

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SUR

DEPARTAMENTO DE AGRONOMÍA



DINÁMICA DE MINERALIZACIÓN DE N EN SUELOS CONTRASTANTES DEL SUDOESTE BONAERENSE TRATADOS CON ESTIÉRCOL Y DIGERIDO BOVINO.

AUTOR:

Alcetagaray, Matías

DOCENTE TUTOR:

Dr. Iocoli, Gastón Alejandro

COLABORADOR EXTERNO:

Dr. Orden, Luciano – INTA H. ASCASUBI

DOCENTES CONSEJEROS:

Dr. Esposito, Martín Eduardo

Dr. Garay, Maximiliano

BAHÍA BLANCA

ARGENTINA

2022

ÍNDICE

ÍNDICE.....	I
ÍNDICE DE FIGURAS	II
ÍNDICE DE TABLAS	II
AGRADECIMIENTOS.....	III
RESUMEN	IV
1 INTRODUCCIÓN	1
1.1 Engorde a corral o <i>feed lot</i>	1
1.2 El <i>feed lot</i> en la Argentina	2
1.3 Los residuos ganaderos y su impacto en el ambiente	3
1.4 El proceso de digestión anaerobia	4
1.5 El digerido y su utilización como enmienda de suelos.....	6
1.6 La mineralización de N en el suelo	8
2 OBJETIVO GENERAL	10
3 MATERIALES Y MÉTODOS.....	11
3.1 Suelos	11
3.2 Enmiendas utilizadas.....	11
3.3 Dinámica de Nitrógeno	13
3.4 Diseño experimental y análisis estadístico.....	14
4 RESULTADOS	15
4.1 DINÁMICA DE AMONIO	15
4.1.1 SUELO ASCASUBI	15
4.1.2 SUELO NAPOSTÁ.....	18
4.2 DINÁMICA DE NITRATO	21
4.2.1 SUELO ASCASUBI	21
4.2.2 SUELO NAPOSTÁ.....	21
4.3 DINÁMICA DE NITRÓGENO INORGÁNICO	26
4.3.1 SUELO ASCASUBI	26
4.3.2 SUELO NAPOSTÁ.....	29
5 DISCUSIÓN.....	30
6 CONCLUSIONES	33
7 BIBLIOGRAFÍA	34
8 ANEXO	41

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Sistema de engorde a corral o feed lot.	1
Figura 2. Existencias bovinas en número de cabezas en encierre a corral.	3
Figura 3. Proceso de digestión anaerobia.	6
Figura 4. Dinámica del nitrógeno del suelo.	10
Figura 5. Establecimiento de engorde a corral ubicado en Las Oscuras, partido de Coronel Dorrego.	12
Figura 6. Filtrado de muestras de suelo.	14
Figura 7. Agitador mecánico.	14
Figura 8. Comparación de medias de la concentración de amonio de los tratamientos para cada fecha en el suelo de H. Ascasubi.	16
Figura 9. Dinámica de la concentración de amonio por tratamiento para el suelo de H. Ascasubi.	17
Figura 10. Comparación de medias de la concentración de amonio de los tratamientos para cada fecha en el suelo Napostá.	19
Figura 11. Dinámica de la concentración de amonio por tratamiento para el suelo Napostá.	20
Figura 12. Comparación de medias de la concentración de nitrato de los tratamientos para cada fecha en el suelo de H. Ascasubi.	22
Figura 13. Dinámica de la concentración nitrato por tratamiento para el suelo de H. Ascasubi.	23
Figura 14. Comparación de medias de la concentración de nitrato de los tratamientos para cada fecha en el suelo Napostá.	24
Figura 15. Dinámica de la concentración de nitrato de los tratamientos para el suelo Napostá.	25
Figura 16. Comparación de medias de la concentración de Ni de los tratamientos para cada fecha en el suelo de H. Ascasubi.	27
Figura 17. Dinámica de la concentración de Ni de los tratamientos para el suelo de H. Ascasubi.	28
Figura 18. Comparación de medias de Ni por tratamiento (a) y dinámica del Ni (b) para el suelo Napostá.	29

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Características físico-químicas de los suelos.	11
Tabla 2. Características de las enmiendas utilizadas.	12
Tabla 3. Nutrientes aportados por las enmiendas.	13

AGRADECIMIENTOS

Agradezco, en primer lugar a mi familia, en especial a mis padres, Alicia y Miguel, por los valores transmitidos, el esfuerzo realizado y el apoyo incondicional de siempre. Sin ellos nada hubiese sido posible.

A mis amigos, de la vida y de la Universidad, por acompañar constantemente a lo largo de la carrera.

A la Universidad Nacional del Sur y, al Departamento de Agronomía y su plantel docente por la educación pública y de calidad.

A mi docente tutor, Gastón Iocoli, por su compromiso, paciencia, experiencia y conocimiento aportado, indispensable para el desarrollo de este trabajo.

A Luciano Orden, por su generosidad, seguimiento del trabajo y su valioso aporte en las diferentes etapas. Gracias por la buena predisposición y el conocimiento brindado.

A mis docentes consejeros, Martín Esposito y Maximiliano Garay, por su colaboración y seguimiento del trabajo.

A la E.E.A INTA de Hilario Ascasubi y al Departamento de Agronomía de la Universidad Nacional del Sur por las instalaciones y herramientas para la realización del ensayo.

A Lucas Achucarro por su participación en el armado de los microcosmos y toma de muestras.

A Javier por su colaboración en el armado, pesado y riego de los microcosmos.

A Carolina, Andrea, Julio y Patricio por los traslados para la toma de muestras.

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

Al CERZOS (UNS-CONICET) por la financiación del ensayo a través del proyecto PUE-2016.

RESUMEN

El desarrollo de nuevas tecnologías aplicadas a los cultivos a fines de los años 90 fue incrementando el área destinada a la agricultura, y como consecuencia reduciendo el área destinada a la ganadería y desplazándola hacia las áreas menos productivas. Estos procesos involucraron un cambio en el modelo productivo migrando de sistemas pastoriles a sistemas semi o totalmente intensivos. Las ventajas del sistema de engorde a corral, como la mayor eficiencia de conversión y, menor tiempo de engorde entre otras cosas, motivaron a los productores a implementarlo. Al mismo tiempo, este sistema genera una gran cantidad de residuos que no son adecuadamente gestionados, ocasionando un perjuicio sobre el medio ambiente y la salud de las personas. Una alternativa destinada a reducir los efectos negativos que genera tal acumulación de los residuos en el ambiente es la utilización de los mismos como insumos destinados a mejorar las características físico-química de los suelos y el rendimiento de los cultivos. El objetivo de este trabajo fue determinar la dinámica de N de residuos orgánicos provenientes de un *feed lot* para evaluar su potencial uso como fertilizante. Los tratamientos evaluados fueron un digerido anaeróbico de estiércol bovino (DFL) y estiércol bovino sin procesar (FL), en comparación con un tratamiento con urea (U) con dosis ajustadas a 36 mg NTK/ kg suelo y un tratamiento control sin fertilizar. Para la realización del ensayo se utilizaron dos suelos representativos del sudoeste bonaerense: un Haplustol éntico, de textura franco arenoso, proveniente de Hilario Ascasubi, y un Paleustol petrocálcico, de textura franca, recolectado del campo Napostá. Los suelos se secaron al aire y se tamizaron por 2 mm. Los mismos se preincubaron durante 7 días con una humedad del 50 % del PS. Al aplicar los tratamientos se corrigió la humedad ajustándola al 70 % del PS. Se evaluó el N-NH_4^+ , N-NO_3^- y Ni producido a los 0, 1, 2, 4, 7, 14, 21, 35, 49, 70, 91 y 119 días. Debido a problemas analíticos en las fechas 49, 70, 91 y 119 solo se analizaron los resultados correspondientes a las fechas 0, 1, 2, 4, 7, 14, 21 y 35. Mediante los resultados obtenidos se demostró que el tratamiento DFL presentó un periodo inicial de amonificación superior al resto de los tratamientos y mantuvo una dinámica de nitrógeno similar al tratamiento U. Por su parte, el tratamiento FL, presentó menores niveles de nitrógeno, similares al tratamiento C durante todo el ensayo, y mantuvo periodos de inmovilización mayores que el tratamiento DFL. El digerido anaeróbico de estiércol de *feed lot* (DFL) posee características que permitirían utilizarlo en reemplazo de fertilizantes de N sintéticos, permitiendo reducir la concentración de residuos y contribuyendo a un sistema productivo en armonía con el medio ambiente.

Palabras claves: actividad biológica, *feed lot*, impacto ambiental, reciclaje de nutrientes, residuos orgánicos.

1 INTRODUCCIÓN

1.1 Engorde a corral o *feed lot*

El sistema de engorde a corral tuvo su origen en los Estados Unidos en la década del 50, producto del avance de la agricultura (Munilla et al., 2019), del exceso de granos y de la relación de precios entre el insumo y el producto.

El impacto global de la agriculturización a fines de 1990 producto del avance tecnológico produjo un desplazamiento de la ganadería hacia zonas menos productivas, reduciendo también la superficie de dicha actividad (Munilla et al., 2019).

Este sistema consiste en el engorde de animales bajo confinamiento, utilizando dietas de alta concentración energética y alta digestibilidad (Gil, 2005), compuestas por granos, concentrados proteicos, núcleo vitamínico-mineral y heno, en distintas proporciones según los objetivos (Pordomingo, 2013).

Las instalaciones se componen de corrales de recepción; corrales de alimentación donde permanecen los animales, con bebederos, comederos y provisión de sombra; corrales para la atención de tratamientos sanitarios o labores de hacienda; planta de alimentación (silos de almacenaje, insumos, tolva de recepción, maquinas, etc.) y una planta o sistema para tratamiento de efluentes (Gil, 2005).

Entre sus ventajas se puede mencionar una mayor producción por animal, una alta eficiencia de conversión y carne de mejor calidad (Gil, 2005).



Figura 1. Sistema de engorde a corral o *feed lot*.

FUENTE: SENASA, 2016.

1.2 El *feed lot* en la Argentina

La producción de carne bajo este sistema de engorde lleva implementándose en nuestro país aproximadamente unos 20 años. Los productores adoptaron este sistema para aumentar la carga animal, asegurar la terminación y la edad de faena, liberar lotes para agricultura, etc. (Pordomingo, 2013).

Según un informe publicado por el Servicio Nacional de Sanidad y Calidad Agroalimentaria (SENASA) para el año 2019 se registraron 1205 establecimientos dedicados a esta actividad comercial, liderada por Buenos Aires con 320 *feed lot* como la provincia con mayor número de establecimientos, seguida por Córdoba y Santa Fe con 297 y 259 respectivamente (SENASA, 2019). Las existencias bovinas en establecimientos de engorde registradas al cierre de Junio de 2021 alcanzaron los 1,72 millones de animales, de los cuales el 35,4 % correspondía a vaquillonas y terneras, y el 48,4 % a novillitos y terneros (IPCVA, 2021).

La alimentación en *feed lot* en nuestro país se caracteriza por tener estructuras básicas, de escasa inversión en la mayoría de los casos y a pequeña escala (Pordomingo, 2013).

Según la etapa de engorde que se lleve a cabo le corresponden dos denominaciones, por un lado corrales de terminación, que son aquellos que cuentan con instalaciones caseras y económicas situadas dentro del propio establecimiento y se dedican a engordar hacienda propia bajo un sistema de engorde semi intensivo, y por el otro lado, el sistema de engorde a corral o *feed lot* profesional, en cual se produce el engorde de animales propios o para terceros, también denominado hotelería. Estos establecimientos pueden ser de frigoríficos, consignatarios de hacienda, inversores, acopiadores de granos, etc. (Robert et al., 2009).

La tendencia del producto demandado por el mercado interno argentino se inclina hacia animales livianos y de bajo nivel de engrasamiento, por ese motivo las dietas compuestas son simples y con periodos de encierre variables que dependen del peso de entrada y la edad de los animales. El encierre de terneros y terneras corresponden a las categorías de mayor número debido a su rápido crecimiento y a su alta eficiencia de conversión, con ganancias de peso de alrededor de 1,3 kg por día. En novillos y novillitos las ganancias de peso obtenidas son mayores, pudiendo alcanzar hasta 1,6 kg por día (Pordomingo, 2013).

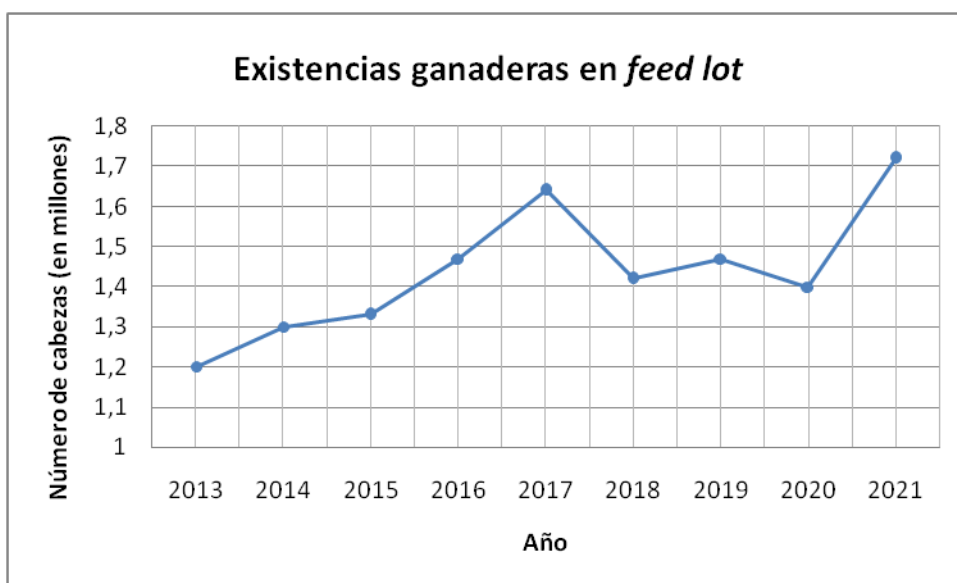


Figura 2. Existencias bovinas en número de cabezas en encierro a corral.
FUENTE: Elaboración propia con datos obtenidos de IPCVA.

