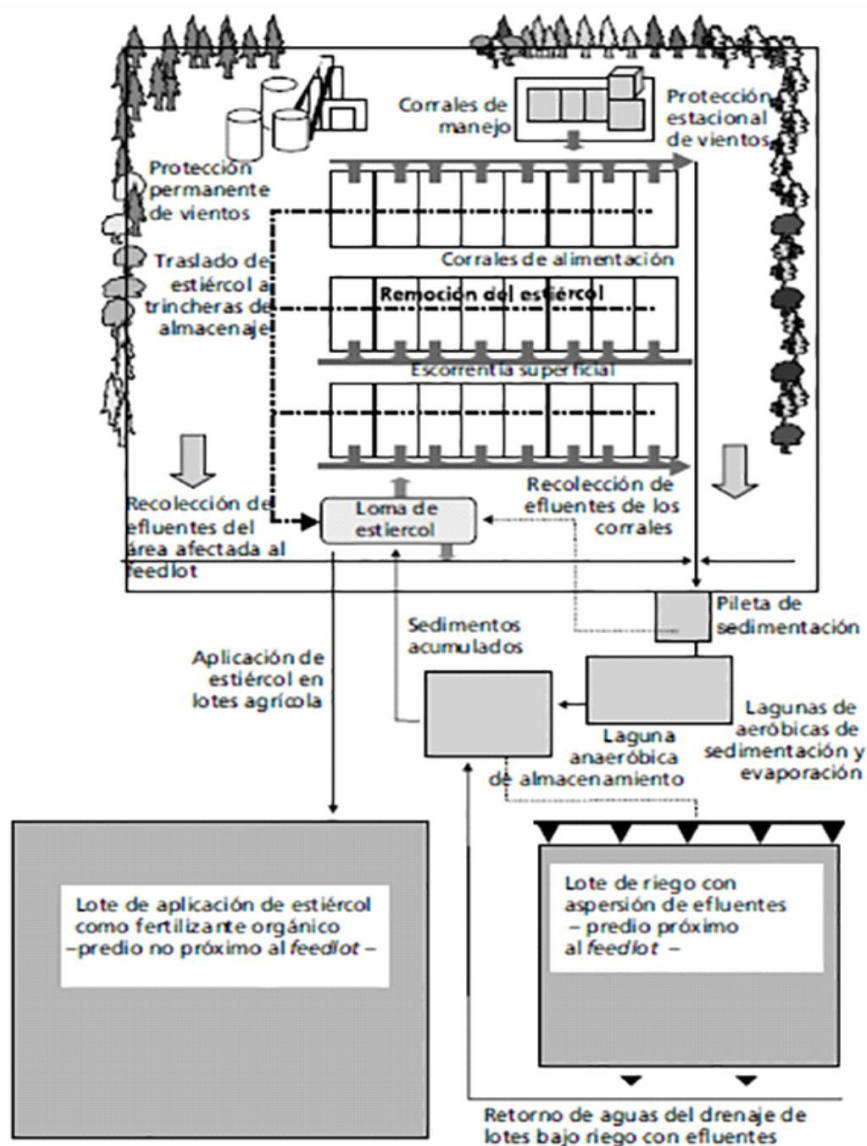


Figura 2: Ejemplo de un esquema de diseño de feedlot.
Fuente: Pordomingo, 2003.

Generalmente, todas las prácticas recomendadas para el correcto funcionamiento de establecimientos de *feedlots* no se tienen en cuenta al momento de implementar estos sistemas por diferentes causas: desconocimiento de la legislación, falta de control estatal, pequeños márgenes de ganancia, altos costos de producción y la falta de conciencia sobre el impacto negativo que los residuos generan sobre el medio ambiente.

Por otro lado, debido a la escasa información del potencial como fertilizante de los residuos ganaderos, la aplicación agronómica de estos no es una práctica que se realice normalmente en la agricultura.

1.5 Sistemas de tratamiento y reciclaje de residuos

Los efluentes líquidos generados en los corrales y alrededores se localizan en lagunas de almacenamiento (Pordomingo, 2003). Por su parte, los residuos sólidos (resto de alimento y heces) son retirados de los corrales con maquinarias y ubicados sobre un terreno alto con piso de hormigón, con una pendiente adecuada para que los lixiviados generados sean dirigidos hacia lagunas de almacenamiento. Existen distintos sistemas de tratamientos para reutilizar los nutrientes y/o el potencial energético de los residuos y efluentes. Dentro de estos tratamientos, se considerarán: el compostaje (proceso biológico aeróbico) y la digestión anaeróbica.

1.5.1 Estiércol sin procesar: uso como enmienda

Los estiércoles sin procesar aportan nutrientes a las plantas (Engwall y Schnürer, 2002), pero su uso como fertilizante posee ciertas desventajas respecto a estiércoles procesados (compost y digeridos). El principal inconveniente es que posee una baja mineralización en el corto plazo (Abbasiet al., 2007), ofreciendo cantidades insuficientes de nutrientes en relación a las demandadas por los cultivos. Por otro lado, la mayoría de los estiércoles tienen una elevada relación C/N (Varela y Basil., 2011), lo que provoca una inmovilización de nitrógeno y por ende una menor disponibilidad para el cultivo. Esto hace necesaria la aplicación anticipada, sin embargo, es muy compleja la sincronización entre “la oferta y la demanda de nutrientes”. Otra desventaja importante es que poseen compuestos fitotóxicos que pueden afectar al cultivo, semillas de malezas y patógenos, adicionalmente generan olores desagradables y contribuyen a la producción de gases de efecto invernadero (Iocoli, 2018).

En trabajos realizados por Wells y Butterfield (1997), el estiércol aplicado sin tratamiento previo fue causa de transmisión de patógenos en hortalizas frescas, por lo tanto, se recomienda que antes de la utilización de estiércoles como fertilizantes, estos reciban un tratamiento adecuado, para aprovechar su utilización como enmienda y disminuir los efectos negativos (Vázquez, 2011).

1.5.2 Degradación aeróbica: compostaje

El proceso de compostaje consiste en la descomposición biológica de residuos orgánicos en presencia de oxígeno (aerobia). Durante este proceso los microorganismos consumen oxígeno y se produce la liberación de calor, CO_2 y H_2O . Como resultado se obtiene un producto estable, libre de patógenos originando grandes beneficios cuando es aplicado al suelo (Peña, 2002).

El compost se puede realizar con distintos tipos de residuos orgánicos: restos de cosecha (ramas, hojas caídas, rastrojo, etc.), con estiércol animal (vacuno, porcino, ovino y sus camas de corral), restos de cocina (frutas, hortalizas, cáscara de huevo), virutas de aserrín, aceites y grasas comestibles pero estas últimas en pequeñas cantidades. Los objetivos principales del compostaje son: reducir el volumen de estiércol producido, estabilizar la materia orgánica e higienizar los residuos incorporados. El proceso es clave para asegurar que su uso como enmienda agrícola no influya negativamente sobre las propiedades del suelo o el crecimiento del cultivo.

El proceso comienza con la homogenización del residuo, luego se acumula formando una pila sobre la superficie del suelo (Figura 3).



Figura 3. Pilas de compostaje.

Fuente: Campos Pozuelo et al., 2004.

Para que el proceso ocurra de manera adecuada se deben tener en cuenta parámetros como pH, relación C/N, humedad y porosidad (Bernal et al., 2009). El pH influye sobre la actividad de los microorganismos, generalmente las bacterias toleran (pH: 6-7,5), los hongos pueden tolerar un rango mayor (pH: 5-8). La relación C/N

adecuada para comenzar el compostaje debe ser entre 25-35, pero puede variar de acuerdo a las materias primas que conforman el compost.

El carbono es mayormente aportado por los restos de poda, hojas muertas, paja, heno seco etc. El nitrógeno es aportado principalmente por deyecciones animales y vegetales jóvenes. La temperatura debe ser controlada, sobre todo al comienzo, donde se producen los mayores cambios y la temperatura se eleva. La humedad correcta debe ser entre 40%-60%, si es elevada el agua ocupará los poros y el proceso se transformará en anaeróbico, y como consecuencia ocurrirá la putrefacción de la materia orgánica. De lo contrario, si la humedad es baja disminuye la actividad de los microorganismos y el proceso se vuelve más lento (Varela y Basil., 2011). Durante el proceso de compostaje se debe realizar la aireación de las pilas para favorecer la actividad de los microorganismos y garantizar la descomposición de los residuos. El manejo de las pilas depende de la estación del año, del lugar donde se realicen y de las variaciones climáticas (Roman et al., 2013).

Se diferencian cuatro fases en el proceso. La primera corresponde a la “fase mesófila” correspondiente a temperaturas entre (25-40°C), donde los compuestos fácilmente degradables (azúcares y proteínas) son degradados por bacterias y hongos. La segunda se denomina “fase termófila” produciendo temperaturas entre 60 y 85°C. Si durante el proceso la temperatura es mayor a los 80°C se produce la destrucción de patógenos, semillas de malezas y larvas de insectos (Bernal et al., 2009). La tercera etapa se denomina “fase de enfriamiento” en la cual la temperatura desciende por la reducción de sustratos para la degradación. La última etapa se denomina “fase de maduración”, donde se obtiene humus (factor que aporta estabilidad y fertilidad al suelo). El producto obtenido debe ser estable y maduro. La estabilidad hace referencia al grado de transformación del sustrato en materiales orgánicos más estables y la madurez está relacionada al grado de descomposición de compuestos perjudiciales para las plantas, a la ausencia de patógenos y semillas de malezas (Mazzarino et al., 2012; Azimet et al., 2017).

Durante el procesamiento se logra obtener un menor tamaño de partícula, desciende la relación C/N, el pH se neutraliza, se incrementa el contenido de humus y aumenta la capacidad de intercambio catiónico (CIC) (Roman et al., 2013). Las especies de

microorganismos involucrados en el proceso y los cambios químicos que suceden en el varían de acuerdo a la composición del material compostado (Varela y Basil., 2011).

1.6 Digestión anaeróbica

La digestión anaeróbica es un proceso biológico en ausencia de oxígeno (Pérez Mata, 2017). Consiste en la degradación o fermentación de la materia orgánica por la acción de diversos microorganismos, obteniéndose una mezcla de gases como CH₄ (50-70%) el principal gas combustible, CO₂ (30-50%), y otros gases en menor proporción (N₂, NH₃, H₂S, H₂O, CO, O₂), denominados en su conjunto como “biogás” (Palau y Virginia, 2016). El subproducto que se obtiene del proceso es una suspensión acuosa o “lodo”, denominado “digerido”, el cual se compone de un remanente de compuestos orgánicos lábiles no degradados durante la fermentación (Bernal Calderón et al., 2011) una fracción lignocelulósica de los restos orgánicos, biomasa microbiana (Frioni, 2011), y una fracción de compuestos inorgánicos disponibles. La composición de los productos obtenidos depende tanto de la materia prima como de la tecnología implementada en el proceso (Acosta et al., 2015).

La implementación de biodigestores en las explotaciones agrícolas posee grandes ventajas: facilita el control de los residuos generados y al mismo tiempo disminuye la contaminación, produce energía renovable que puede ser utilizada como abastecimiento energético en el mismo establecimiento agropecuario, con beneficios económicos, sociales y ambientales, y al mismo tiempo genera un aprovechamiento del efluente como fertilizante para los cultivos (Figura 4). Sin embargo, la desventaja para poder implementar esta tecnología es que requiere de una inversión inicial en obras, adquisición de equipos, materiales de construcción, mano de obra calificada y maquinaria adecuada para el traslado de los residuos. Como consecuencia se crea una fuerte dependencia de los recursos económicos disponibles en la explotación.

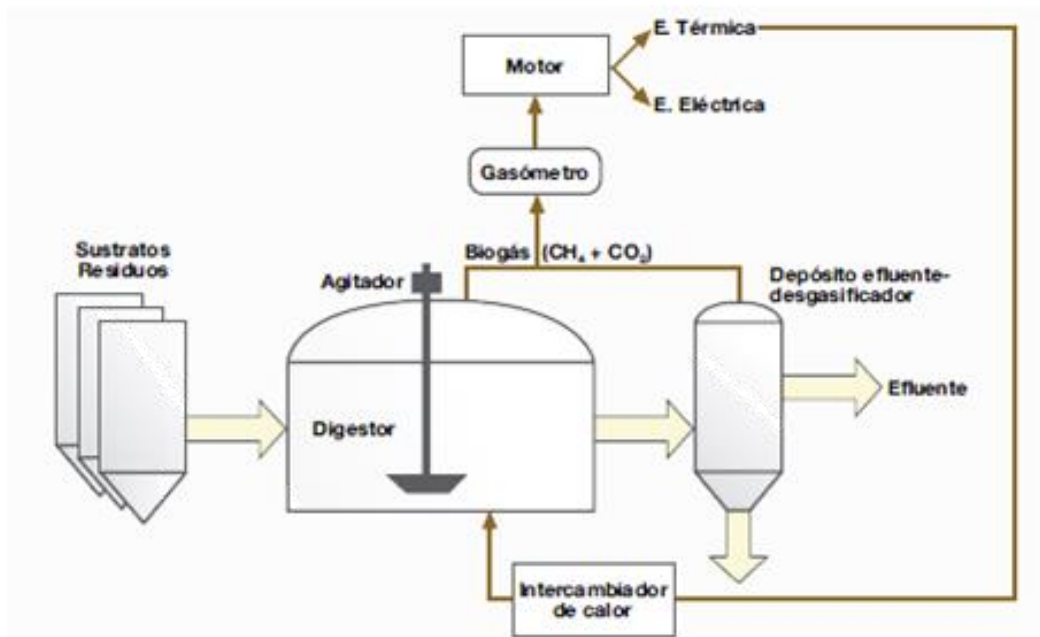


Figura 4. Esquema del proceso de digestión anaeróbica.

Fuente: Campos Puzuelo et al., 2004

La digestión anaeróbica consta de cuatro fases (Figura 5). La primera es la “hidrólisis” donde los compuestos orgánicos complejos (lípidos, proteínas y carbohidratos) son degradados a compuestos simples como monosacáridos, aminoácidos y ácidos grasos. Los microorganismos que realizan el proceso son bacterias hidrolíticas, las cuales producen enzimas (amilasas, proteasas y lipasas), que realizan el proceso de degradación. La tasa de hidrólisis depende de la temperatura del proceso, del tamaño de las partículas, producción de enzimas, concentración de NH₄ y del pH. Los materiales lignocelulosicos compuestos por celulosa, hemicelulosa y lignina poseen una velocidad de degradación muy lenta (Varnero Moreno, 2011). La degradación de lignina es limitada (Brüchert, 1996; Li ,2015) debido a que involucra múltiples reacciones bioquímicas que requieren de enzimas específicas encargadas de su descomposición, afectando también a la biodegradación de la celulosa y la hemicelulosa. La siguiente etapa se denomina “acidogénesis”. Mediante la acción de bacterias acetogénicas obligadas reductoras de protones de hidrógeno y de bacterias homoacetogénicas, se produce la transformación de los compuestos generados en la etapa anterior dando como resultado ácido acético, fórmico, butírico y pentanóico, alcoholes, aldehídos, hidrógeno, sulfuro de hidrógeno, dióxido de carbono y amoníaco.

Continúa el proceso por la fase de “Acetogénesis”. En esta fase las bacterias acetogénicas transforman los compuestos formados en la etapa anterior en acetato e H_2 . El 70% del CH_4 es generado a partir de la reducción del acetato, por lo tanto esta fase define la eficiencia de la producción de biogás. La última fase es la “Metanogénesis”. En esta fase por medio de arqueas metanogénicas (Palau y Virginia, 2016) ocurre la transformación de las sustancias de la fase anterior en metano y dióxido de carbono. En el proceso participan arqueas hidrogenotróficas las cuales mantienen el equilibrio del hidrógeno en el medio. El 70% del metano producido en los digeridos anaeróbicos se forma a partir de la descarboxilación del ácido acético (Varnero Moreno, 2011).

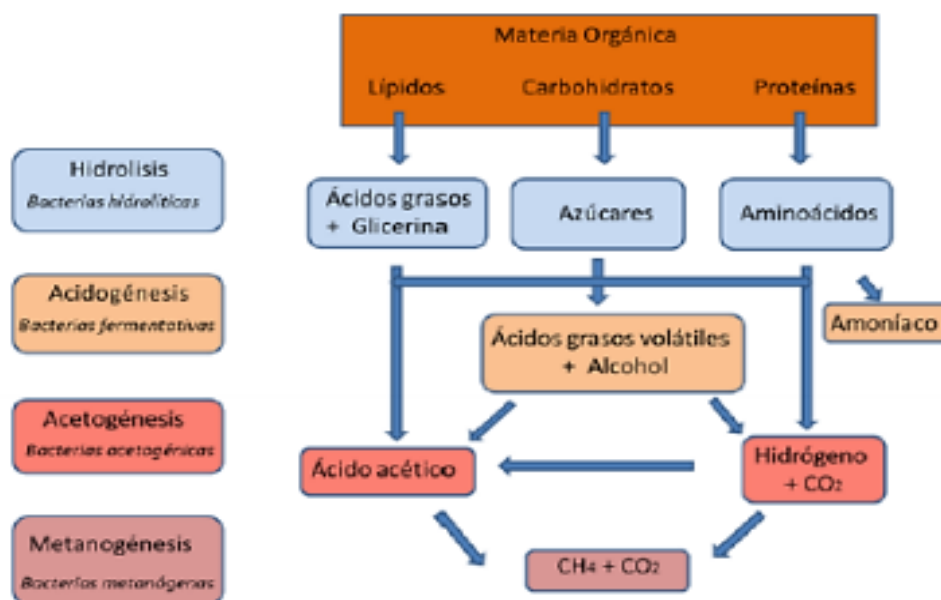


Figura 5. Fases del proceso de digestión anaeróbica.

Fuente: Rivas, 2015.

1.6.1 Características generales de Biogás

Como ya se mencionó anteriormente, durante el proceso de digestión anaeróbica, el producto principal es una mezcla de gases denominado “biogás”. Está compuesto mayoritariamente por CH_4 (50-75%) y CO_2 (25-45%), y en menor proporción H_2S (0-1%), H_2 (0-1%), CO (0-2%), N_2 (0-2%), NH_3 (0-1%), O_2 (0-2%) y H_2O (2-7%) (De Graaf et al., 2010). La proporción obtenida de los gases varía de acuerdo al sustrato utilizado, a la temperatura empleada y al tiempo de retención. Por otro lado, el

volumen generado dependerá de la cantidad de sustrato que fue degradado en el proceso y del tipo de residuo utilizado (vegetal o animal). De acuerdo a las características de la materia orgánica incorporada al biodigestor se producen entre 400-700 L de gas por cada kilogramo de materia volátil degradada (García Páez, 2013).

El biogás debe ser refinado previamente para aplicaciones energéticas (Agrowaste, 2013). La purificación del biogás incluye la eliminación de CO_2 , SH_2 , NH_3 , agua y partículas sólidas, al mismo tiempo las operaciones de depuración varían en función del uso que se le dará al mismo. Los requerimientos de calidad son mayores cuando se lo utiliza como combustible de automoción, si se lo inyecta en las líneas de distribución de gas natural o en pilas de combustible. Se puede utilizar para producir energía térmica (calor) para actividades como cocinar, calentar agua, calefaccionar criaderos y parideras, para generadores eléctricos, refrigeración, lámparas de gas, etc.

1.6.2 Digerido anaeróbico: uso como enmienda

El subproducto que se obtiene del proceso de digestión anaeróbica es en un “lodo o fango”, compuesto por materia orgánica estabilizada, de alta calidad para el uso como fertilizante agrícola. El digerido se puede separar en una fracción sólida y una fracción líquida, denominadas por algunos autores (García Páez, 2013) como “Biosol” y “BioI” respectivamente. En este trabajo no se realizó la separación del digerido en fracción sólida y líquida. Todos los digeridos comparten características comunes entre ellos, de las cuales se destaca el incremento de N-NH_4^+ en comparación al sustrato utilizado, concentran compuestos recalcitrantes, un remanente de compuestos lábiles y biomasa microbiana (Iocoli., 2018).

La composición del estiércol utilizado para el proceso de digestión varía de acuerdo al tipo de animal (monogástrico o rumiante), sexo, especie, edad, tipo de alimentación, como también la ubicación geográfica, las condiciones climáticas y el manejo que hayan recibido (Lukehurst et al., 2010). Según Herrero (2008), el fertilizante producido por un biodigestor, al cual se le incorporó estiércol de vaca o cerdo contiene sobre base seca: 2-3% de nitrógeno, 1-2 % de fósforo, 1 % de potasio y alrededor de 85 % de materia orgánica.

La utilización del digerido como fertilizante aporta materia orgánica, estimula la biomasa microbiana y regula el ciclo de nutrientes en suelos agrícolas (Walshet al., 2012). Genera beneficios en el desarrollo de los cultivos debido a que estimula el crecimiento aéreo, favorece el intercambio catiónico, mejora la estructura, porosidad y permeabilidad, aumenta la capacidad de retención de la humedad favoreciendo el enraizamiento (Solera del Río et al., 2014). Con la digestión anaeróbica se logra disminuir en gran medida la liberación de olores desagradables y reducir el riesgo de transmisión de enfermedades debido a que durante el proceso es posible destruir hasta un 95% de los huevos de parásitos, gran parte de bacterias y protozoarios (Sommanico, 2019). La eliminación de patógenos mejora las condiciones higiénicas del establecimiento rural y/o unidad de producción. En ensayos realizados en laboratorio utilizando temperaturas de 35°C, las bacterias coliformes fecales fueron reducidas entre 50-70%, y hongos un 95% en un lapso de 24 horas (Zuñiga, 2007). En comparación a otros fertilizantes orgánicos, los digeridos anaeróbicos poseen una mayor proporción de nitrógeno en forma de amonio y una menor proporción de fósforo disponible (Abubakeretal., 2013).