1.3 Los residuos ganaderos y su impacto en el ambiente

La intensificación ganadera está asociada a la concentración de residuos, requiriendo importantes medidas de gestión para evitar los efectos negativos sobre el ambiente (Bolton et al., 2004). En Argentina las regulaciones fueron avanzando con el desarrollo de la actividad, sin embargo se observa un gran retraso. Provincias como Córdoba, Santa Fe, Entre Ríos, Formosa y San Luis, actualmente cuentan con normativas que regulan tanto cuestiones productivas como ambientales (Pampuro, 2015), pero aún la implementación y los controles no son los adecuados.

Dependiendo de la composición de la dieta, un lote conformado por 500 animales puede producir entre 6000 y 9000 toneladas de estiércol al año. Un novillo de 450 kg produce 38 litros o 27 kg de excrementos húmedos (heces más orina) por día (Pordomingo, 2003). Esta gran cantidad de residuos generados normalmente no son aprovechados, ni tratados implicando un importante riesgo ambiental.

Los posibles inconvenientes asociados a los residuos son i) lavado de sustancias que llegan al nivel de la capa freática, ii) escurrimiento superficial de contaminantes y iii) emisión de gases de efecto invernadero (Sweeten, 1998).

Los compuestos orgánicos alcanzan los cuerpos de agua por lixiviación a través del suelo y el elemento de mayor poder contaminante en el recurso hídrico subterráneo es el nitrógeno (Rodríguez, 2002). El lavado de NO_3^- es una amenaza para la salud humana ya que en altas concentraciones pueden producir el síndrome del “niño azul” o hemoglobinemia, cuando el agua es utilizada para consumo humano (Bolton et al., 2004).

El P no es tóxico para el ser humano y no presenta un impacto negativo donde es aplicado, pero este elemento junto con el N son los principales causantes de los

fenómenos de eutrofización en los cuerpos de agua. Este fenómeno describe una condición de los reservorios de agua con un excesivo crecimiento de algas que produce el deterioro de los mismos (Moore, 1998).

El escurrimiento superficial de aguas provenientes de los *feed lot* contiene una alta concentración de nutrientes, sales, patógenos y MO que pueden llegar a los cursos de agua superficiales y subterráneos (Sweeten, 1998). Estudios realizados en zonas rurales de Argentina determinaron que el 70 % de las perforaciones en instalaciones de ordeño contenían contaminación microbiana, y los sedimentos en el agua de escorrentía provenientes de los corrales de engorde que llegaban a los arroyos favorecían la presencia de microorganismos patógenos (Herrero et al., 2002; Chagas et al., 2007). Por otro lado, el exceso de MO en los cursos de agua causa una disminución del O₂ disuelto debido a la alta demanda para su descomposición, lo que causa la muerte de peces por asfixia (Sweeten, 1998).

Los efectos que los residuos ganaderos causan sobre la atmósfera están ligados a compuestos volátiles que emanan de los procesos de transformación de los residuos, como la acción de microorganismos sobre proteínas, hidratos de carbono y grasas dando origen a gases como NH₃, H₂S, CH₄ y CO₂ (Rodríguez, 2002). El óxido nitroso (N₂O) es otro de los gases de efecto invernadero, sus emisiones a partir del suelo pueden ser producidas por la nitrificación y desnitrificación de los residuos (Tisdale et al., 1993).

1.4 El proceso de digestión anaerobia

La digestión anaerobia es un proceso biológico llevado a cabo por un grupo de microorganismos específicos en ausencia de oxígeno por el cual la materia orgánica es transformada en una mezcla gaseosa denominada biogás compuesta principalmente por CO₂ y CH₄, y trazas de otros gases (N₂, NH₃, H₂S, H₂O, CO, O₂) (De Graaf et al., 2010). El metano representa entre el 50 y 70 %, y el dióxido de carbono entre el 30 y 50 %, el resto de los gases se encuentran en pequeñas proporciones (Acosta et al., 2005). La fase líquida-sólida se denomina digerido y se compone de una fracción lignocelulósica no degradada, ácidos orgánicos, biomasa microbiana y una fracción de compuestos inorgánicos disponibles (Frioni, 2011). Ambos productos son aprovechables, el biogás como fuente de energía y el digerido como enmienda de los suelos (IDAE, 2007).

En el proceso de digestión anaerobia, el 90 % de la energía disponible por oxidación de los residuos se transformará en metano y el 10 % restante será utilizado por los microorganismos para crecimiento bacteriano (Capdevila, 2014).

La digestión anaerobia es un proceso complejo que involucra 4 reacciones bioquímicas y diferentes tipos de microorganismos (Ortega, 2002). Las etapas del proceso de digestión anaeróbica son: hidrólisis, acidogénesis, acetogénesis y metanogénesis.

1. **HIDRÓLISIS:** en esta primera etapa para que las bacterias tengan acceso a la energía presente en los residuos, estos últimos deben ser convertidos a polímeros de cadena corta, para poder atravesar la pared celular de los microorganismos

(Capdevila, 2014). El proceso es llevado a cabo por enzimas extracelulares presentes en los microorganismos hidrolíticos (Acosta et al., 2005). La velocidad de este proceso depende de la temperatura, del tiempo de retención hidráulico, de la composición del sustrato, del tamaño de partícula, del pH, de la concentración NH_4^+ y de la concentración de los productos de la hidrólisis (Ortega, 2006). En esta etapa participan principalmente los géneros: *Clostridium*, *Acetivibrio*, *Bacteroides*, *Bifidobacterium*, *Selenomonas*, *Ruminococcus*, *Streptococcus* y *Enterobacterium* (Iocoli, 2018).

2. **ACIDOGÉNESIS:** esta etapa se caracteriza por la fermentación de las moléculas solubles en compuestos que serán utilizados por los microorganismos metanogénicos (acético, fórmico, H_2 y CO_2) y en otros compuestos orgánicos más reducidos (propiónico, butírico, valérico, láctico y etanol) que serán oxidados en las próximas etapas del proceso para poder ser utilizadas en la metanogénesis (Capdevila, 2014).

La fermentación de los azúcares es llevada a cabo por varios microorganismos, la mayoría del genero *Clostridium* que convierten los azúcares en ácido butírico, acético, CO_2 y H_2 . En la proteólisis encontramos bacterias del genero *Clostridium* como también *Peptococcus* y *bacteroides*. El producto final de la oxidación de proteínas es CO_2 , NH_3 y ácido carboxílico. La digestión de los ácidos grasos es llevada a cabo por el proceso de β -oxidación transformando los ácidos de cadena larga en ácidos de cadena corta dando como producto final ácido acético. En este proceso participan microorganismos consumidores de H_2 (Ortega, 2006). Esta transformación es mediada por un grupo de microorganismos asociados de manera sintrófica, que consiste en un mecanismo simbiótico donde las bacterias, por cuestiones energéticas, dependen unas de otras para lograr la degradación de los sustratos (Schink, 1997). Los géneros involucrados en este proceso son: *Pseudomonas*, *Bacillus*, *Clostridium*, *Micrococcus*, *Flavobacterium* y muchos otros presentes en la primera etapa de la hidrólisis (Shah et al., 2014).

3. **ACETOGÉNESIS:** algunos productos de la fermentación pueden ser utilizados por las bacterias metanogénicas (acético y H_2), otros (etanol, ácidos grasos volátiles y algunos compuestos aromáticos) necesitan ser reducidos a compuestos más sencillos como acetato y H_2 por las bacterias acetogénicas (Ortega, 2006).

Las bacterias homoacetogénicas generan acetato a partir de CO_2 y H_2 . Este mecanismo permite mantener bajas las presiones de H_2 (Capdevila, 2014). Al contrario que las acetogénicas, este tipo de bacterias no producen H_2 sino que lo consumen como sustrato (Ortega, 2006). Participan de esta fase, bacterias de los géneros *Eubacterium*, *Ruminococcus*, *Syntrophomonas*, *Syntrophus*, *Clostridium*, *Syntrobacter*, los últimos cuatro, con capacidad de producir sintrófia (Gerardi, 2003; Insam et al., 2010; Schnürer & Jarvis, 2010).

4. **METANOGENESIS:** los microorganismos metanogénicos obtienen metano como producto del proceso de digestión anaerobia a partir de sustratos como acetato, H_2 y CO_2 , formato, metanol y algunas metilaminas (Capdevila, 2014). Según el sustrato

que utilizan para producir metano se los divide en dos grupos. Los hidrogenotróficos, que producen metano a partir de H_2 y CO_2 (producen el 30 % del metano) y los acetoclásticos que lo hacen a partir del ácido fórmico, metanol y algunas aminas (producen el 70 % del metano) (Ortega, 2006). Esta clase de bacterias son sensibles a los cambios de temperatura y pH, por tal motivo es una etapa crítica de la digestión y a su vez lenta (Capdevila, 2014). Los dos géneros pertenecientes a las arqueas acetotróficas son: *Methanosarcina* y *Methanothrix* (Ortega, 2006).

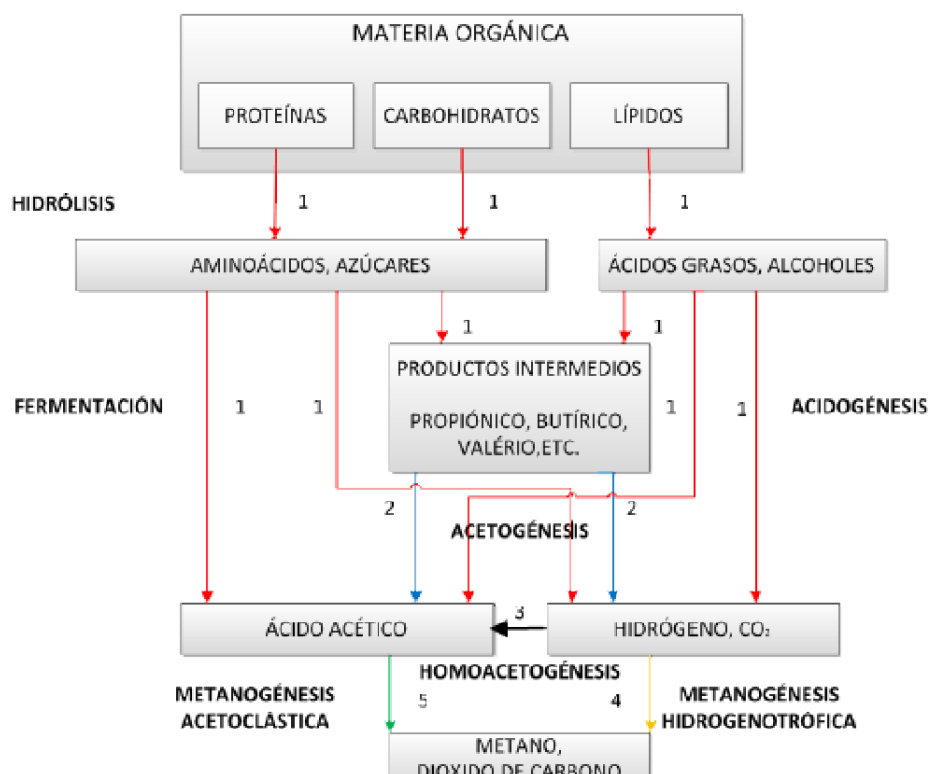


Figura 3. Proceso de digestión anaerobia.

FUENTE: Pavlostathis & Giraldo-Gómez, 1991 .1) Bacterias fermentativas; 2) Bacterias acetogénicas; 3) Bacterias homoacetogénicas; 4) Bacterias metanogénicas hidrogenotróficas; 5) Bacterias metanogénicas acetoclásticas.

1.5 El digerido y su utilización como enmienda de suelos

A la hora de valorizar los residuos producidos en los establecimientos agropecuarios, la mejor forma de hacerlo es a través de la posibilidad de generar un insumo que facilite el desarrollo económico de la actividad, sumado a su beneficio ambiental (Bernal Calderon et al., 2011; Gomez, 2016), ya que, lo que no es reutilizado puede derivar en problemas de contaminación (Ayala, 2018).

El producto obtenido por digestión depende del tipo de animal, sexo, edad, dieta, de su distribución espacial y de las condiciones climáticas de la región (Lukehurst et al., 2010). El contenido en materia orgánica y, macro y micro nutrientes de los digeridos es variable dependiendo del sustrato y del proceso utilizado (Möller & Müller, 2012; Zirkler et al., 2014), sin embargo, hay características comunes a todos ellos: una alta

proporción de NH_4^+ y compuestos recalcitrantes (Iocoli, 2018); que son importantes precursores de los procesos de humificación mejorando la estructura y agregación de suelo (Bongiovanni et al., 2018); compuestos lábiles y biomasa microbiana (Iocoli, 2018).