1.7 *Lolium perenne* (nv: raigras perenne)

1.7.1 Crecimiento, manejo y utilización

Se caracteriza por tener una rápida germinación e implantación. Posee una gran capacidad de macollamiento (Mazzanti et al., 1998), al mismo tiempo se adapta a pastoreos frecuentes debido a su elevado potencial en la producción de biomasa, por lo tanto, según Agnusdei y Wade (2002) podría ser una de las especies con gran adaptación al pastoreo intenso.

Es una especie perenne de crecimiento otoño-invierno-primaveral (OIP) con un marcado pico de producción de forraje en primavera (septiembre/noviembre). Vegeta activamente durante los meses de otoño e invierno y normalmente disminuye marcadamente su ritmo de crecimiento hacia el verano, pero no presenta latencia estival. Se clasifican según el periodo de floración en tempranos, intermedios y tardíos, los cuales dependen de las condiciones ambientales, la latitud, fotoperiodo y vernalización (Demagnet Filippi, 2011). La diferenciación meristemática ocurre a fines de agosto en el sudeste bonaerense, la floración entre octubre y noviembre según la

precocidad de los distintos cultivares y la madurez de las semillas ocurre a mediados de diciembre. El óptimo de crecimiento se registra entre 15 y 20°C, es afectado ante temperaturas extremas, salvo en veranos húmedos y frescos donde la producción se puede incrementar notablemente (Pauletti., 2010). Particularmente en los meses de enero y febrero se presenta el período crítico en el manejo y puede ponerse en riesgo su persistencia, por lo tanto de ser necesario, el pastoreo debe ser breve y no intenso, dejando un remanente de 10 a 12 centímetros de altura para evitar que la capa superficial del suelo eleve la temperatura y pierda humedad. Durante el otoño-invierno permite defoliaciones intensas y frecuentes, ya que por la ubicación de sus meristemas y de sus zonas de almacenamiento, éstas quedan resguardadas ante el pastoreo animal. La frecuencia de defoliación puede realizarse entre los 35 (otoño) y 60 días (invierno); mientras que, en primavera, debido a su elevada tasa de aparición de hojas (1 hoja cada 7 -10 días) la misma puede ser entre 20-25 días. Aún después de pastoreos intensos, conserva suficiente área foliar remanente, próxima al nivel del suelo, como para rebrotar adecuadamente.

Teniendo en cuenta la nutrición mineral, el estado hídrico, época del año, las condiciones generales del lote, y al mismo tiempo realizando un adecuado manejo del pastoreo regulando la intensidad del mismo, esta forrajera puede persistir en cultivo por 10 años o más. Con respecto a los requerimientos del cultivo, es una especie exigente en fertilidad para lograr expresar su potencial en producción de forraje. Es exigente en agua y nitrógeno, según Acosta et al. (1998) tiene muy buena respuesta al agregado de nitrógeno. Prospera correctamente en climas templado húmedos con más de 750 mm de precipitación y bien distribuidas durante el año. Tiene un elevado potencial de crecimiento en suelos francos a franco-arcillosos, neutros o ligeramente ácidos (Gallego et al., 2013). Es un cultivo que no tolera alcalinidad y salinidad, además, es sensible al encharcamiento del suelo y sequías prolongadas.

Es una de las gramíneas forrajeras más difundidas y utilizadas en los sistemas de producción animal de clima templado-húmedo del mundo. Tiene gran calidad forrajera, es palatable y apta para ensilaje debido a que posee un elevado contenido de azúcares solubles (Argamentaría Gutiérrez, 1992). Es uno de los cultivos forrajeros de mayor difusión en nuestro país por múltiples ventajas: resistencia al pulgón, forma mayor piso, resiste el pastoreo intenso, no es atacado por la roya, se siembra con pocos kilos, se adapta bien a las siembras al voleo, produce en invierno y primavera

gran cantidad de materia seca, presenta calidad forrajera y el costo de semilla es reducido (Pauletti., 2010).

La principal área de cultivo en Argentina es el Centro y Sudeste de la Provincia de Buenos Aires, pero es factible su cultivo en valles y mallines de la Patagonia. En el sudeste bonaerense es muy utilizada para consociaciones con pasturas OIP (Brizuela y Cangiano, 2011). Dentro de las gramíneas forrajeras perennes comúnmente utilizadas en la región pampeana húmeda, el raigras perenne, es la que presenta mejor calidad forrajera promedio (Maddaloni et al., 2001). Debido a que presenta rápido crecimiento, gran demanda de nitrógeno y permite varios cortes en un período de tiempo reducido (Grigatti, 2011), lo convierte en un excelente cultivo indicador de fertilidad en el corto plazo.

1.8 Objetivo general

- ❖ Valorar el potencial fertilizante del digerido de estiércol bovino sobre raigras en suelos contrastantes del SO Bonaerense (SOB).

1.9 Objetivos específicos

- ❖ Evaluar la aplicación del digerido sobre la producción de raigras comparándolo con un fertilizante de síntesis química (urea) y estiércol sin procesar.
- ❖ Analizar los cambios en la dinámica del desarrollo del cultivo de raigras para estimar la disponibilidad temporal de nutrientes.
- ❖ Comparar la aplicación de una única dosis y la aplicación fraccionada de digerido y urea respecto a la dinámica de desarrollo y la producción acumulada.
- ❖ Validar la utilización de mediciones indirectas (área de cobertura, altura de planta y el factor entre ambos) para estimar la producción de biomasa del cultivo de raigras.

MATERIALES Y MÉTODOS

2.1 Suelos y enmiendas

Se utilizaron dos suelos contrastantes de la capa superficial (0-20 cm) del SOB. Un Haplustol Entico, franco-arenoso, perteneciente a la serie "La Merced" colectado en la estación experimental de Ascasubi (INTA) y otro Paleustol Petrocálcico, franco, colectado en el campo perteneciente a la UNS en Colonia Napostá. El suelo se muestreó la semana previa al inicio del ensayo, se homogenizó y se tomaron muestras para su caracterización. Se analizaron los suelos de forma química: pH (potencial métrico en agua 1:10), CE (conductimetría, 1:10), carbono orgánico (C, combustión seca, 1500°C LECO C Analyzer), N-NH₄⁺, N-NO₃⁻, nitrógeno total Kjeldahl NTK (semi-micro Kjeldahl) y fósforo extractable (PE, Bray & Kurtz, 1945) (Tabla 1). El nitrógeno total (N) es la sumatoria de los contenidos de NTK y de N-NO₃⁻, el nitrógeno orgánico (NO) es la diferencia entre el contenido de NTK y el contenido de N-NH₄⁺ y el nitrógeno inorgánico es la suma de los contenidos de N-NH₄⁺ y N-NO₃⁻.

Tabla 1. Caracterización de los suelos utilizados en el ensayo

Suelo	*CO	N	pH	CE	N-NH ₄ ⁺	N-NO ₃ ⁻	PE	Textura
	%	%		dS/m	mg kg ⁻¹			
Ascasubi (HE-Fa)	1,73	0,13	7,6	0,83	20,3	3,2	9,5	Franca arenosa
Naposta (PP-F)	2,36	0,2	7,8	0,73	21,3	10,2	13	Franca

*CO: carbono orgánico; N: nitrógeno total; CE: conductividad eléctrica; N-NH₄⁺: amonio; N-NO₃⁻: nitrato; PE: fósforo extractable.

Las enmiendas utilizadas fueron: estiércol bovino recolectado en una explotación de engorde a corral (*feedlot*) de la zona de Las Oscuras; y digerido anaeróbico producido en un digestor tipo batch de 20 L bajo condiciones de laboratorio a partir de ese mismo estiércol. El estiércol y el digerido se conservaron a 4°C hasta su utilización. Las características evaluadas de las enmiendas utilizadas se representan en la Tabla 2.

Tabla 2. Caracterización de enmiendas utilizadas en el ensayo

Enmienda	*Digerido	Estiércol
*C (%)	0,3	13,2
NTK (%)	0,02	1,006
N-NH ₄ ⁺ (mg kg ⁻¹)	130,8	43,2
N-NO ₃ ⁻ (mg kg ⁻¹)	3,3	423
ST (%)	2,1	25,8
Ni (mg kg ⁻¹)	134	466,1
N (mg kg ⁻¹)	243,3	10483
C:N (mg kg ⁻¹)	14	12,6
C/Ni (mg kg ⁻¹)	25,4	282,8
Ni/N (mg kg ⁻¹)	0,6	0,04
C/NO (mg kg ⁻¹)	31,1	13,2

*C: carbono; NTK: nitrógeno total Kjeldahl; N-NH₄⁺: amonio; N-NO₃⁻: nitrato; ST: sólidos totales; Ni: nitrógeno inorgánico; N: nitrógeno total; C:N: relación carbono nitrógeno; C/Ni: relación carbono nitrógeno inorgánico.

*Digerido: valores expresados en base húmeda; Estiércol: valores expresados en base seca.

2.2 Desarrollo del ensayo

Se utilizaron 48 macetas de plástico de boca redonda de 4 L de capacidad. Posteriormente, se llenaron las macetas con cada suelo (Ascasubi y Napostá) previamente homogeneizado y se aplicaron los tratamientos asignados al azar. Se realizaron 4 réplicas de cada tratamiento. Las dosis se nivelaron en función del contenido de N (140 kg N ha⁻¹). Las macetas fueron rotadas al azar semanalmente y se regaron diariamente en forma automática (Figura 6).