Diversos estudios han determinado la existencia en los digeridos de diferentes moléculas como fitohormonas, ácidos nucleicos, monosacáridos, aminoácidos, vitaminas, ácidos fúlvicos, etc. capaces de promover el crecimiento vegetal y aumentar la tolerancia de los cultivos al stress biótico y abiótico (Liu et al., 2009; Yu et al., 2010). No obstante, otros autores, Abdullahi et al., (2008); Salminen & Rintala (2002) han encontrado reacciones fitotóxicas ligadas a la concentración de NH_4^+ y ácidos orgánicos, aunque tal efecto disminuiría en el corto plazo después de su aplicación.

El proceso de digestión da como resultado dos productos, uno líquido y un material fibroso. La fracción sólida es empleada para la obtención de fertilizantes sólidos mediante compostaje, en la cual se consigue una mayor estabilidad de la MO, libre de compuestos fitotóxicos y patógenos y con ciertas características húmicas. La fracción sólida compostada o no puede ser aplicada mediante abonadoras sobre la superficie o incorporadas al suelo. Por su parte, la fracción líquida puede ser aplicada mediante fertirrigación, aplicada al suelo mediante boquillas o incorporadas al mismo mediante cultivador con tubos de bajada o inyectores (Bernal Calderon et al., 2011).

Möller et al., (2008) analizó el efecto de la aplicación de digeridos a campo vs maceta, donde observó que el efecto producido por la aplicación incorporada al suelo en maceta redujo las pérdidas de N. En cambio, la aplicación superficial a campo causó las mayores pérdidas de N por volatilización, debido al aumento del pH de la solución del suelo como consecuencia de la alta concentración de NH_4^+ que presenta el digerido (Pötsch, 2005; Möller et al., 2008; Möller & Stinner, 2009; Gericke et al., 2012).

Para disminuir las pérdidas gaseosas se recomienda:

- aplicar el digerido en condiciones climáticas adecuadas, con alta humedad, baja temperatura y sin viento
- la incorporación al suelo, ya que reduce las pérdidas en un 95 %
- Disminuir el pH con aplicación de ácido disminuye el proceso de volatilización (Bernal Calderon et al., 2011)

Su importancia como biofertilizante es la alta proporción de N disponible como NH_4^+ y la menor proporción de P comparado con otras enmiendas orgánicas (Abubaker et al., 2013). A su vez, su aporte al suelo como enmienda favorece la fertilidad físico-química, comunidades bacterianas (Walsh et al., 2012), promueve la recirculación de nutrientes y evita problemas de contaminación por concentración (Bongiovanni et al., 2018).

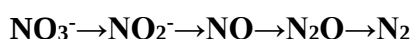
1.6 La mineralización de N en el suelo

Los compuestos nitrogenados complejos no pueden ser utilizados por las plantas superiores pero sí por los microorganismos que son los encargados de la transformación de N orgánico a sus formas asimilables por las plantas (Benimeli et al., 2019). El proceso de mineralización consiste en la transformación del nitrógeno orgánico en inorgánico, este último en su forma de NH_4^+ y NO_3^- (Campuzano, 2008). La obtención del amonio es llevada a cabo por microorganismos con mecanismos de vida tanto aerobio como anaerobio a través de dos reacciones: la aminificación y la amonificación (Benimeli et al., 2019). La aminificación consiste en la digestión enzimática de proteínas y nucleótidos en compuestos más simples por parte de los microorganismos (Benimeli et al., 2019). Estos compuestos obtenidos en la etapa de aminificación son utilizados por las bacterias heterótrofas para producir NH_4^+ (Campuzano, 2008) o para su propio crecimiento (Benimeli et al., 2019), en el proceso conocido como amonificación. Schimel & Bennett (2004) confirmaron que la utilización de monómeros no es exclusiva de los microorganismos y que las plantas podrían hacer uso de estos compuestos directamente. Factores como la temperatura, humedad y aireación condicionan el proceso porque se afecta la actividad microbiana (Benimeli et al., 2019). La inmovilización del N es el proceso inverso y ocurre cuando el nitrógeno inorgánico disponible en el suelo es utilizado por los microorganismos en la síntesis de proteínas y otros compuestos orgánicos (Harrison, 2003). La relación C: N de las enmiendas orgánicas que se incorporan al suelo es otro de los factores que condicionan los procesos de mineralización e inmovilización, generalmente cuando la relación es menor a 20 se promueve la mineralización, y cuando la relación es superior a 20 se promueve la inmovilización del N por parte de los microorganismos (Feral et al., 2003; Cerrato et al., 2007).

El amonio producido en la etapa de amonificación es transformado en nitrato en un proceso oxidativo llevado a cabo por bacterias autótrofas (Campuzano, 2008). Este proceso se denomina nitrificación y consta de dos etapas. La primera es la producción de nitrito (NO_2^-) por bacterias del género *Nitrosomas*, *Nitrosolobus*, *Nitrosospira* y *Nitrisococcus* (Benimeli et al., 2019; Carrillo et al., 2000; Yuan et al., 2008; Aramayo, 2007). La enzima amonio mono-oxigenasa (AMO) localizada en la membrana plasmática es la encargada de la transformación del amonio en hidroxilamina, la cual mediante la enzima periplasmática hidroxilamina óxido reductasa (HAO) se convertirá en nitrito (Hooper et al., 1997; Kroneck et al., 1992). En la segunda etapa actúan bacterias de género *Nitrobacter*, *Nitrococcus*, *Nitrospina* que producen la formación de nitrato (NO_3^-) a partir de nitrito (NO_2^-) (Benimeli et al., 2019; Carrillo et al., 2000; Yuan et al., 2008) y la enzima encargada de catalizar la reacción es la nitrito óxido reductasa (NOR) (Carrillo et al., 2000). Si la oxidación del amonio ocurre bajo condiciones anaerobias, en este caso actúan un grupo de bacterias específicas llamadas ANAMMOX (Hayatsu et al., 2008; Francis et al., 2007), en la cual un mol de amonio (dador de e^-) es oxidado con un mol de nitrito (aceptor de e^-) mediante un proceso quimiolitotrófico con la consecuente producción de gas dinitrógeno (N_2) (Aramayo, 2007). La nitrificación es

afectada por varios factores ya que las bacterias son muy sensibles, entre ellos al contenido de amonio, pH, temperatura, humedad y aireación (Benimeli et al., 2019).

La desnitrificación es un proceso importante ya que devuelve a la atmósfera el nitrógeno fijado (Simon, 2002), y lo realizan los microorganismos que utilizan las formas oxidadas de nitrógeno (NO_3^- y NO_2^-) como aceptores de electrones (Campuzano, 2008). Estos últimos son transportados vía sistemas portadores desde un sustrato a una forma de N más oxidado, generando energía en forma de ATP a través de la fosforilación durante la respiración (Hauck, 1984). Los microorganismos son en su mayoría anaerobios facultativos, heterotróficos, aunque varios pueden crecer autotróficamente en medios con H_2 y CO_2 , y compuestos sulfurados reducidos (Tiedje, 1988). Los encargados de llevar a cabo esta transformación pertenecen a los géneros *Pseudomonas*, *Bacillus*, *Micrococcus*, *Achromobacter*, *Alcaligenes*, *Paracoccus*, *Thiobacillus* y *Thiosphaera* (Benimeli et al., 2019; Carrillo et al., 2000). Las formas oxidadas de nitrógeno mediante este proceso se convierten en dinitrogeno (N_2) y en óxido nitroso (N_2O) en menor medida (Harrison, 2003), como indica la siguiente reacción:



El primer paso en la reducción del nitrato (NO_3^-) a nitrito (NO_2^-) es mediado por la enzima nitrato reductasa (Carrillo et al., 2000). Las enzimas (citoplasmáticas y periplasmáticas) presentes en esta reacción pueden ser de dos tipos, las dependientes del Fe y las del Cu (Aramayo, 2007). Posteriormente el nitrito es reducido a óxido nítrico (NO) a través de la enzima nitrito reductasa (Carrillo et al., 2000). La siguiente reacción es catalizada por la óxido nítrico reductasa (Goretski & Hollocher, 1990) localizada en la membrana y dependiente también del Fe y Cu para su funcionamiento, y cuya función es la obtención de óxido nitroso (N_2O) a partir del óxido nítrico (NO) (Aramayo, 2007). El último paso es la reducción del óxido nitroso (N_2O) a N_2 y la encargada es la enzima óxido nitroso reductasa presente en el periplasma (Carrillo et al., 2000). La reducción desasimilatoria del nitrato a amonio es otro mecanismo de reducción, participa la enzima nitrato reductasa (Carrillo et al., 2000) donde el nitrato es el aceptor final de electrones produciendo energía que será utilizada en la oxidación de compuestos orgánicos (Maier et al., 2000).

Las pérdidas de N ocurren por percolación de NO_3^- , erosión y escorrentía superficial, volatilización del amonio y pérdidas gaseosas de N_2 y N_2O (Campuzano, 2008). El óxido nítrico (NO) y el óxido nitroso (N_2O) revisten particular importancia por ser gases de efecto invernadero (Harrison, 2003).

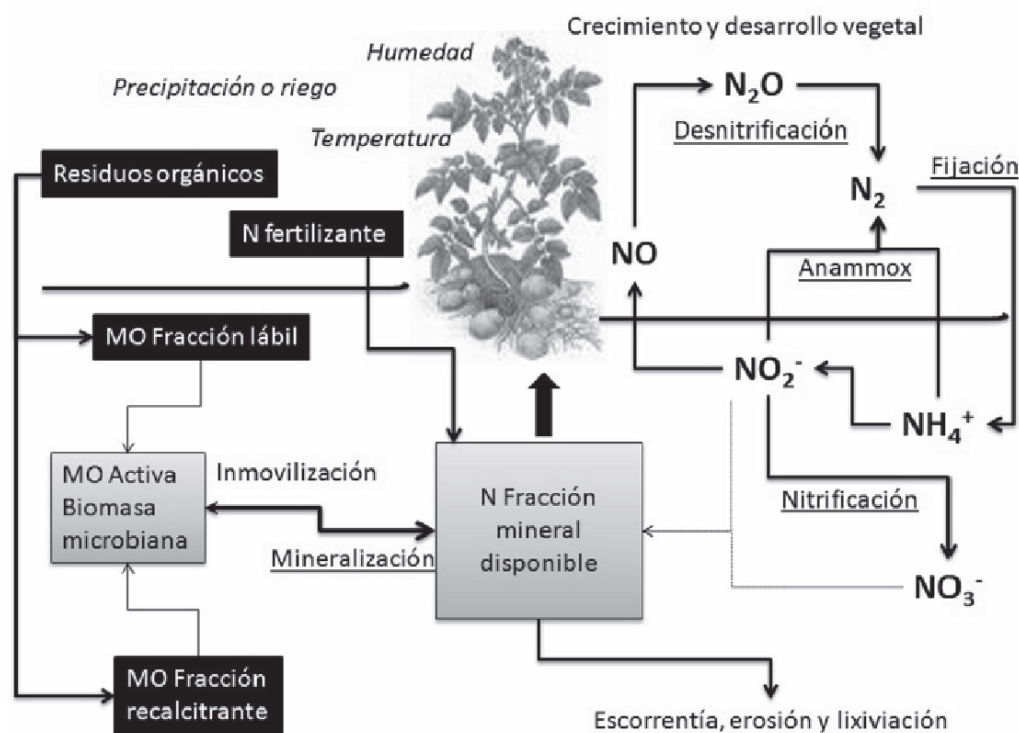


Figura 4. Dinámica del nitrógeno del suelo.

FUENTE: Cerón & Aristizábal, 2012.

2 OBJETIVO GENERAL

La información relacionada a los efectos negativos generados por el mal o insuficiente manejo de los residuos sobre el ambiente y la salud humana es abundante, sin embargo, la información regional asociada al potencial reaprovechamiento de residuos como enmiendas o fertilizantes es muy acotada. Adicionalmente, el país no cuenta aún con políticas regulatorias que controlen y promuevan un sistema productivo sustentable. En función de esto se planteó el siguiente objetivo:

- ❖ Evaluar la dinámica de mineralización de N en dos suelos representativos del sudoeste bonaerense post aplicación de estiércol y digerido bovino.

3 MATERIALES Y MÉTODOS

Se evaluó la dinámica de mineralización de N al aplicar una isodosis de NTK en forma de estiércol bovino sin procesar, digerido anaeróbico de estiércol bovino y urea en comparación con un control sin fertilizar.

3.1 Suelos

Para la evaluación se utilizaron dos suelos diferentes, representativos de la zona semiárida del sudoeste bonaerense. Un suelo, Paleustol Petrocálcico, de textura franca, ubicado en un campo de Colonia Napostá, ubicado en el kilómetro 35 de la Ruta Nacional 33, perteneciente al Ministerio de Desarrollo Agrario y que administra la Universidad Nacional del Sur. El otro suelo es un Haplustol Éntico, franco arenoso, perteneciente a la serie “La Merced” (Codagnone, 1991) recolectado de la Estación Experimental INTA de Hilario Ascasubi.

Los suelos se extrajeron de la capa superficial (0-20 cm), se los secó al aire y se los tamizó por 2 mm. Se tomó una submuestra de cada suelo donde se determinó pH (potenciométrico en agua 1:10), CE (conductimetría, 1:10), C (combustión seca, 1500 °C, LECO C Analyser), N-NH₄⁺, N-NO₃⁻ y Nitrógeno total (semi micro Kjeldahl, NTK) (Tabla 1).

Tabla 1. Características físico-químicas de los suelos.