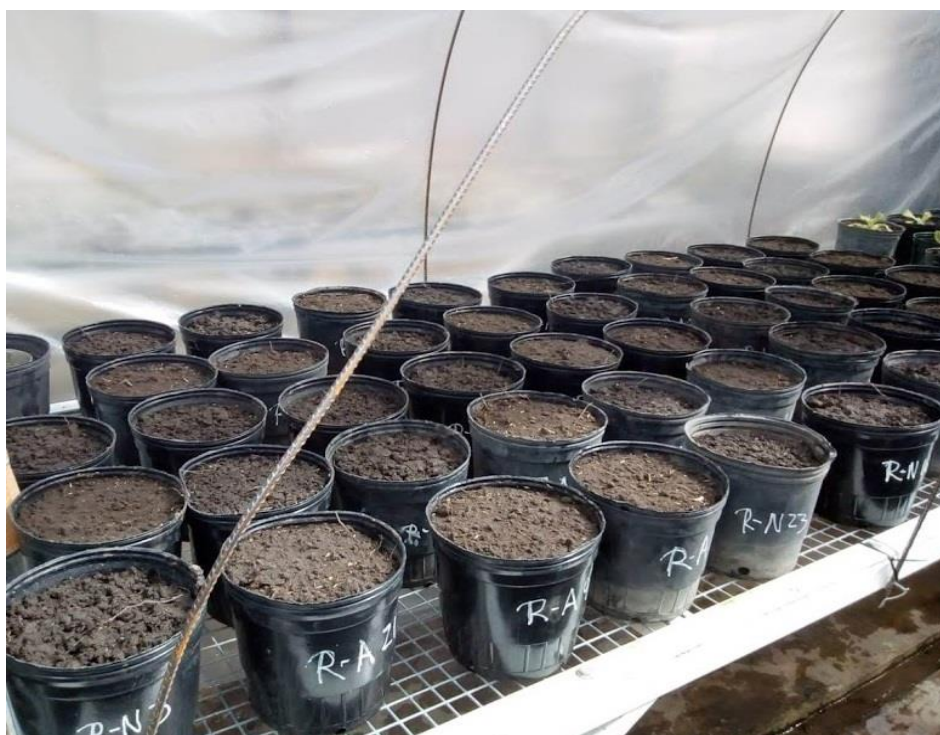


Figura 6. Disposición de las unidades experimentales en el invernáculo.

Tratamientos:

- ❖ **Control:** sólo se aplicó agua.
- ❖ **Dig:** Digerido de *feedlot* aplicado previo a la siembra (900 mL).
- ❖ **DigF:** Digerido de *feedlot* aplicado en forma fraccionada (previo a la siembra, 21 y 35 días postsiembra) (300 mL en cada aplicación).
- ❖ **Urea:** Urea aplicada previo a la siembra en forma de solución al 15,7% (300 mL, aproximadamente 304 kg de urea ha⁻¹).
- ❖ **UreaF:** Urea aplicada en forma fraccionada (previo a la siembra, 21 y 35 días postsiembra) en forma de solución al 15,7% (100 mL en cada aplicación, aproximadamente 101 kg de urea ha⁻¹).
- ❖ **Est:** estiércol de *feedlot* aplicado previo a la siembra (74 g).

Luego de tres días de la aplicación de los tratamientos se sembró raigras perenne con 0,7 g de semillas por maceta y se mezcló con el suelo superficial.

En las figuras 7 y 8 se puede observar el desarrollo del cultivo luego de la siembra.



Figura 7. Desarrollo del cultivo luego de una semana post-siembra.

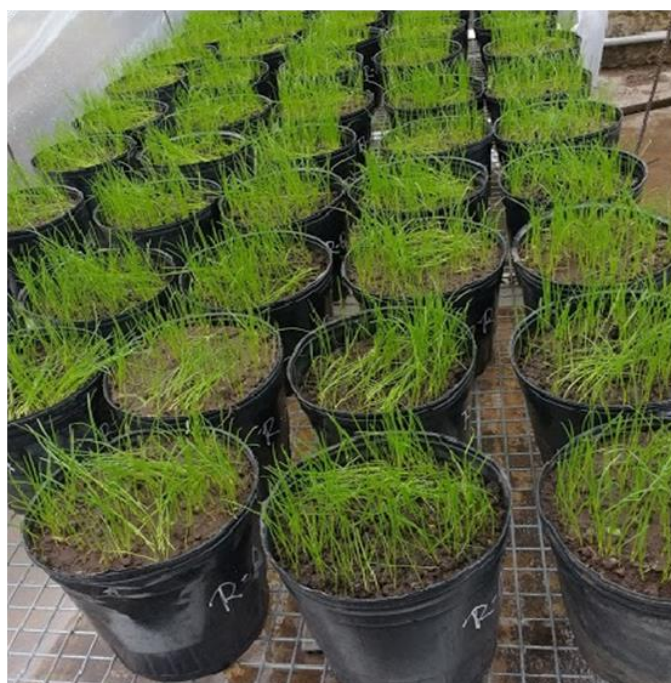


Figura 8. Desarrollo del cultivo luego de dos semanas post-siembra.

Durante el desarrollo del cultivo se realizaron 5 cortes, a los 21, 35, 49, 63 y 77 días luego de realizada la siembra, a una altura de 4 cm sobre el nivel del suelo. En cada fecha de corte se determinó peso fresco y posteriormente mediante el secado a estufa a 70°C, durante 48 h se determinó el peso seco.



Figura 9. Cortes realizados durante el ensayo.

Para la evaluación de la superficie cubierta por el vegetal, se tomaron imágenes aéreas de cada planta colocándolas sobre un aro de 0,25 m², utilizando una cámara de un teléfono celular MotorolaG3, con una resolución de 13Mpx, capturadas cada 7 días. Luego se determinó el porcentaje cubierto y área de cobertura utilizando el software CobCal® desarrollado por el INTA (Figura 10). En conjunto con la toma de imágenes se realizó la medición de altura. A partir del área de cobertura y la altura se

determinó el volumen de forraje de cada unidad experimental (área de cobertura x altura = volumen de forraje).

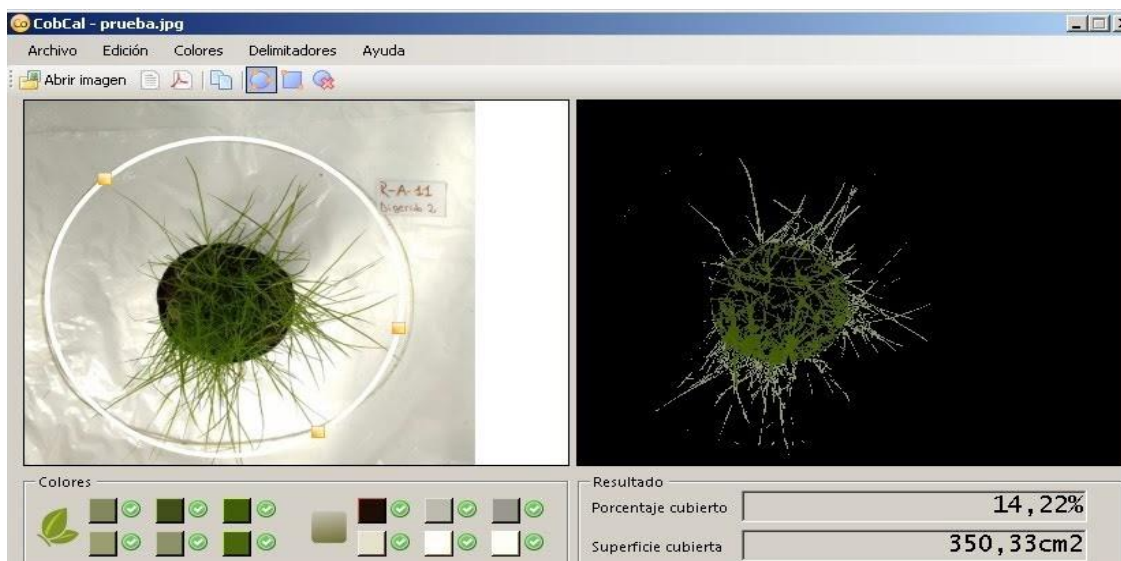


Figura 10. Imagen de una planta de raigras y determinación del área de cobertura con el software CobCal®.

2.3 Diseño experimental y análisis estadístico

Se utilizó un diseño experimental completamente aleatorizado con cuatro repeticiones. Los datos de producción vegetal se analizaron a través de un ANOVA doble (suelo [S] y tratamiento [T]) con parcelas divididas en el tiempo (fecha de corte [F]). Para la producción acumulada se realizó un ANOVA doble (suelo y tratamiento). Para la comparación de medias se utilizó el test de diferencias mínimas significativas de Fisher (DMS) con p-valor 0,05. Adicionalmente, se realizaron regresiones lineales entre peso fresco y seco respecto a la altura, la cobertura y el volumen de forraje para evaluar sus potenciales usos como estimadores indirectos de la producción de biomasa. Para los análisis descriptos se utilizó el software estadístico Infostat (Di Rienzo et al., 2017).

RESULTADOS

Al analizar todos los factores en conjunto se observó interacción entre ellos indicando que la combinación de factores produjo un efecto diferente sobre la variable dependiente (Tabla A1, Anexo). Al particionar por el factor suelo se observó interacción entre los factores tratamiento y fecha para ambos suelos (Tablas A2 y 3, Anexo) por lo que se compararon los tratamientos analizándolos para cada fecha y para cada suelo en forma separada a través de ANOVAs simples (Figuras 11 y 12).

Al particionar por tratamiento se observó que los tratamientos Dig y Est presentaron una dinámica similar en ambos suelos (Tablas A4 y A5, Anexo) por lo que el análisis se realizó sin diferenciar entre suelos (Figura 13 a y b) y sin diferenciar entre tratamientos (Figura 13 c y d). Es importante remarcar que no se observaron diferencias en la media para cada suelo ($p > 0,05$). Para el resto de los tratamientos el análisis se particionó por suelo y por tratamientos para comparar entre fechas (Figura 13).

Para la producción acumulada se observó interacción entre los factores suelo y tratamiento por lo que se analizó cada suelo en forma separada (Tabla A6, Anexo).

En el suelo perteneciente a Ascasubi (HE-Fa), durante los tres primeros cortes todos los tratamientos tuvieron mayor producción de biomasa (peso seco) que el control ($p < 0,05$, Figura 11 a, b y c). En el primer corte (21 días), Dig presentó la mayor producción, siendo $Dig > Est > DigF > Urea > UreaF$. En el segundo corte (35 días), el DigF incrementó la producción ($p < 0,05$, Figura 13 i) alcanzando el mayor rendimiento ($p < 0,05$, Figura 13 i). Por su parte la aplicación a la siembra disminuyó la producción con respecto al corte anterior ($p < 0,05$, Figura 13 a) y la aplicación fraccionada de Urea (UreaF) igualó a la aplicación a la siembra (Urea) ($p > 0,05$) siendo $DigF > Dig = Urea = UreaF > Est > CON$. En el tercer corte (49 días) el DigF incrementó la producción respecto a los cortes anteriores ($p < 0,05$, Figura 13 i), manteniendo el mayor valor con respecto a los demás tratamientos ($p < 0,05$, Figura 11 c) y UreaF superó el valor obtenido con la aplicación a la siembra (Urea) ($p < 0,05$, Figura 11 c). En el cuarto corte (63 días) DigF y UreaF presentaron una disminución (Figura 13 i y g) pero DigF mantuvo los mayores valores respecto al resto de los tratamientos ($p < 0,05$,

figura 11 d). En el último corte (77 días) el DigF continuó presentando la mayor producción (DigF>Est>Dig>Urea=UreaF>CON) (Figura 11 e).

Para la producción acumulada en el suelo perteneciente a Ascasubi (Figura 11 f) se observó que todos los tratamientos presentaron mayor producción con respecto al control. DigF presentó la mayor producción acumulada ($p < 0,05$ Figura 11 f), 4 veces superior al control, 2,7 veces superior al Dig y Est y 2,3 veces superior a Urea y UreaF.

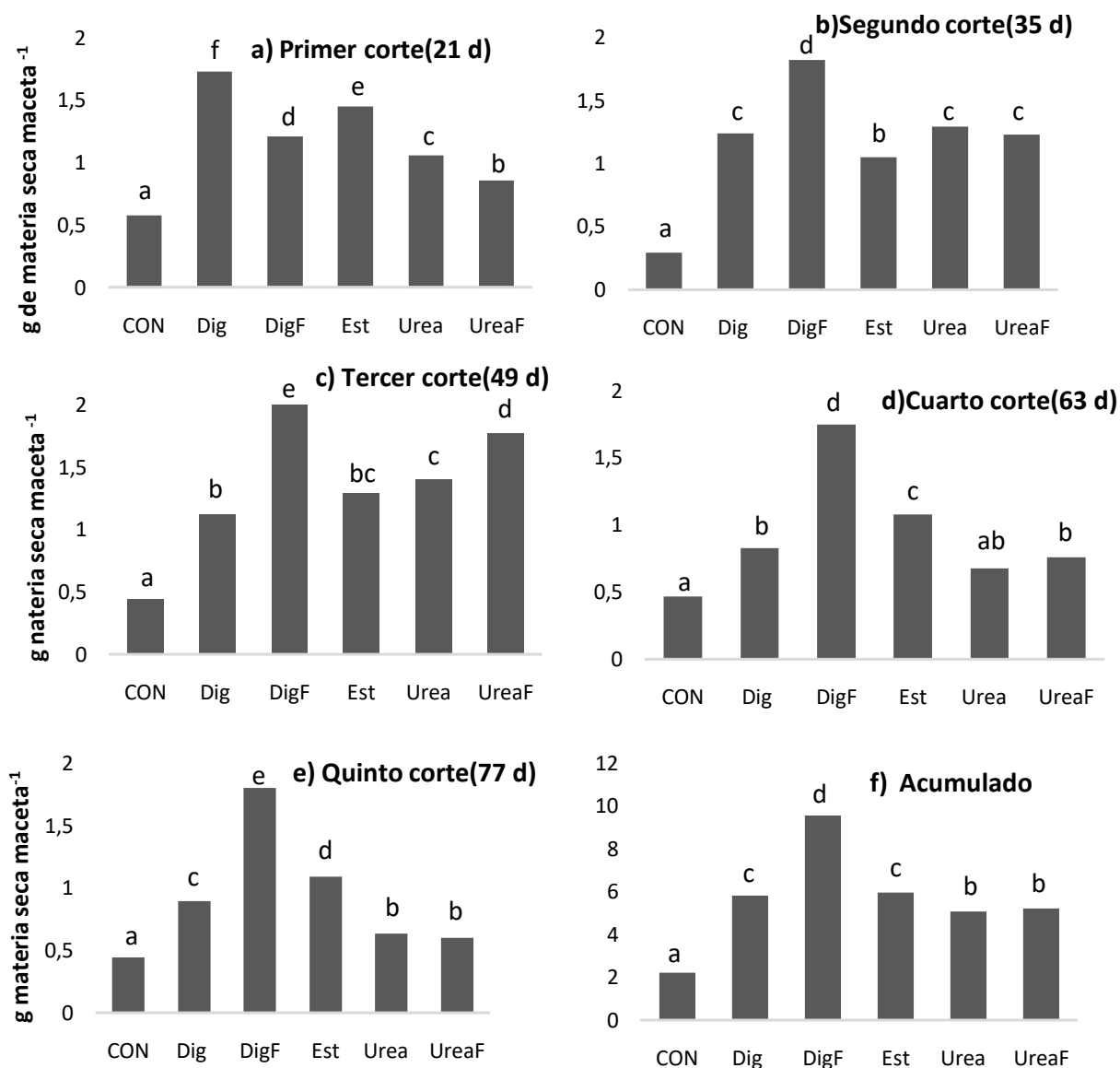


Figura 11. Peso seco de biomasa por corte y acumulado del suelo HE-Fa.

CON: control; Dig: digerido de feedlot; DigF: aplicación fraccionada; Est: estiércol; Urea; UreaF: aplicación fraccionada.

En cuanto al peso seco en el suelo correspondiente a Napostá (PP-F) todos los tratamientos presentaron mayor producción que el control ($p < 0,05$, Figura 12) durante los cuatro primeros cortes (21, 35, 49 y 63 días). En el primer corte (21 días), Dig presentó la mayor producción ($p < 0,05$, Figura 12 a). En el segundo corte (35 días), se observó que el DigF incrementó la producción con respecto al corte anterior ($p < 0,05$, Figura 13 j) alcanzando el mayor valor junto con Urea y UreaF (Figura 12 b). En el tercer corte (49 días) el DigF continuó incrementando la producción ($p < 0,05$, Figura 13 j) siendo el mayor valor con respecto a los demás tratamientos ($p < 0,05$, Figura 12 c). UreaF también presentó un incremento respecto a los cortes anteriores y Urea una disminución ($p < 0,05$, Figura 13 h y i) (DigF > UreaF > Dig = Est = Urea > CON). En el cuarto corte (63 días) el DigF presentó una disminución en la producción respecto al corte anterior ($p < 0,05$, Figura 13 j) manteniendo mayores valores con respecto al resto de los tratamientos ($p < 0,05$, Figura 12 d) (DigF > Dig = Est > Urea = UreaF). En el último corte (77 días) el DigF continuó con la mayor producción que el resto de los tratamientos ($p < 0,05$, Figura 12 e) mientras que Urea y UreaF no se diferenciaron del control ($p > 0,05$, Figura 12 e) (DigF > Dig = Est > Urea = UreaF = CON).

En el análisis de la producción acumulada en el suelo perteneciente a Napostá se observó que todos los tratamientos presentaron mayor producción con respecto al control ($p < 0,05$, Figura 12 f). DigF presentó la mayor producción acumulada ($p < 0,05$, figura 12 f), 4 veces superior al control, 2,5 veces superior a Dig, Est y UreaF y 2,2 veces superior a Urea.

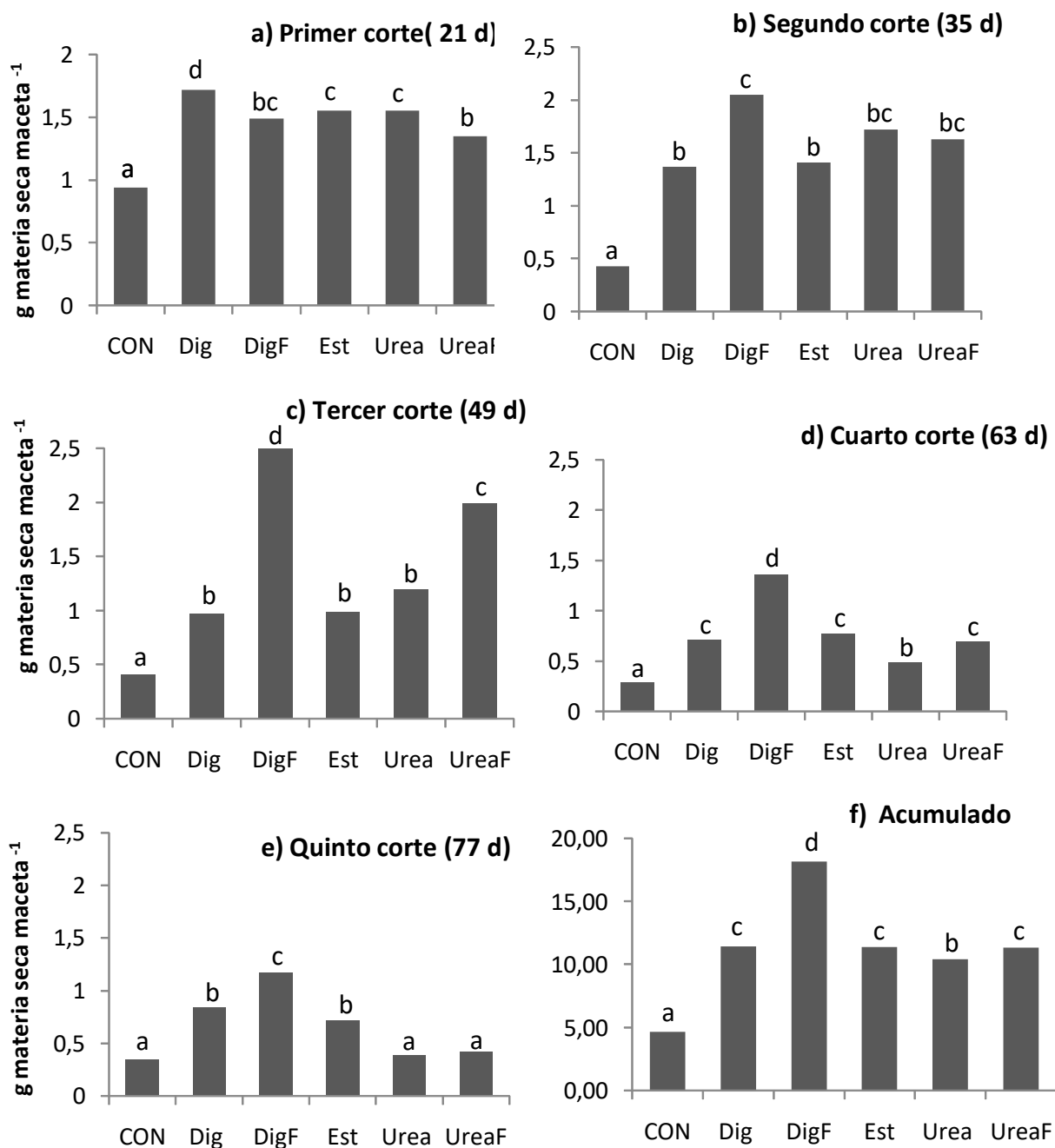


Figura 12. Peso seco de biomasa por corte y acumulado del suelo PP-F
 CON: control; Dig: digerido de feedlot; DigF: aplicación fraccionada; Est: estiércol; Urea;
 UreaF: aplicación fraccionada.