Suelo	CO	NTK	C/N	N-NH ₄ ⁺	N-NO ₃ ⁻	pH	CE	A	L	a	Textura
	%	%		mg.Kg ⁻¹			dS/m	%			
Ascasubi	1,73	0,13	13,3	20,3	3,2	7,6	0,83	74	16	10	Franco-arenoso
Naposta	2,36	0,2	11,8	21,3	10,2	7,8	0,73	54	38	7,3	Franco

Napostá: Paleustol Petrocálcico; Ascasubi: Haplustol Éntico; CO: carbono orgánico; NTK: nitrógeno total Kjeldahl; N-NH₄⁺: amonio; N-NO₃⁻: nitrato; A: arena; L: limo; a: arcilla; C.E: conductividad eléctrica.

3.2 Enmiendas utilizadas

El estiércol bovino se colectó en un establecimiento de engorde a corral situado en la zona de Las Oscuras (Figura 5). El digerido se obtuvo a partir de ese mismo estiércol. La digestión anaeróbica fue realizada en un digestor tipo batch de 20 L con agitación manual, con control automático de la temperatura (35 °C +/- 1 °C) y un tiempo de retención hidráulico de 45 días. Durante la digestión anaeróbica, el gas producido se quemó en un mechero para verificar que el gas sea combustible.



Figura 5. Establecimiento de engorde a corral ubicado en Las Oscuras, partido de Coronel Dorrego.

TRATAMIENTOS:

- C: Control
- U: Urea
- FL: Estiércol de *feed lot* sin procesar
- DFL: Digerido anaeróbico de estiércol de *feed lot*

Sobre las enmiendas utilizadas se determinó N-NH_4^+ , N-NO_3^- y NTK por semimicro Kjeldahl. El contenido de C se obtuvo mediante combustión seca (1500 °C, LECO C Analyser). Los sólidos totales (ST) se determinaron de acuerdo al método estándar (APHA, 1992). Los resultados se presentan en la tabla 2.

Tabla 2. Características de las enmiendas utilizadas.

Tratamientos	C	NTK	N-NH ₄ ⁺	N-NO ₃ ⁻	Ni	NT	Ni/NT	ST
	mg.kg ⁻¹							%
Digerido	3400	240	143,7	3,7	147,4	243,7	0,604	2,11
Estiércol	131800	10060	43,17	422,9	466,07	10482,9	0,044	25,84

C: carbono; NTK: nitrógeno total (semi micro Kjeldahl); N-NH_4^+ : amonio; N-NO_3^- : nitrato; Ni: nitrógeno inorgánico; NT: nitrógeno total; ST: sólidos totales.

DFL: valores expresados en base húmeda; FL: valores expresados en base seca.

3.3 Dinámica de Nitrógeno

La dinámica de N fue evaluada en microcosmos, en una cámara con temperatura controlada en la EEA H. Ascasubi. Los microcosmos se armaron en frascos de 750 ml de capacidad con la tapa perforada para garantizar el intercambio gaseoso y las condiciones aerobias. En cada microcosmos se colaron 100 g de suelo seco al aire, se humedecieron hasta el 50 % del punto de saturación (PS) y se preincubaron durante una semana a 25 °C. Se realizaron un total de 288 unidades experimentales. Luego de la preincubación las dos enmiendas (FL y DFL) y la urea fueron incorporados ajustando la dosis a 36 mg NTK kg⁻¹ de suelo (72 unidades experimentales por tratamiento). Adicionalmente se incorporó suelo sin fertilizar como control (72 microcosmos). La humedad fue corregida al 70 % del PS.

Tabla 3. Nutrientes aportados por las enmiendas.

Tratamientos	C	NTK	N-NH ₄ ⁺	N-NO ₃ ⁻	Ni	NT
	mg.kg ⁻¹					
Digerido	510	36	21,55	0,55	22,1	36,55
Estiércol	470	36	0,154	1,51	1,66	37,51

C: carbono; NTK: nitrógeno total (semi micro Kjeldahl); N-NH₄⁺: amonio; N-NO₃⁻: nitrato; Ni: nitrógeno inorgánico; NT: nitrógeno total.

DFL: valores expresados en base húmeda; FL: valores expresados en base seca.

Se determinó amonio y nitrato a los 0, 1, 2, 4, 7, 14, 21, 35, 49, 70, 91 y 119 días. En cada fecha se tomaron al azar 3 réplicas de cada tratamiento, se homogeneizó el suelo y se extrajeron dos submuestras de 10 g cada una, una para determinar peso seco (24 h a 105 °C en estufa) y la otra para determinar amonio y nitrato. Debido a que los valores observados se redujeron marcadamente a partir de la fecha 49 alcanzando valores no esperados y que esto coincidió con que las muestras no pudieron analizarse en tiempo y forma en el laboratorio, las mismas no se consideraron en el presente trabajo.

Para la determinación de amonio y nitrato, las submuestras de 10 g de suelo ($\pm$ 0,05 gramos) se colocaron en viales plásticos de 50 ml de capacidad con 10 ml de KCl 2N (Figura 6). Posteriormente se las agitó durante 20 minutos a 240 rpm (Figura 7). Luego se filtró con papel de filtró conservándose la fracción líquida (extracto) y se conservaron las muestras en heladera (4 °C) hasta su determinación. La determinación se realizó por semimicro Kjeldahl.



Figura 6. Filtrado de muestras de suelo.



Figura 7. Agitador mecánico.

3.4 Diseño experimental y análisis estadístico

Se utilizó un diseño completamente aleatorizado con tres repeticiones. Los datos obtenidos se analizaron mediante un ANOVA triple (Suelo (S) x Tratamiento (T) x Fecha (F)). Cuando se encontraron interacciones se fraccionó el análisis en ANOVAs dobles o simples. Las comparaciones de medias se realizaron a través del Test de Diferencias Mínimas Significativas de Fisher (DMS). Se utilizó el software estadístico Infostat versión estudiantil 2018 (Di Rienzo et al., 2018).

4 RESULTADOS

Al momento de analizar los resultados se observó interacción ($p < 0.20$) entre los factores estudiados, indicando que las dinámicas de mineralización de N de los tratamientos se diferenciaron entre sí (Tablas A1, A2 y A3; Anexo). Posteriormente se realizaron ANOVAs dobles para cada suelo y variable (Tablas A4-A9; Anexo).

En el suelo Ascasubi se observó interacción Tratamiento x Fecha ($p < 0.20$) para las tres variables analizadas (Tablas A4, A5, A6; Anexo), por lo que se fraccionó el análisis por fecha para comparar entre tratamientos (Tablas A10-A33, Anexo), y por tratamiento para evaluar la dinámica en el tiempo (comparar entre fechas) (Tablas A50-A61, Anexo).

En el suelo Napostá se encontró una interacción Tratamiento x Fecha ($p < 0.20$) para dos de las variables analizadas (N-NH_4^+ y N-NO_3^-) (Tablas A7, A8; Anexo), por lo que se particionó el análisis por fecha para comparar entre tratamientos (Tablas A34-A49, Anexo) y por tratamientos para evaluar entre fechas (Tablas A62-A69, Anexo). Para la variable Ni no se observó interacción ($p > 0.20$) por lo que los datos se analizaron en conjunto, a través del ANOVA doble (Tabla A9, Anexo).

4.1 DINÁMICA DE AMONIO

4.1.1 SUELO ASCASUBI

Los mayores valores de N-NH_4^+ se observaron con el tratamiento DFL (digerido de *feed lot*) al inicio del ensayo (fecha 0), mientras que el resto de los tratamientos no se diferenciaron entre sí ($\text{DFL} > \text{U} = \text{C} = \text{FL}$) (Figura 8, a). En la fecha 1, Urea incrementó la liberación de amonio (Figura 9, d) posiblemente como consecuencia de la hidrólisis de la urea alcanzando los mayores niveles en comparación con el resto de los tratamientos (Figura 8, b). Esta tendencia se mantiene hasta la fecha 4 (Figuras 8; b, c y d). En la fecha 7 U, C y DFL no se diferencian entre si y FL alcanzó los menores valores (Figura 8, e) mostrando una marcada disminución respecto a la fecha 0 (Figura 9, c). En la fecha 14 solo se observaron diferencias significativas entre el Control ($29,93 \text{ mg.kg}^{-1}$) y la Urea ($17,88 \text{ mg.kg}^{-1}$) y en las fechas 21 y 35 ningún tratamiento se diferenció entre sí (Figuras 8; f, g y h).

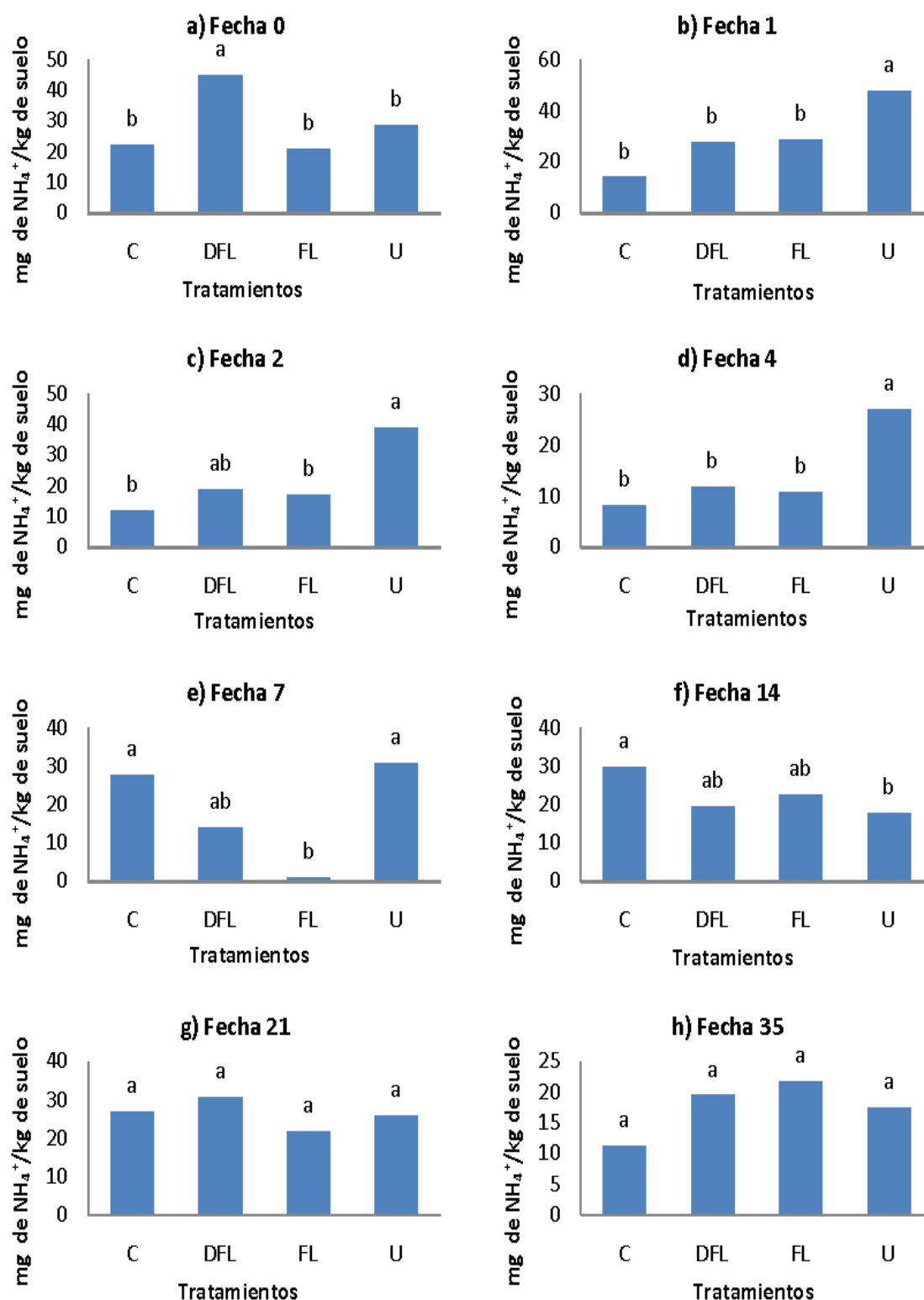


Figura 8. Comparación de medias de la concentración de amonio de los tratamientos para cada fecha en el suelo de H. Ascasubi.

C: Control, DFL: Digerido de estiércol de *feed lot*, FL: Estiércol sin procesar, U: Urea
 *Letras distintas indican diferencias significativas ($p < 0.05$) entre tratamientos para cada fecha.