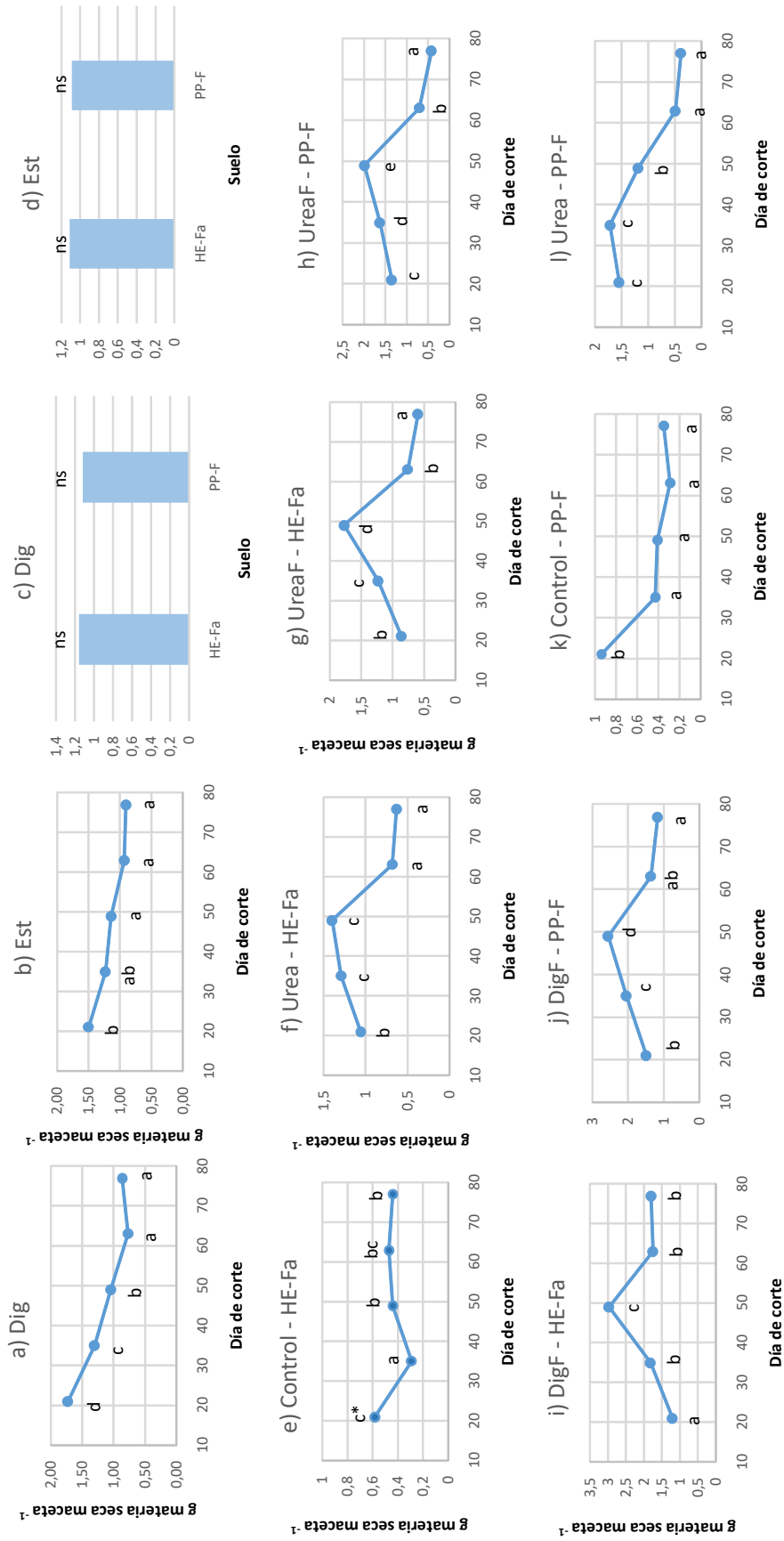


Figura 13. Comparación entre fechas
 Control: suelo sin enmienda; DigF: aplicación fraccionada; Est: estiércol; Urea; UreaF: aplicación fraccionada; HE-Fa: suelo Ascasubi; PP-F: suelo Napostá.
 * letras distintas indican diferencias estadísticamente significativas (LSD $p < 0,05$) entre fechas.

❖ Estimación de la producción a partir de mediciones indirectas

En el análisis de los ajustes lineales entre las mediciones indirectas (altura, cobertura y volumen) y los pesos húmedos y secos de la biomasa generada, se observó que todas las mediciones indirectas presentaron un buen ajuste, pero el resultado que mejor ajustó fue el volumen de forraje (altura*cobertura; $R^2: 0,79$ $p < 0,001$ para peso fresco y $R^2: 0,77$ $p < 0,001$ para peso seco) (Figura 14 e y f), luego el área de cobertura ($R^2: 0,75$ $p < 0,001$ para peso fresco y $R^2: 0,74$ $p < 0,001$ para peso seco) (Figura 14 c y d) y finalmente la altura ($R^2: 0,65$ $p < 0,001$ para peso fresco y $R^2: 0,66$ $p < 0,001$ para peso seco) (Figura 14 a y b).

En la figura 15 (a y b) se presentan las dinámicas estimadas a partir del volumen de forraje. Sobre esta nueva variable no se realizaron análisis estadísticos. La inclusión de más fechas de muestreo permitiría un mejor modelaje de las dinámicas en estudios futuros.

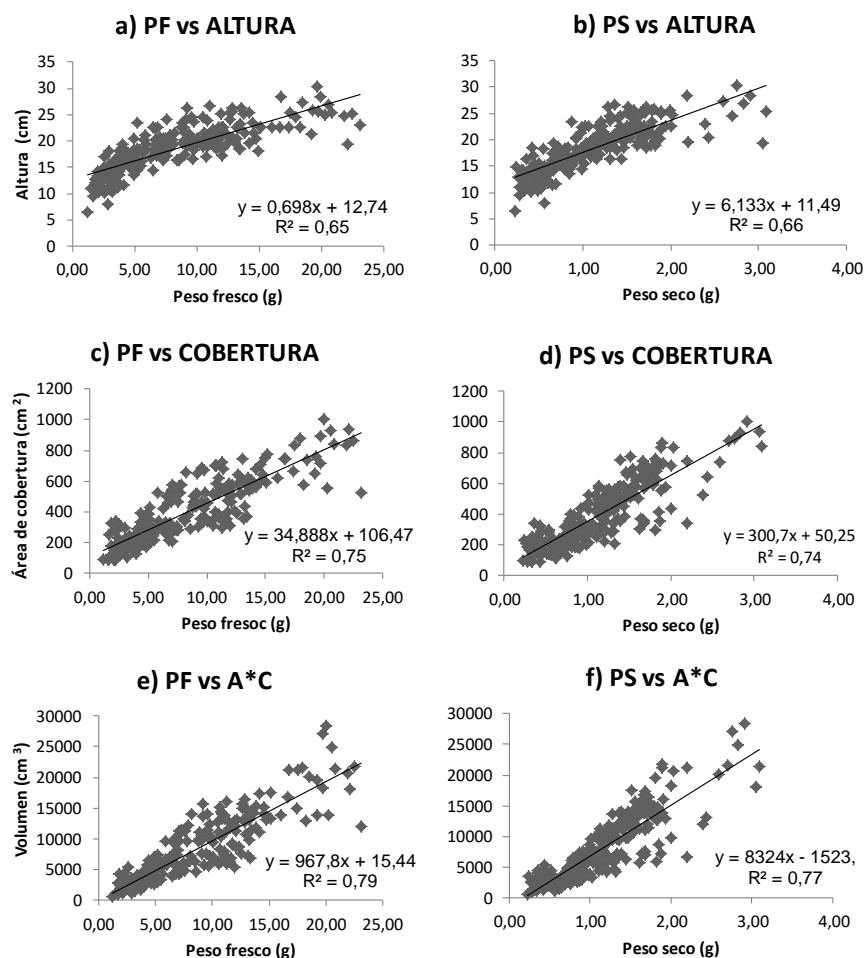


Figura 14. Ajustes lineales entre pesos fresco y seco, y altura, cobertura y el factor entre área y cobertura (A*C).

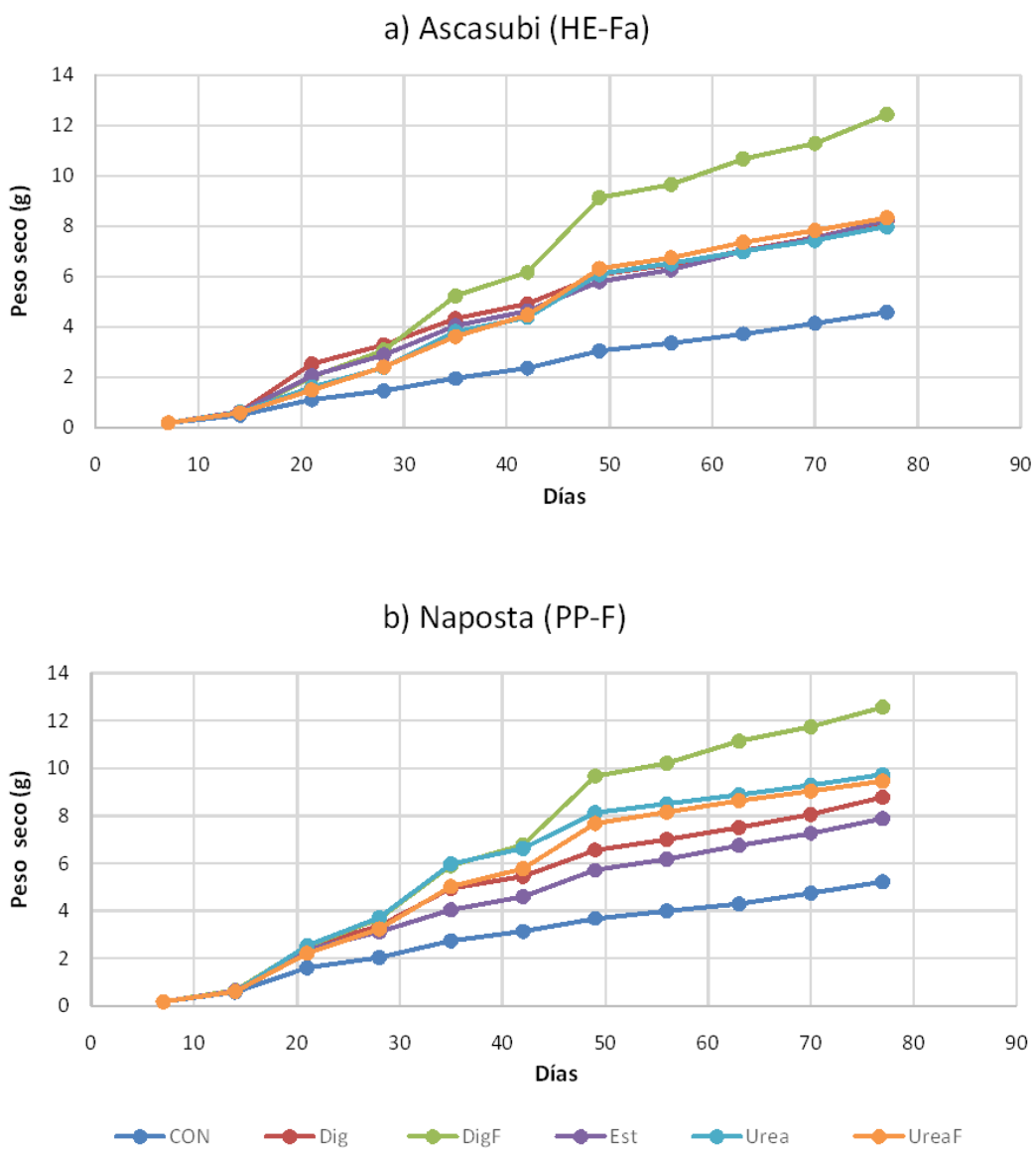


Figura 15. Dinámica de la biomasa estimada a través del tiempo.

DISCUSIÓN

La aplicación de digerido produjo un aumento en la producción de biomasa vegetal en comparación al control, en concordancia con los resultados de Bernal Calderón et al. (2014) en legumbres, Aparcana Robles (2008) en frutales y Warnars y Oppenoorth (2014) en ornamentales, en los cuales obtuvieron incrementos en el rendimiento mediante la incorporación de digeridos.

En este trabajo, se comprobó que la aplicación fraccionada de digerido genera un mayor aumento en el rendimiento, respecto a la aplicación a la siembra. Este se podría deber a que, con la aplicación del digerido a la siembra parte del nitrógeno se pierde por volatilización, y luego una vez en el suelo, el amonio se nitrifica rápidamente para formar nitratos y puede perderse por lixiviación, resultando así poco eficiente. Estos resultados coinciden con el trabajo de Bernal Calderon et al. (2014) que concluye que la aplicación fraccionada provoca un uso más eficiente de los fertilizantes, evitando los riesgos de pérdidas por lixiviación o volatilización de los nutrientes. Ferraris et al. (2002) expresaron que la pérdida de nitrógeno por volatilización puede ser la principal causa de la baja eficiencia de algunos fertilizantes amoniacales, y dichas pérdidas son el resultado de numerosos procesos químicos, físicos y biológicos.

En ambos suelos (Ascasubi y Napostá), con la aplicación de digerido fraccionado se logró la mayor producción de biomasa acumulada. Por lo tanto, aunque la textura de un suelo varíe con respecto a otra, se puede esperar mayor estabilidad en el efecto sobre el cultivo. Esto coincide con lo expresado por Bernal Calderon et al. (2014), donde demostraron que los digeridos aplicados sobre los cultivos generan un efecto similar independientemente de la textura del suelo. Pese a la similar dinámica de acumulación de biomasa, las diferencias en la producción que se observan entre suelos están relacionadas con la intensidad de lixiviación de nitrógeno, debido que el nitrógeno lixivía más fácilmente en suelos de textura arenosa que en suelo de textura franca (Sierra, 2018).

La mayor producción de biomasa obtenida en el suelo de Napostá comparado con el suelo de Ascasubi pudo deberse a que el primero posee un mayor nivel de materia orgánica, Ni y Pe. En concordancia a esto, Sierra (2018) sostiene que el contenido de

materia orgánica influye significativamente en la lixiviación de nitrógeno, por lo tanto, en suelos con mayor contenido las pérdidas van a ser menores y viceversa.

El aumento en el peso seco durante los primeros cortes al aplicar urea a la siembra pudo deberse a que es un fertilizante de fácil y rápida liberación. En los cortes posteriores la producción de biomasa disminuyó probablemente porque parte del nitrógeno pudo haber sufrido procesos de pérdida por volatilización y lixiviación.

En el suelo de Napostá se observaron diferencias en la producción de biomasa con los tratamientos empleados de Urea y UreaF, principalmente debido a que la aplicación fraccionada produjo un uso más eficiente del nitrógeno, en concordancia con Pérez Mata (2017). Este autor reportó que las aplicaciones fraccionadas reducen las pérdidas de nitrógeno, por lo tanto, puede ser aprovechado en mayor medida por el cultivo logrando una mayor producción. Por otro lado, aunque las aplicaciones fraccionadas lograron incrementar la producción en ambos suelos la biomasa obtenida con la aplicación de urea fue menor que con la aplicación de digerido. Esto puede deberse a que existen otros nutrientes limitantes en el suelo además del nitrógeno. Por más que se agregue al suelo un determinado nutriente, si este no es una limitante, y son otros los nutrientes faltantes en el mismo, el rendimiento no va a incrementarse más allá de un cierto nivel (Marcano 2009).

El incremento en el rendimiento obtenido con la aplicación de digerido en comparación con la aplicación de urea, se podría deber a que el digerido además de aportar nitrógeno, incorpora nutrientes fácilmente disponibles para las plantas, mientras que la urea solo aporta nitrógeno. Adicionalmente Walsh et al. (2012) y Pérez Mata. (2017) sostienen que el uso de digerido como fertilizante aporta materia orgánica generando una rápida activación de la microbiota y regulando el ciclo de nutrientes en suelos agrícolas. Además, de acuerdo a lo expresado por Locoli (2018) posiblemente el nitrógeno de la urea se pueda perder más fácilmente que el nitrógeno del digerido. Al aplicar digeridos se produce una rápida inmovilización microbiana del nitrógeno incorporado, el cual se mantiene dentro de la fracción más lábil de la materia orgánica pudiendo liberarse dentro del ciclo del cultivo pero estando menos expuesto a pérdidas por volatilización o lixiviación (Locoli, 2018).

La mayor producción obtenida de biomasa acumulada al aplicar digerido fraccionado en comparación con el estiércol posiblemente se deba a la disponibilidad inmediata de nutrientes en el digerido en comparación con el estiércol, debido a que el último funciona como un fertilizante de liberación lenta, por lo tanto la absorción de nutrientes por parte de las plantas no es inmediata. Engwall y Schnürer (2002) afirman que los estiércoles aportan muchos nutrientes para las plantas, sin embargo, de acuerdo a lo expresado por Abbasiet al. (2007) la baja mineralización en el corto plazo limita su potencial como fertilizante. Adicionalmente, es importante realizar un tratamiento previo de los estiércoles antes de su aplicación al suelo, debido a que estos pueden presentar patógenos, semillas de malezas y compuestos fitotóxicos, constituyendo un riesgo para el cultivo y el ambiente.

CONCLUSIÓN

Los resultados obtenidos en este trabajo demostraron que mediante la incorporación de fertilizantes de origen sintético (urea) y orgánico (estiércol crudo y digerido anaeróbico) se produjo un aumento significativo en el peso fresco y seco del cultivo de raigras perenne.

Con la aplicación de estiércol se obtuvo menor producción que con el digerido debido a que contiene una menor proporción de nitrógeno inorgánico y una baja mineralización en el corto plazo. Debido a la dificultad de determinar el momento exacto de liberación de los nutrientes del estiércol su implementación como única fuente fertilizante es muy compleja.

El digerido generó los mayores rendimientos demostrando su potencial para reemplazar a los fertilizantes sintéticos. Por su parte, la aplicación fraccionada incrementó la eficiencia del uso de los nutrientes incrementando la producción del cultivo. Las diferencias edáficas con el agregado del digerido no marcaron diferencias sobre la dinámica del crecimiento del cultivo.

El volumen de forraje (AxC) demostró ser muy buen indicador del peso fresco y seco de la biomasa vegetal.

BIBLIOGRAFÍA

Abbasi M K, Hina M, Khalique A, RazaqKhan. 2007. Mineralization of three organic manures used as nitrogen source in a soil incubated under laboratory condition. *CommunSoilSci Plan* 38: 1691-1711.

Acosta G, Cangiano C y Miñón D. 1998. Efectos del pastoreo y la fertilización nitrogenada sobre el crecimiento y la calidad del raigrás inglés (*Lolium perenne*). *Investigaciones Agropecuarias: Producción y Protección Vegetal* Vol 13 (1-2): 22-27.

Acosta Y L y Obaya Abreu, M C. 2005. La digestión anaeróbica. Aspectos teóricos. Parte I. ICIDCA. Sobre los Derivados de la Caña de azúcar. Vol. XXXIX, núm. 1. pág 35-48. Ciudad de La Habana. Cuba.

Agencia extremeña de la Energía. Los residuos ganaderos. Disponible en: <https://www.agenex.net/images/stories/deptos/los-residuos-ganaderos.pdf>.

Agnusdei M y Wade M. 2002. Factores del crecimiento y del manejo que afectan la estructura de las pasturas. Taller Bases para el manejo de las pasturas. Asociación Argentina de Producción Animal. En Producción Bovina de Carne.

Aparcana Robles S. 2008. Estudio sobre el Valor Fertilizante de los Productos del Proceso de "Fermentación Anaeróbica" para Producción de Biogás. Lima. Perú.

Argamentaría Gutiérrez A. 1992. Introducción de especies y variedades pratenses en el norte y noroeste de España. Programa de Pastos y Forrajes/Producción de Leche. Instituto de Experimentación y Promoción Agraria. SERIDA. Serie Memorias Nº 5 / 93.

Bernal Calderón M P, Albuquerque Méndez J A, Bustamante Muñoz M A, Carrillo R C. 2011. Guía de utilización agrícola de los materiales digeridos por biometanización. Probiogas. Fondo Europeo de Desarrollo Regional. España.

Bernard V H, Vilarino V, Piñeiro G. 2007. Emisión teórica de metano en tres sistemas de invernada para engorde de ganado en Argentina. *Cienc. Inv. Agr.* v.34 n.2. pp. 121-129.

Boccolini M, Pegoraro V, Ortiz J, Lorenzon C, Baigorria T, Aimetta B, Cazorla C. 2013. Efecto de la aplicación de urea a largo plazo sobre bacterias nitrificantes bajo un suelo franco limoso. INTA EEA Marcos Juárez. Córdoba. Disponible en: https://inta.gob.ar/sites/default/files/script-tmp-inta_urealargoplazo_mjz13.pdf.

Brizuela M A y Cangiano C. 2011. Especies forrajeras cultivadas en Argentina. Producción Animal en Pastoreo. Ediciones INTA, Buenos Aires. 514 p.

Campos Pozuelo E, Illa Alibés J, Mauri F S, Magrí Aloy A. 2004. Guía de los tratamientos de las deyecciones ganaderas. Departamento de Agricultura Ganadería y Pesca. Catalunya, España.