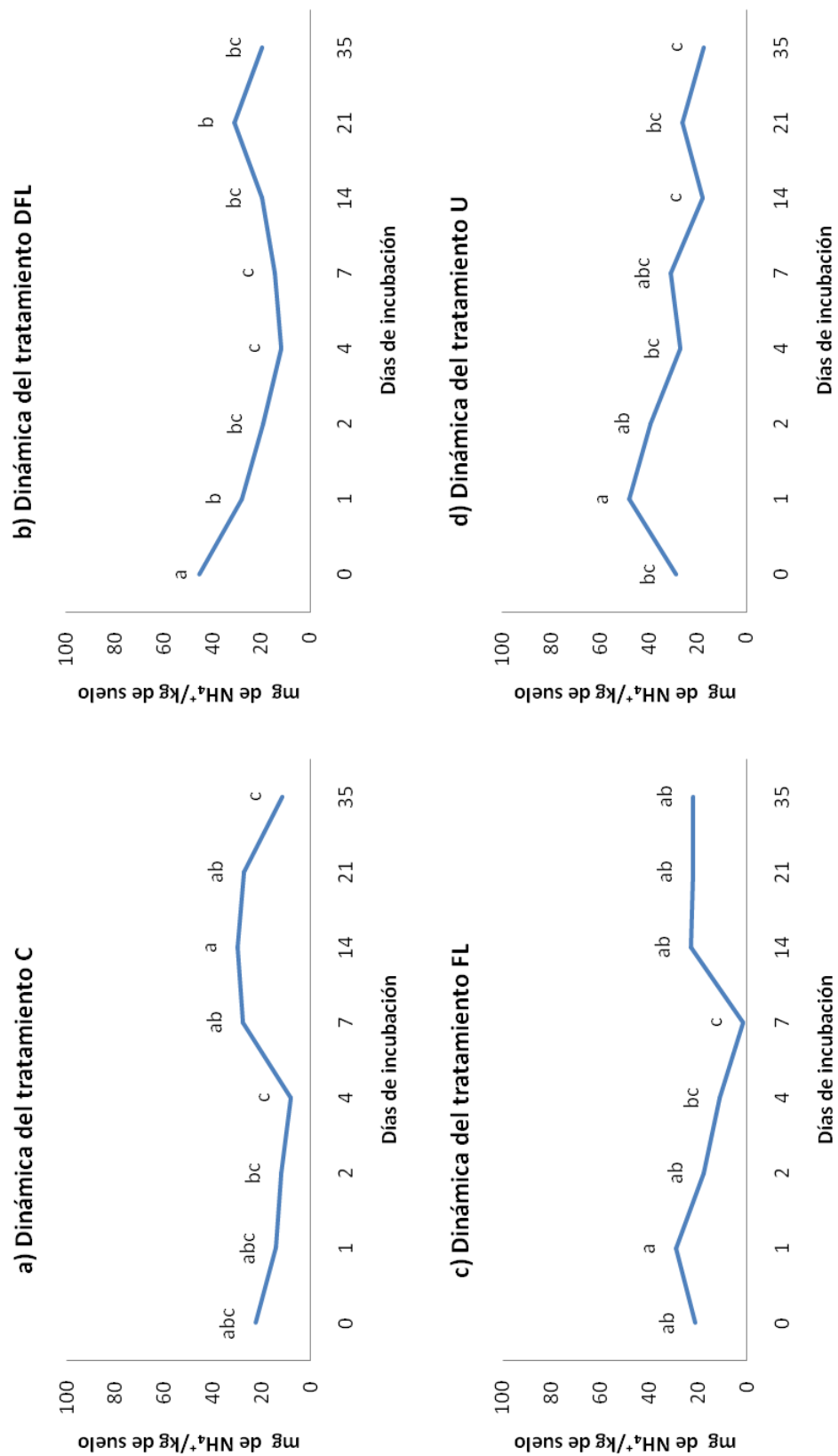


Figura 9. Dinámica de la concentración de amonio por tratamiento para el suelo de H. Ascasubi.

*Letras distintas indican diferencias significativas ($p < 0.05$) entre fechas para cada tratamiento.

4.1.2 SUELO NAPOSTÁ

Los tratamientos DFL y U no se diferenciaron entre sí ($p < 0.5$), pero sí lo hicieron con respecto al C y FL en el inicio del ensayo (fecha 0; $DFL=U > C=FL$) (Figura 10, a). A la fecha 1, se observó una tendencia a mayores valores en los tratamientos C, FL y U (Figura 11; a, c y d) alcanzando diferencias significativas solo el tratamiento FL. En las fechas 2 y 4, los tratamientos no se diferenciaron entre sí ($DFL=U=FL=C$) y todos mostraron una tendencia a menores valores hasta la fecha 4 en comparación a las fechas anteriores, diferenciándose estadísticamente solamente en el tratamiento U (fecha 4 < fecha2 < fecha 1; Figura 11). Para el caso particular del DFL esta tendencia a menores valores se observó desde el inicio del ensayo (Figura 11, b). Los tratamientos continuaron sin diferenciarse entre sí hasta la fecha 35 ($DFL=U=FL=C$) (Figura 10; e, f, g, y h) y en su dinámica se observó en la fecha 7 una tendencia a mayores valores para los tratamientos FL, DFL, C y U pero solo estos dos últimos alcanzaron diferencias significativas con respecto a la fecha anterior (Figura 11; a y d). A la fecha 14 todos los tratamientos mostraron una tendencia a menores valores, pero solo el tratamiento C presentó diferencias significativas respecto a la fecha anterior (Figura 11, a). En la fecha 21, el tratamiento U se mantuvo estable, y para los restantes se observó una tendencia de aumento, diferenciándose solamente FL (fecha 21 > fecha 14; Figura 11, c). A la fecha 35, los niveles de amonio disminuyeron para todos los tratamientos, y esta diferencia es más marcada en los tratamientos FL y DFL ($p < 0,05$) (Figura 11; b y c).

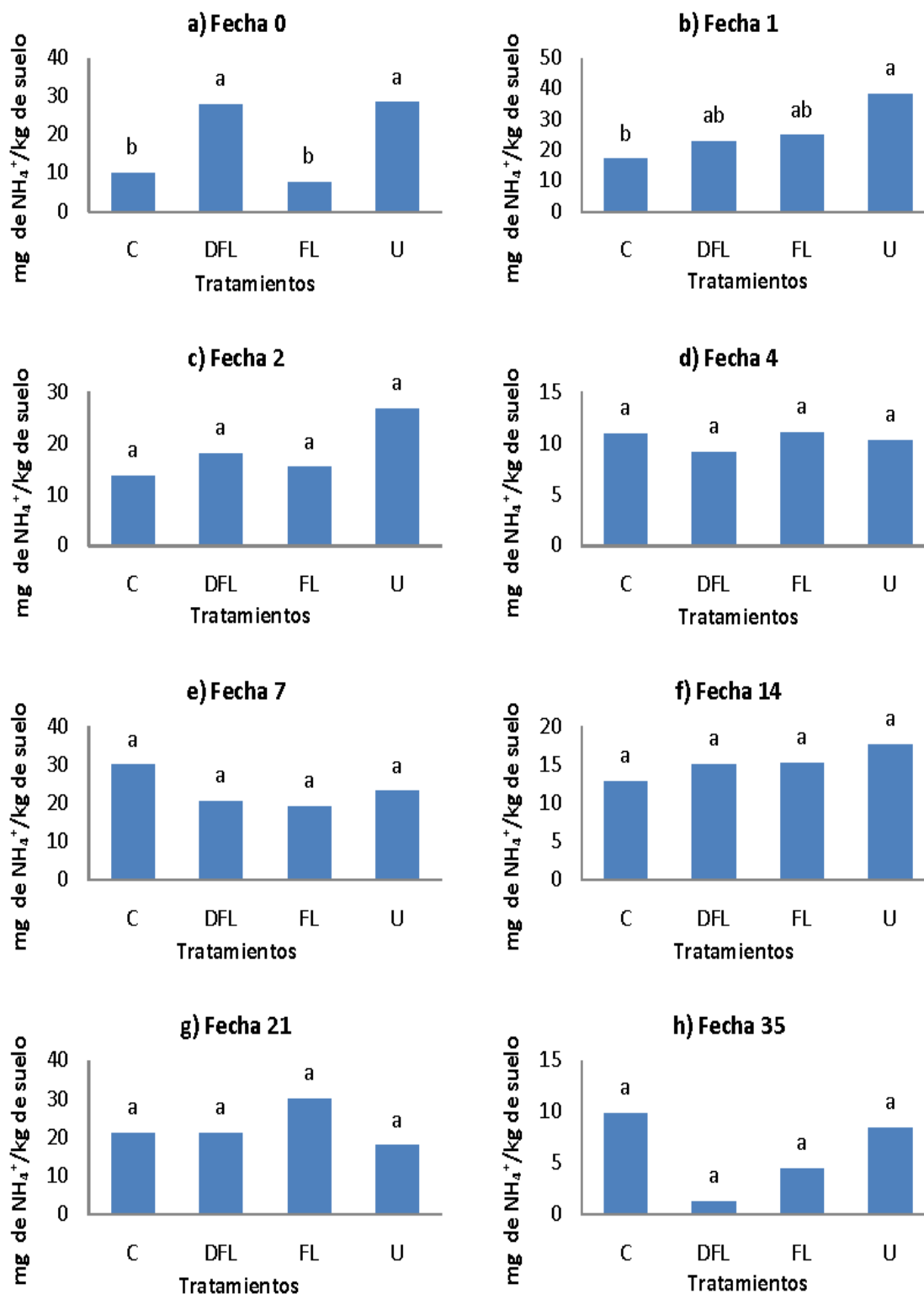


Figura 10. Comparación de medias de la concentración de amonio de los tratamientos para cada fecha en el suelo Napostá.

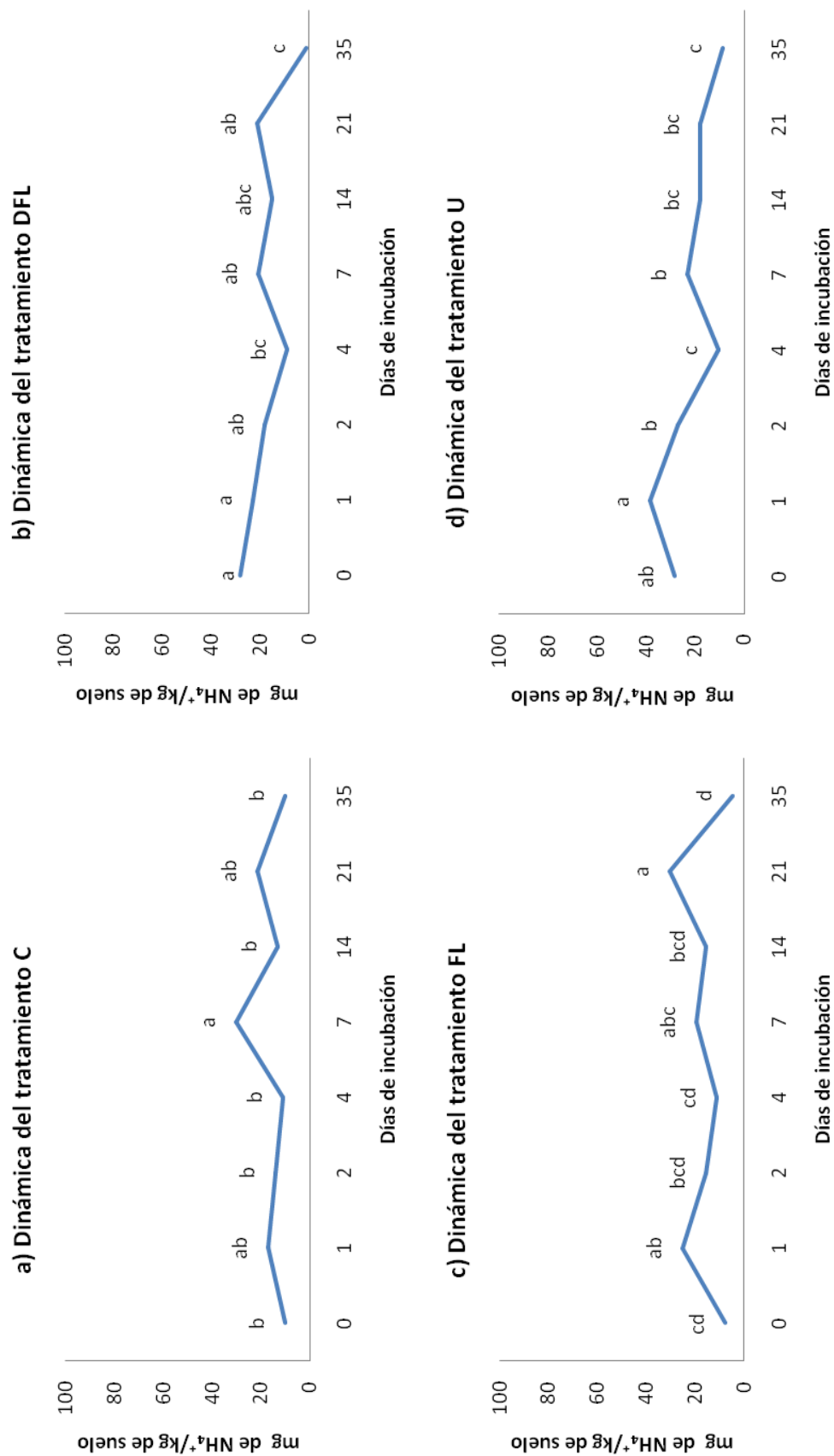


Figura 11. Dinámica de la concentración de amonio por tratamiento para el suelo Napostá.

4.2 DINÁMICA DE NITRATO

4.2.1 SUELO ASCASUBI

En lo que respecta al contenido de N-NO_3^- en la fecha 0 solamente se diferenciaron entre sí DFL con el mayor valor ($48,15 \text{ mg.kg}^{-1}$) y U con el menor valor ($34,17 \text{ mg.kg}^{-1}$), mientras que en la fecha 1 no se observaron diferencias entre ningún tratamiento (Figura 12; a y b). A los 2 días todos los tratamientos superan al Control sin diferenciarse entre sí (Figura 12, c). En la fecha 4 U y DFL continúan con mayores valores respecto al Control, mientras que FL no se diferencia de ningún tratamiento (Figura 12, d) y en la fecha 7 solamente la Urea mantiene mayores valores que el Control sin diferenciarse de DFL y FL (Figura 12, e). En la fecha 14 el Control, el DFL y U incrementaron los niveles de nitrato (Figura 13; a, b y d) y FL se mantuvo estable (Figura 13, c), presentando U los mayores niveles seguido por DFL ($U > DFL > C = FL$) (Figura 12, f). En la fecha 21 DFL, FL y U presentan mayores valores que el Control sin diferenciarse entre ellos (Figura 12, g) y en la fecha 35 la U presentó los mayores valores ($U > DFL = C > FL$) (Figura 12, h).

4.2.2 SUELO NAPOSTÁ

Con respecto al nitrato del suelo Napostá, al inicio de la incubación (fecha 0) los tratamientos no se diferenciaron entre sí ($p < 0.5$) (Figura 14, a). Hacia la fecha 1 se observó un marcado incremento para los tratamientos U y DFL ($p < 0,05$) y una tendencia a mayores valores en FL (Figura 15; b, c y d). Como consecuencia de estos cambios U presentó el mayor nivel de nitrato seguido de DFL, FL y C ($U > DFL > FL > C$) (Figura 14, b). A la fecha 2, el DFL y U mantuvieron los mayores valores diferenciándose de FL y C ($U = DFL > FL = C$) y la tendencia de aumento siguió para todos los tratamientos respecto a la fecha anterior. En la fecha 4 FL y U disminuyeron el nivel de nitrato ($p < 0,05$) mientras que U y DFL mostraron una tendencia a menores valores, pero sin diferenciarse estadísticamente (Figura 15). Hacia la fecha 7 todos los tratamientos aumentan (Figura 15), U alcanzó el mayor valor seguido de DFL, y finalmente FL y C que no se diferenciaron entre sí ($U > DFL > C = FL$), situación que se repitió en las siguientes fechas (fechas 14 y 21) (Figura 14; e, f y g). Respecto a la dinámica todos los tratamientos mostraron una tendencia a mayores valores hasta la fecha 21 (Figura 15). A la fecha 35 el C muestra una tendencia a menores valores, el DFL se mantiene estable, FL muestra una tendencia a mayores valores y solo U incrementa su nivel respecto a la fecha anterior (Figura 15). Como consecuencia se observó el mayor nivel para U, seguido de DFL y FL que no se diferenciaron entre si y finalmente el C (Figura 14, h).

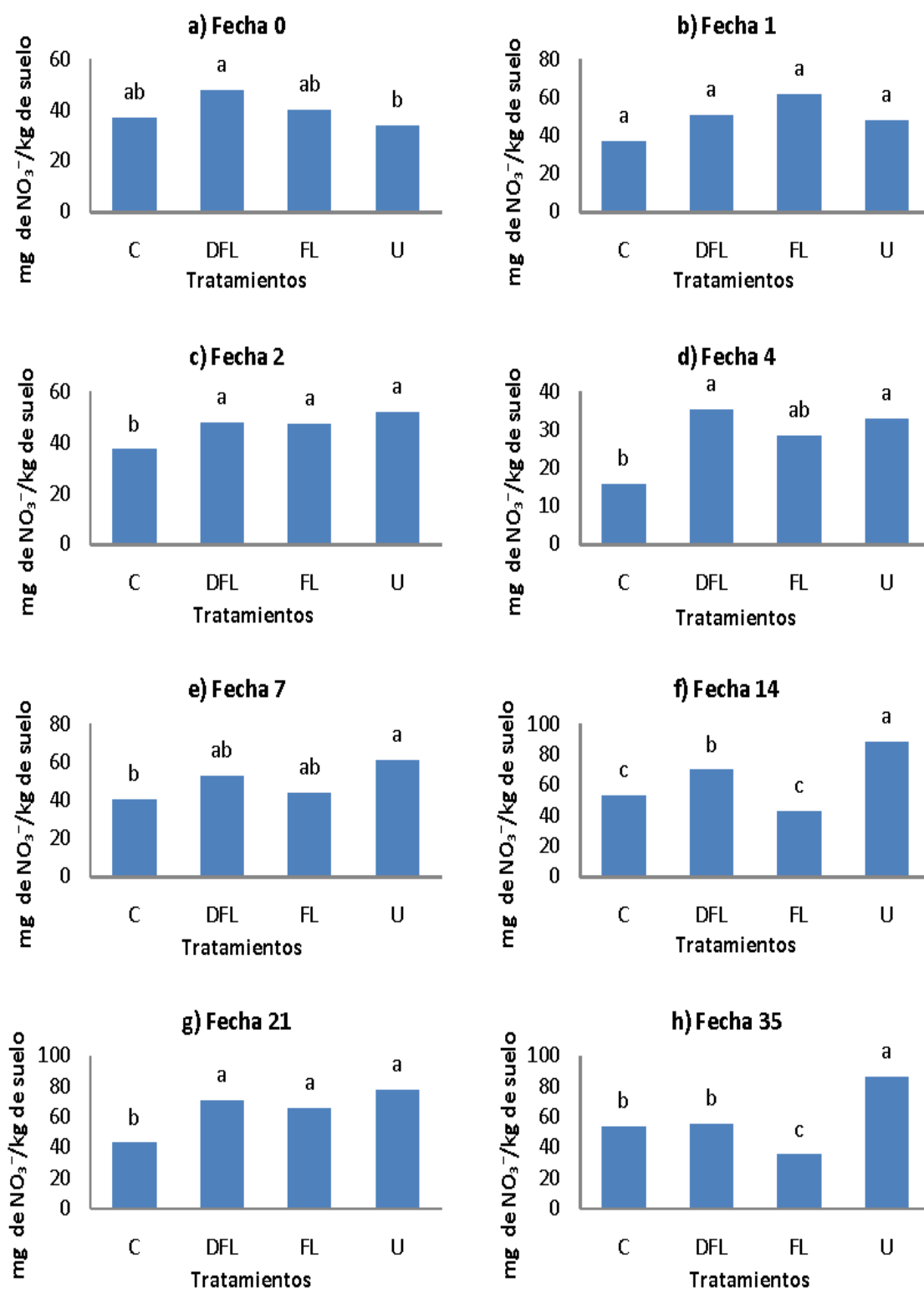


Figura 12. Comparación de medias de la concentración de nitrato de los tratamientos para cada fecha en el suelo de H. Ascasubi.

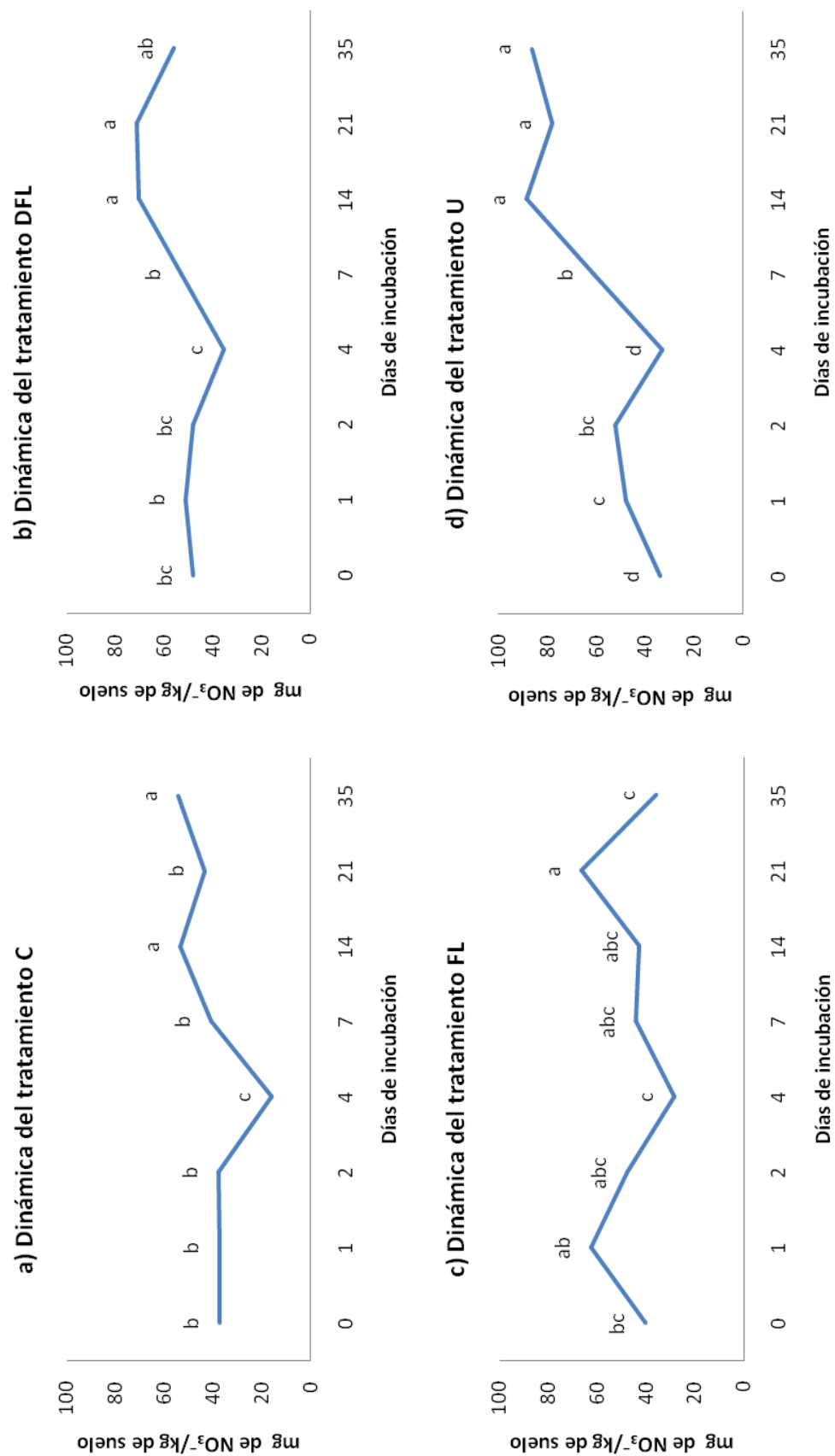


Figura 13. Dinámica de la concentración nitrato por tratamiento para el suelo de H. Ascasubi.

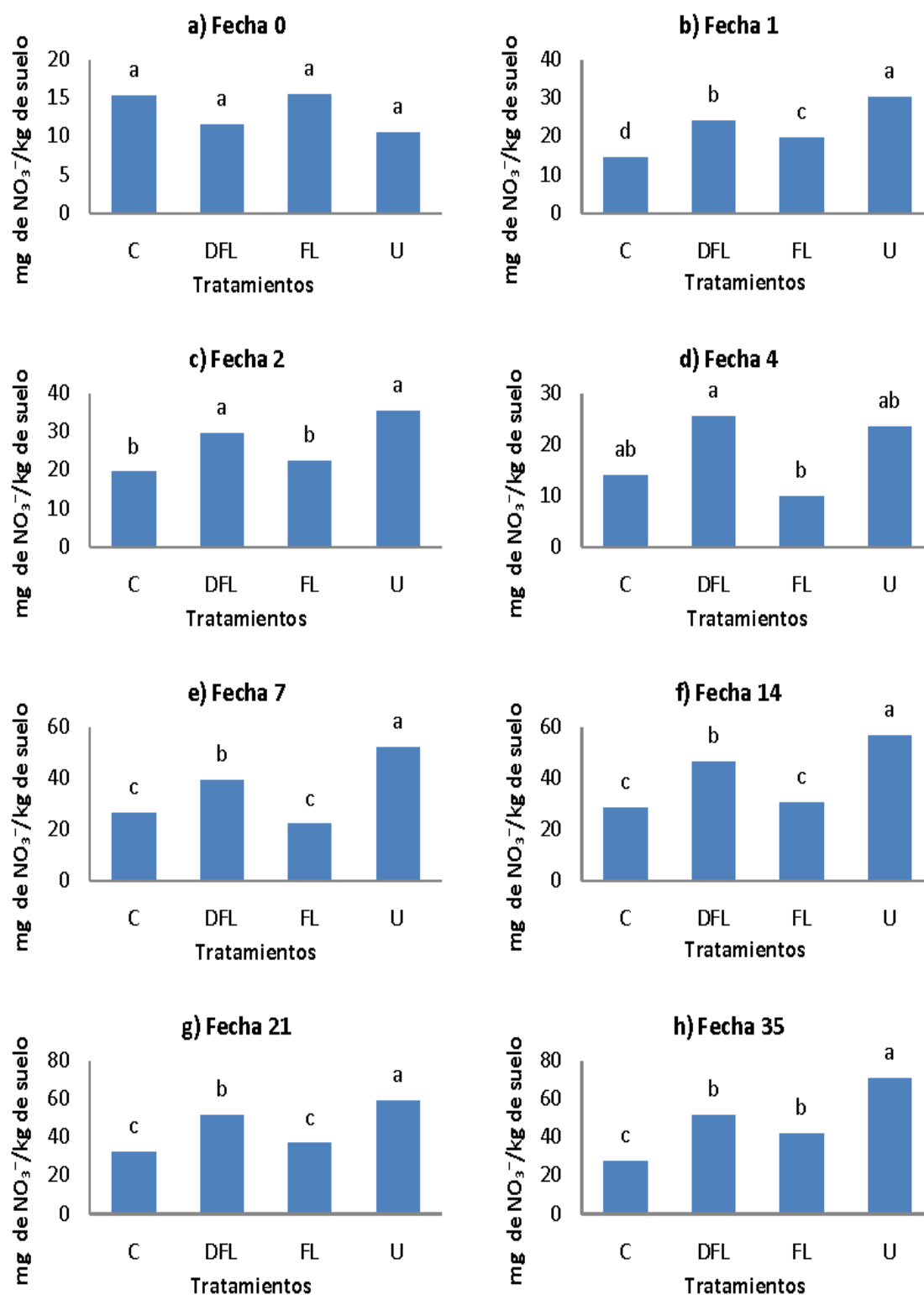


Figura 14. Comparación de medias de la concentración de nitrato de los tratamientos para cada fecha en el suelo Napostá.