Castelao Caruana M E. 2018. Economía y organización de proyectos de generación de bioenergía en feedlots en Argentina. Ciudad Autónoma de Buenos Aires. Disponible en: [http://www.ceurconicet.gov.ar/archivos/publicaciones/Bioenergia_en_feedlots_CAF_CONICET_INTI_\(1\).pdf](http://www.ceurconicet.gov.ar/archivos/publicaciones/Bioenergia_en_feedlots_CAF_CONICET_INTI_(1).pdf).

Cegarra J A, Roig A F, Navarro M P, Bernal M, Abad M, Climent D y Aragón P. Características, compostaje y uso agrícola de residuos sólidos urbanos. Córdoba, Argentina. Ed Mundi - Prensa 1993. pp. 46-55.

Cubero D y Viera M. 1999. Abonos orgánicos y Fertilizantes Químicos. XI Congreso Nacional Agronómico/ III Congreso Nacional de Suelos.

Demagnet Filippi R. 2011. Pasturas perennes para la producción de carne bovina. I-Ballica perennes (Raigrás perenne). Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales. Universidad de La Frontera, Temuco, Chile.

Di Rienzo J A, Casanoves F, Balzarini M G, Gonzalez L, Tablada M, Robledo C W. InfoStat versión 2017. Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina. Disponible en: <http://www.infostat.com.ar>.

Engwall M, Schnürer A. 2002. Fate of Ah-receptor agonists in organic household waste during anaerobic degradation—estimation of levels using EROD induction in organ cultures of chick embryo livers. *Sci Total Environ* 297(1–3):105–108.

Gallego J J. 2013. Producción de forraje de gramíneas y sus variedades en Valles Regados de Patagonia Norte. EEA Valle Inferior-Convenio Provincia de Río Negro. INTA. Información técnica N°34.7 N°16 ISSN 1666-6054.

García Páez V. 2013. Manual de Biogás. Conceptos Básicos. Beneficios de su producción y la aplicación de sus sub-productos. Dirección de Sustentabilidad, Medio Ambiente y Cambio Climático. Argentina. Disponible en: https://www.gba.gov.ar/sites/default/files/agroindustria/docs/Manual_de_Biogas01.pdf.

Gobierno de Aragon 2017. Informe científico-técnico sobre el estado del arte en sistemas de gestión de estiércoles, tecnologías y reducción de las emisiones.

Disponible en:

https://www.aragon.es/documents/20127/674325/AGMA_INFORME_SIST.GEST.ESTI ERCOLES2017.PDF/d4adc1a2-82a6-f767-0803-313cb5231dda.

INTA informa. 2011. Ganadería y efecto invernadero: mejor producción, menos contaminación. Disponible en: <https://intainforma.inta.gov.ar/ganaderia-y-efecto-invernadero-mejor-produccion-menos-contaminacion/>

locoli G A. 2018. Estudio integrado sobre la reutilización de residuos agropecuarios: caracterización, mineralización y capacidad fertilizante en suelos frágiles. Tesis de doctor en agronomía. Universidad Nacional del Sur. Bahía Blanca. Argentina. 154 pág.

IPCVA. Instituto de Promoción de la Carne Vacuna Argentina. Faena y producción de carne vacuna. 2019. Disponible en:

http://www.ipcva.com.ar/documentos/2036_1565364358_informedefaenayproduccion2trimestre2019.pdf.

Maddaloni J y Ferrari L. 2001. Forrajeras y pasturas del ecosistema templado-húmedo de la Argentina. INTA-Universidad Nacional de Lomas de Zamora. Disponible en: <https://www.sinavimo.gov.ar/cultivo/lolium-perenne>.

Marcano J M. 2009. Nociones de la Ecología. Educación ambiental. Disponible en: <https://jmarcano.com/nociones/>.

Mashanti A, Castaño J A, Sevilla G H y Orbea J R. 1998. Características agronómicas de especies y cultivares de gramíneas y leguminosas adaptadas al sudeste bonaerense. EEAINTA Balcarce. 83 p.

Palau E y Virginia C. 2016. Digestión anaerobia de residuos de biomasa para la producción de biogás. Universidad Politécnica de Valencia. España. 10 p.

Pauletti M. Recursos naturales. El cultivo del raigrás. Revista del Plan Agropecuario N° 155. Pág 58.

Perdomo C H, Casanova O N, Cigada V S. 2001. Contaminación de aguas subterráneas con nitratos y coliformes en el litoral sudoeste del Uruguay. Agrociencia. Vol. VN° 1. Pág. 10-22.

Pérez Mata C. 2017. Comparación del efecto fertilizante de productos derivados del digestato obtenido en la digestión anaerobia de residuos de supermercado. Universidad de Oviedo. España. 149 p.

Pierre W H. 1928. Fertilizantes nitrogenados y acidez del suelo. Efecto de varios fertilizantes nitrogenados en la reacción del suelo. Revista de la Sociedad Americana de Agronomía 20: 254-269.

Pordomingo A J. 2003. Gestión ambiental en el feedlot. Guía de buenas prácticas. INTA Anguil. La Pampa. Argentina.

Rodríguez C. 2002. Residuos Ganaderos. Cursos de Introducción a la Producción Animal. FAV, UNRC. Sitio Argentino de Producción Animal. Disponible en: file:///C:/Users/miria/OneDrive/Escritorio/TESIS%2016-12/PAPPERS/05-residuos_ganaderos.pdf.

Román P, Martínez M M, Pantoja A. 2013. Manual de compostaje del agricultor. Experiencias en América Latina. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. Oficina Regional para América Latina y el Caribe. Santiago de Chile.

Sistema Nacional Argentino de Vigilancia y Monitoreo de Plagas. *Lolium perenne*. Disponible en: <https://www.sinavimo.gov.ar/cultivo/lolium-perenne>.

Solera del Río R. 2014. De residuo a recurso. El camino hacia la sostenibilidad. Aspectos biológicos de la digestión anaeróbica II.2. España.

Sommantico S. 2019. Los beneficios de tener biodigestores en los establecimientos productivos. Inflo Campo. Disponible en: <https://www.infocampo.com.ar/los-beneficios-de-tener-biodigestores-en-los-establecimientos-productivos/>.

Varela S A, Basil G. 2011. Uso de compost en la producción de plantines de especies forestales. Grupo de Ecología Forestal, INTA EEA Bariloche. Campo Forestal Gral. San Martín, INTA, Las Golondrinas. Silvicultura en Vivero. Cuadernillo N° 4.

Varnero Moreno MT. 2011. Manual de Biogás. Editorial Proyecto CHI/00/G32 Remoción de Barreras para la Electrificación Rural con Energías Renovables. Chile. 115 p.

Vázquez C. 2011. Aplicación de estiércol al suelo y la producción de chile jalapeño. Revista Chapingo. Serie Horticultura. México. Disponible en: http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1027-152X2011000400011

Warnars L y Oppenoorth H. 2014. El biol: el fertilizante supremo. Estudio sobre el biol, sus usos y resultados. Hivos people unlimited. 23p.

Wells J M y Butterfield J E. 1997. Salmonella contamination associated with bacterial soft rot of fresh fruits and vegetables in the marketplace. Plant Disease 81: 867–872.

Zorich C y García A R. 2017. Relevamiento del manejo de residuos en producciones de engorde a corral-feedlots. Cátedra de Química Analítica, Departamento de Recursos Naturales y Ambiente, Facultad de Agronomía. UBA.

ANEXO

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

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV	
Peso seco	240	0,94	0,9	16,83	
Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)					
F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	78,06	95	0,82	23,29	<0,0001
Tratamiento	37	5	7,4	191,6	<0,0001
Suelo	8,40E-04	1	8,40E-04	0,02	0,8833
Tratamiento*Suelo	0,7	5	0,14	3,65	0,009
Tratamiento*Suelo>UE	1,39	36	0,04	1,09	0,3451
Fecha	16,19	4	4,05	114,75	<0,0001
Fecha*Tratamiento	18,43	20	0,92	26,12	<0,0001
Fecha*Suelo	3,32	4	0,83	23,56	<0,0001
Fecha*Tratamiento*Suelo	1,02	20	0,05	1,45	0,1108
Error	5,08	144	0,04		
Total	83,14	239			

Tabla A2. Análisis de varianza con parcelas divididas en el tiempo Tx F para el suelo de Ascasubi.

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV	
Peso seco	120	0,93	0,88	17,78	
Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)					
F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	37,55	47	0,8	20,36	<0,0001
Tratamiento	21,97	5	4,39	157,79	<0,0001
Tratamiento>UE	0,5	18	0,03	0,71	0,7907
Fecha	4,32	4	1,08	27,5	<0,0001
Tratamiento*Fecha	10,77	20	0,54	13,72	<0,0001
Error	2,83	72	0,04		
Total	40,38	119			

Tabla A3. Análisis de varianza con parcelas divididas en el tiempo TxF para el suelo de Napostá.

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV	
Peso seco	120	0,95	0,91	15,83	
Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)					
F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	40,51	47	0,86	27,53	<0,0001
Tratamiento	15,74	5	3,15	63,71	<0,0001
Tratamiento>UE	0,89	18	0,05	1,58	0,0894
Fecha	15,2	4	3,8	121,39	<0,0001
Tratamiento*Fecha	8,68	20	0,43	13,87	<0,0001
Error	2,25	72	0,03		
Total	42,76	119			

Tabla A4. Análisis de varianza con parcela dividida en el tiempo SxF para la variable peso seco del tratamiento Digerido 1.

Tratamiento	Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
DIGERIDO 1	Peso seco	40	0,9	0,84	13,66
Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)					
F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	5,22	15	0,35	14,29	<0,0001
Suelo	0,02	1	0,02	0,27	0,6216
Suelo>UE	0,35	6	0,06	2,43	0,0559
Fecha	4,75	4	1,19	48,82	<0,0001
Suelo*Fecha	0,09	4	0,02	0,96	0,445
Error	0,58	24	0,02		
Total	5,8	39			

Tabla A5. Análisis de varianza con parcela dividida en el tiempo SxF para la variable peso seco del tratamiento Estiércol.

Tratamiento	Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
ESTIERCOL	Peso seco	40	0,55	0,26	31,81
Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)					
F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	3,51	15	0,23	1,92	0,0747
Suelo	3,40E-03	1	3,40E-03	0,04	0,8547
Suelo>UE	0,56	6	0,09	0,77	0,6024
Fecha	2,2	4	0,55	4,5	0,0074
Suelo*Fecha	0,75	4	0,19	1,54	0,2235
Error	2,93	24	0,12		
Total	6,44	39			

Tabla A6. Análisis de varianza doble SxT para la variable peso seco acumulado.

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV	
Peso seco acumulado	48	0,96	0,95	7,87	
Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)					
F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	188,13	11	17,1	88,69	<0,0001
Suelo	4,60E-03	1	4,60E-03	0,02	0,8781
Tratamiento	184,6	5	36,92	191,46	<0,0001
Suelo*Tratamiento	3,52	5	0,7	3,65	0,0089
Error	6,94	36	0,19		
Total	195,07	47			