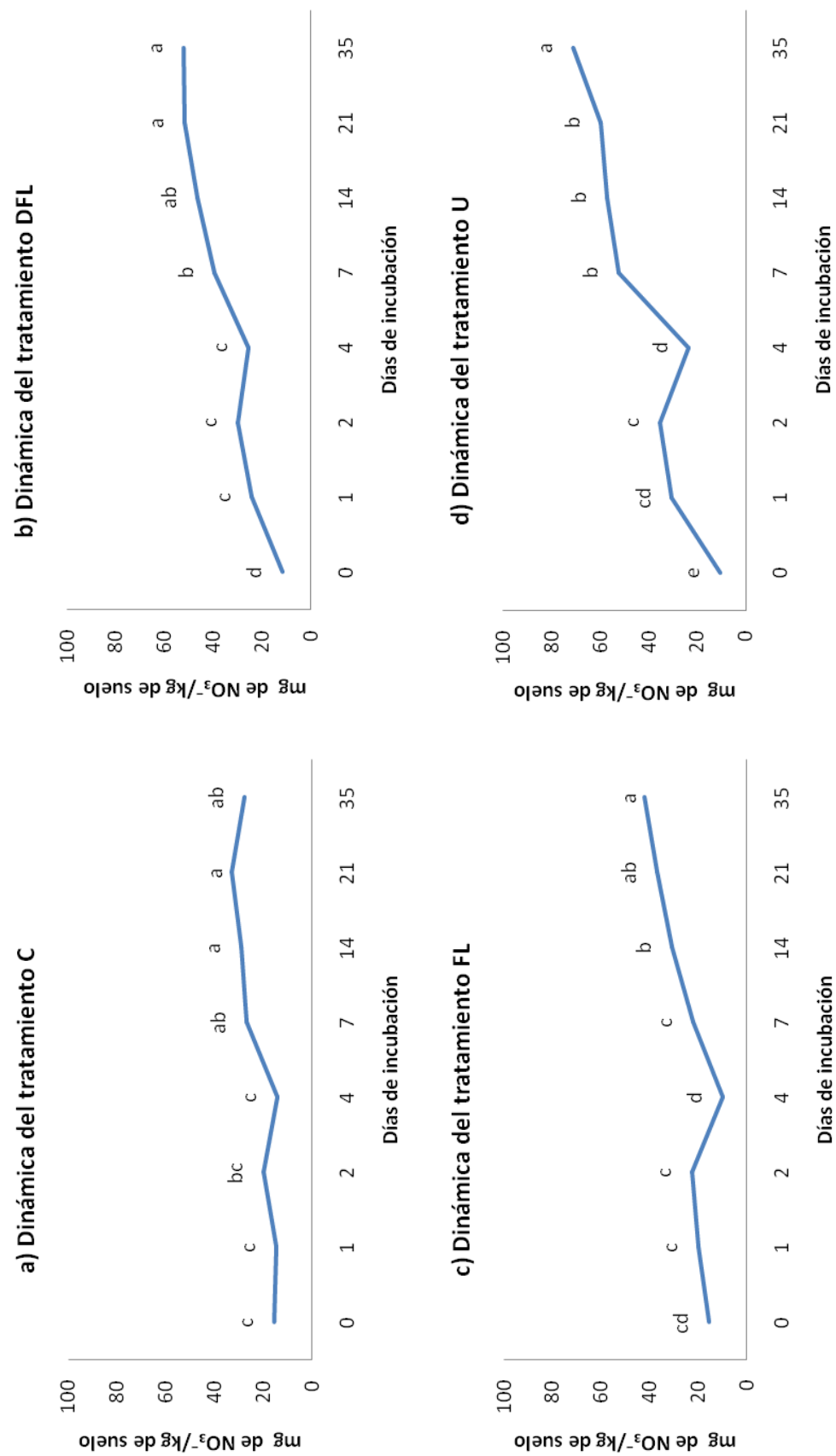


Figura 15. Dinámica de la concentración de nitrato de los tratamientos para el suelo Napostá.

4.3 DINÁMICA DE NITRÓGENO INORGÁNICO

4.3.1 SUELO ASCASUBI

Respecto al Ni, el digerido presentó el mayor valor al inicio del ensayo (fecha 0; $DFL > U = FL = C$) (figura 16, a). En la fecha 1 DFL disminuyó (Figura 17, b) y U aumentó (Figura 17, d) equiparándose todos los tratamientos ($p > 0,5$) (Figura 16, b). A la fecha 2, los tratamientos C, DFL y FL mostraron una tendencia a menores valores (Figuras 17; a, b y c) alcanzando U el mayor valor ($U > DFL = FL = C$) (Figura 16, c). A los 4 días los tratamientos C, DFL y U disminuyeron y FL presentó una tendencia similar, pero sin diferenciarse estadísticamente de la fecha anterior (Figura 17); U presentó el mayor valor sin diferenciarse de DFL, y este último presentó un mayor valor que el Control sin diferenciarse de FL (Figura 16, d). A los 7 días FL se mantuvo estable y todos los demás tratamientos aumentaron (Figura 17), alcanzando U el mayor valor ($U > DFL = C = FL$) (Figura 16, e). A los 14 días el DFL incrementó el nivel mientras que el resto de los tratamientos se mantuvieron estables con una leve tendencia a mayores valores (Figura 17). Urea mantuvo el mayor valor sin diferenciarse de DFL (Figura 16, f). A los 21 días Urea y Control se mantuvieron estables, DFL aumentó y FL presentó una tendencia a mayores valores (Figura 17) igualándose los tratamientos DFL, FL y U, con mayores valores que el Control ($DFL = U = FL > C$) (Figura 16, g). A los 35 días la urea continuó estable (Figura 17, d) con el valor más alto (Figura 16, h), mientras que DFL disminuyó y C y FL presentaron una tendencia a menores valores (Figuras 17; a, b y c) sin diferenciarse entre ellos ($U > DFL = C = FL$) (Figura 16, h).

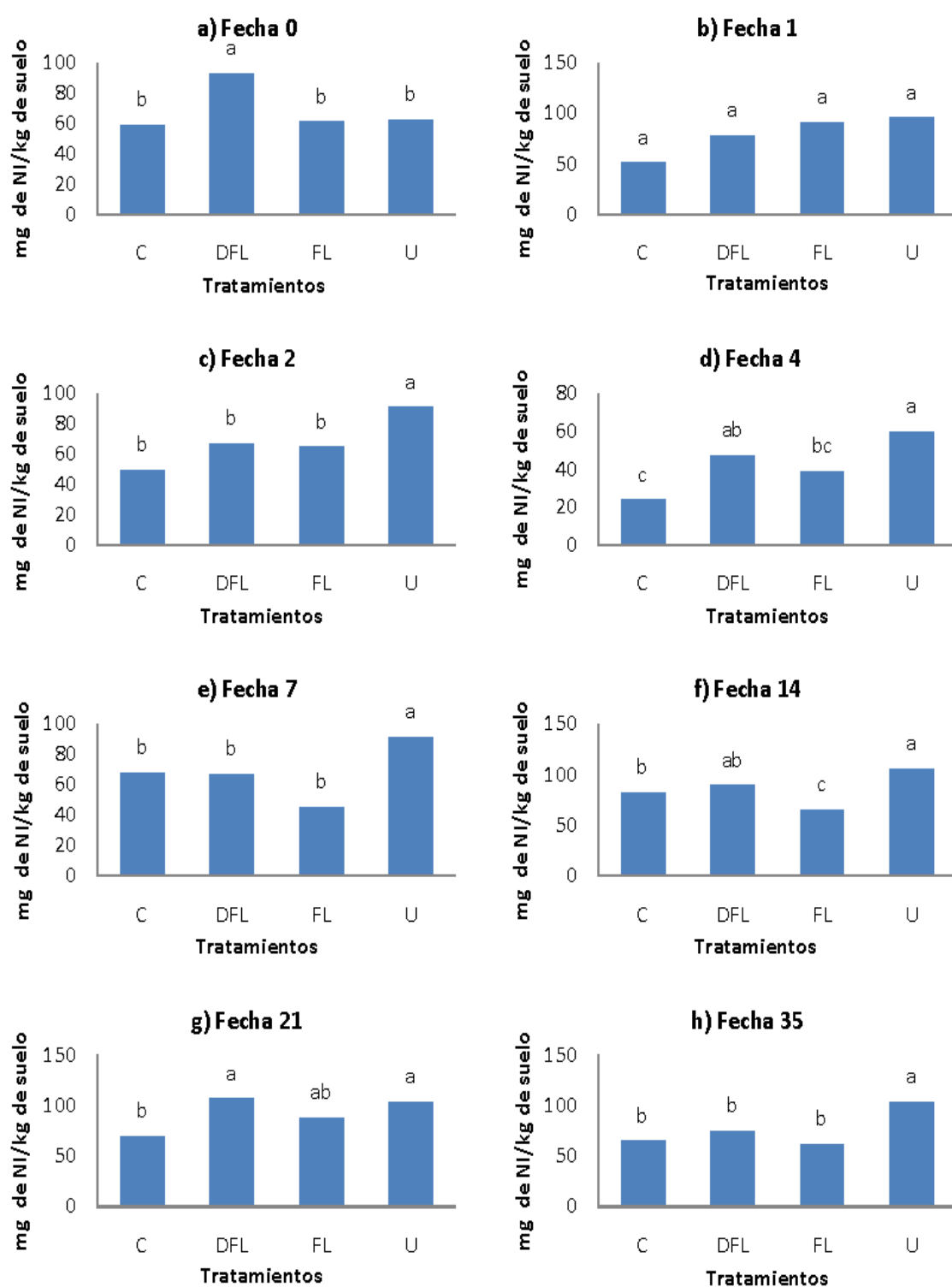


Figura 16. Comparación de medias de la concentración de Ni de los tratamientos para cada fecha en el suelo de H. Ascasubi.

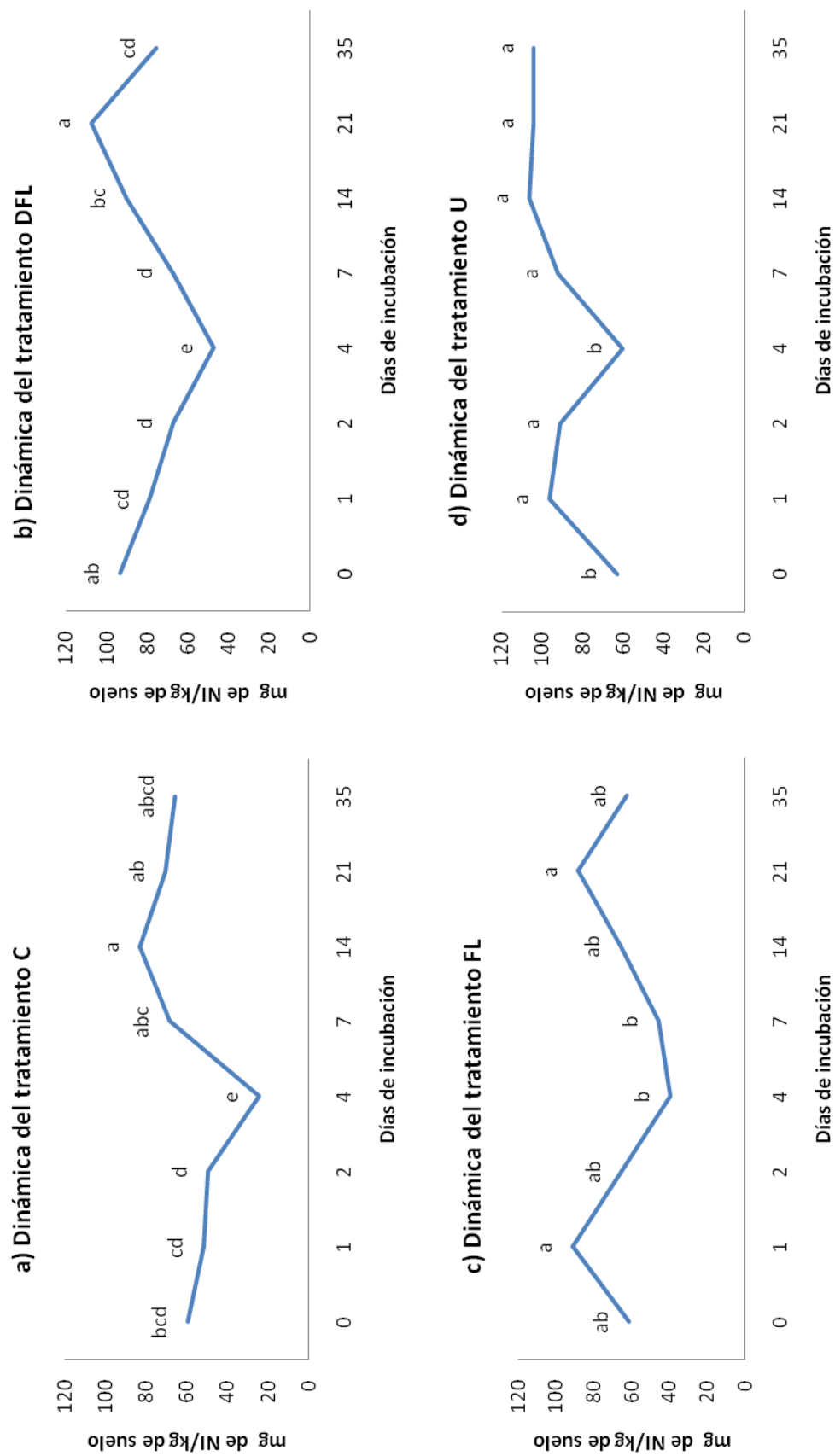


Figura 17. Dinámica de la concentración de Ni de los tratamientos para el suelo de H. Ascasubi.

4.3.2 SUELO NAPOSTÁ

En cuanto al Ni se observó que U mantuvo los mayores valores, seguido de DFL y finalmente FL y C que no se diferenciaron entre sí ($U > DFL > FL = C$) (Figura 18, a). Al analizar la dinámica de los tratamientos puede observarse una tendencia significativa a valores mayores hacia la fecha 1 y una leve disminución a la fecha 2 y 4 alcanzando los valores iniciales. Luego, los niveles se incrementan en la fecha 7 y se mantienen hasta la fecha 14. A los 21 días se observó un leve incremento seguido de una leve reducción a los 35 días (Figura 18, b).

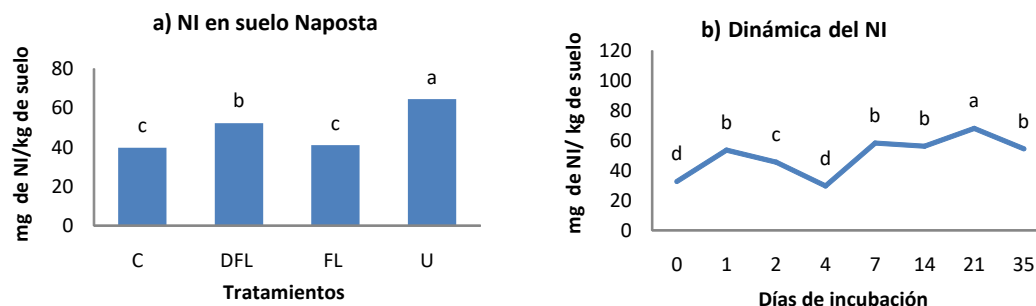


Figura 18. Comparación de medias de Ni por tratamiento (a) y dinámica del Ni (b) para el suelo Napostá.

5 DISCUSIÓN

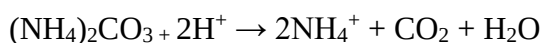
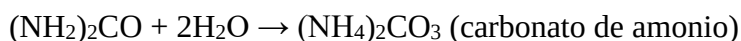
La aplicación del digerido anaeróbico a los suelos mostró los mayores niveles de amonio al inicio del ensayo como consecuencia de que la mayor proporción de N en el digerido se encuentra bajo esta forma (Figuras 9, b y 15, b), en coincidencia con los resultados observados por otros autores (Alburquerque et al., 2012; Iocoli, 2018). Hacia la fecha 4 se observó una marcada inmovilización de ambos productos (N-NH_4^+ y N-NO_3^-) (Figuras 9, b; 11, b; 15, b y 17, b), en línea con lo observado por De la Fuente et al., (2013). El aumento de la biomasa microbiana, causada por el aporte de MO lábil produce un aumento en la inmovilización de N-NH_4^+ por parte de los microorganismos (Kirchman & Lundvall, 1993). La inmovilización de amonio es consecuencia de la asimilación microbiana necesaria como fuente de energía para mineralizar los compuestos de bajo peso molecular y ácidos orgánicos de cadena corta aportados por el digerido (Iocoli, 2018). Estos compuestos son fácilmente degradados en las primeras etapas de la mineralización (Kirchman & Lundvall, 1993). Esta inmovilización microbiana podría reducir el riesgo de pérdidas de N (lixiviación/volatilización) pero manteniéndolo dentro del pool más dinámico de la MO por lo que podría disponibilizarse dentro del ciclo del cultivo (Iocoli et al., 2021).

El exceso de humedad, el crecimiento de biomasa microbiana y la textura del suelo pueden generar un déficit de O_2 que ocasiona que los microorganismos utilicen al N-NO_3^- y N-NO_2^- como aceptores finales de e^- . El aumento en la biomasa microbiana provocado por el aporte de la MO, observado por Iocoli (2018) y Achucarro (2021), genera un aumento de la respiración que produce una disminución en la aireación del suelo lo que permite suponer posibles pérdidas de N por desnitrificación (Clement & Huschka, 2001). Hasta la primera semana de ensayo puede observarse una reducida concentración de N-NO_3^- , la misma explica la gran demanda de N-NH_4^+ durante esta semana por parte de los microorganismos (Iocoli, 2018) (Figuras 13, b y 15, b). La misma tendencia fue observada por diferentes autores (Alburquerque et al., 2012; Iocoli, 2018). Posteriormente, a partir de la primera semana de ensayo y hasta los 21 días del mismo se observó un incremento en la concentración de Ni, correspondiente a un nuevo ciclo de mineralización del N inmovilizado, y observándose hacia el final un nuevo periodo de inmovilización microbiana (Figura 17, b), en concordancia con lo reportado por Alburquerque et al., (2012); De la Fuente et al., (2013) y Iocoli, (2018).

El tratamiento FL mostro una dinámica de Ni inferior a los tratamientos DFL y U, y similar al tratamiento C durante todo el ensayo. En su dinámica se observó un aumento inicial en la concentración de N-NH_4^+ y posterior aumento de N-NO_3^- por la nitrificación como consecuencia del aporte de moléculas fácilmente hidrolizables, luego se observó un periodo de inmovilización microbiana como respuesta a este aumento inicial hacia los primeros 4 días de ensayo (Figuras 9, c; 11, c; 13, c y 15, c), en concordancia con lo observado por Mazzarino et al., (2004) e Iocoli, (2018). Este periodo de inmovilización es más probable y prolongado en materiales inmaduros, ya que en materiales compostados o en digeridos estos eventos ocurren en el mismo

proceso de producción y no al aplicarse al suelo (Amlinger et al., 2003). La baja proporción de N lábil presente en el estiércol aumenta los procesos de inmovilización microbiana (Eghball et al., 2002). El proceso de inmovilización se extendió hasta la fecha 35 (Figuras 17, c y 18), donde registró valores incluso por debajo del tratamiento C, en línea con lo observado por Iocoli et al., (2021), donde reportó valores de N disponible menores al Control al aplicar residuos sólidos de efluente de tambo debido a la inmovilización microbiana. Las enmiendas sin procesar proporcionan un mayor % No (Iocoli et al., 2021), esto debería tenerse en cuenta cuando se utilice este tipo de enmiendas para la fertilidad de los cultivos ya que de eso dependerá un mejor crecimiento y desarrollo de los mismos en el corto plazo (Amlinger et al., 2003).

En el tratamiento U el nivel de amonio inicial se encontró por debajo del tratamiento DFL (Figuras 9, d y 11, d), debido a que las moléculas de urea deben ser hidrolizadas:



Hacia la fecha 2 aumentó el nivel de amonio estimulando la nitrificación, con el consecuente aumento del nivel de nitrato (Figuras 13, d y 15, d). Hacia la fecha 4, aumentaron los procesos de asimilación microbiana producidos por la demanda de N necesaria para la producción de biomasa para continuar con la degradación, sin embargo, esta inmovilización no es tan evidente como en los tratamientos DFL y FL, ya que no hay aporte de compuestos carbonados que estimulen la microbiota del suelo. A partir de aquí se observó una disminución en la concentración de N-NH_4^+ por el aumento de la nitrificación (Figuras 13, d y 15, d), pero sin evidenciar fuertes diferencias en comparación con el tratamiento DFL.

En el tratamiento C se observó una estabilidad inicial de ambos productos para las dos clases de suelos (Figuras 9, a; 11, a; 13, a y 15, a). Al analizar la dinámica de Ni, se observó hacia la fecha 4 un periodo de inmovilización microbiana (Figuras 17, a y 18, b). En este caso este periodo fue corto debido a que no existe un aporte de MO que aumente la biomasa microbiana y modifique el comportamiento de los microorganismos. De aquí y en adelante se observó una disminución en la concentración de amonio como producto de los procesos de nitrificación y se mantuvo estable hacia el final del ensayo (Figuras 17, a y 18, b).

Una particularidad a destacarse es la menor magnitud en los cambios observados en el suelo Napostá, en concordancia con el menor desprendimiento de CO_2 que detectó Achucarro (2021) para este mismo suelo. Los suelos con mayor porcentaje de arcilla y/o limo en su composición presentan menor difusión de oxígeno debido al menor tamaño de partícula, lo que trae aparejado una menor actividad microbiana. A su vez, presentan una mayor fracción de la materia orgánica protegida, asociada a complejos órgano-minerales que no estará disponible a la degradación microbiana (Verbene et al., 1990) moderando los procesos de mineralización-inmovilización.

Este trabajo permite considerar el potencial que tiene el digerido de utilizarse como fuente de nitrógeno de rápida disponibilidad, lo que permitiría reaprovechar los nutrientes remanentes del proceso de digestión anaeróbica. Además de ser una importante fuente de nutrientes fertilizantes para los cultivos, presenta varios compuestos orgánicos que favorecen la estructura y agregación del suelo, proporcionando a los mismos mayor capacidad de retención de agua, mejorando la infiltración y reduciendo procesos erosivos, sumado a su capacidad de adaptación a sistemas de riego por goteo subsuperficial, haciendo más eficientes el uso de nutrientes y el manejo del agua. Varela et al., (2021) evaluaron el comportamiento de un cultivo de maíz bajo riego por goteo, tratado con urea e isodosis de N (nitrógeno) de diferentes enmiendas orgánicas, entre ellas efluente de tambo incorporado por el mismo sistema de riego. Los tratamientos aplicados mediante fertirriego obtuvieron los mayores rindes, superando a los rendimientos medios aplicando riego gravitacional, debido al aporte hídrico en periodos críticos del cultivo y a la mayor eficiencia del sistema como consecuencia de la reducción en el consumo de agua y la aplicación fraccionada de nutrientes.

La implementación de la digestión anaeróbica como tratamiento del estiércol de *feed lot* permitiría reducir los riesgos ambientales actuales de los sistemas de producción de carne intensivos, aprovechar su potencial energético reduciendo el consumo de combustibles fósiles y reemplazar fertilizantes sintéticos reciclando los nutrientes dentro del mismo establecimiento, favoreciendo la economía circular.

6 CONCLUSIONES

Se demostró, mediante los resultados obtenidos en el ensayo, que:

- ✓ El digerido anaeróbico inicialmente aportó mayores niveles de amonio que el tratamiento con urea, manteniendo luego una dinámica similar al fertilizante sintético durante el resto del ensayo.
- ✓ El digerido anaeróbico produjo una mayor concentración de amonio y nitrato en el suelo en comparación al estiércol sin procesar en el corto plazo, importante en las etapas iniciales del cultivo.
- ✓ El estiércol sin procesar provocó períodos de inmovilización de N más pronunciados y no generó aportes de N respecto al control en el período evaluado.
- ✓ La digestión anaeróbica redujo los procesos de inmovilización microbiana con respecto al estiércol sin procesar al ser aplicados al suelo.

7 BIBLIOGRAFÍA

- Abdullahi, Y. A.; Akunna, J. C.; White, N. A.; Hallett, P. D. & Wheatley, R. Investigating the effects of anaerobic and aerobic posttreatment on quality and stability of organic fraction of municipal solid waste as soil amendment. *Bioresour. Technol.* 2008. Volume 99, 8631–8636.
- 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. *App Soil Eco* 72: 171-180.
- Achucarro, L. A. 2021. Dinámica de degradación de estiércol y digerido bovino en dos suelos del sudoeste bonaerense. Universidad Nacional del Sur. Bahía Blanca.
- Acosta Lorenzo, Y.; Obaya Abreu, Ma. C. 2005. La digestión anaerobia. Aspectos teóricos. Parte 1. ICIDCA. Sobre los derivados de la caña de azúcar. Vol. XXXIX, núm. 1. Pag 34-48. Ciudad de la Habana, Cuba.
- Alburquerque, J. A.; De la Fuente, C.; Bernal, M. P. 2012. Chemical properties of anaerobic digestates affecting the dynamics of amended soils. *Agr Ecosyst Environ* 160: 15-22.
- Amlinger, F.; Götz, B.; Dreher, P.; Geszti, J.; Weissteiner, C. 2003. Nitrogen in biowaste and yard waste compost: dynamics of mobilisation and availability- a review. *Eur J Soil Biol* 39: 107-116.
- APHA. 1992. Standard methods for the examination of water and wastewater. 18 ed. American Public Health Association, Washington, DC.
- Aramayo, V. 2007. Ciclo del nitrógeno y actividad microbiana en zonas deficientes de oxígeno. Documento de trabajo. Taller de Biogeoquímica de ecosistemas marinos. Facultad de ciencias biológicas, UNMSM. 14 pp.
- Ayala Vera, A. 2018. Uso agronómico de digeridos procedentes de lodos EDAR y purines sometidos a nuevos procesos de biometanización. Consejo Superior de Investigaciones Científicas. Universitat de Lleida.
- Benimeli, M. F.; Plasencia, A.; Corbella, R. D.; Guevara, D. A.; Sanzano, A.; Sosa, F. A.; Fernández de Ullivari, J. 2019. El nitrógeno del suelo. Cátedra de Edafología. Facultad de Agronomía y Zootecnia. Universidad Nacional de Tucumán.
- Bernal Calderon, M. P.; Alburquerque M., J. A.; Bustamante M., M. A.; Carrillo, C. R. 2011. Guía de utilización agrícola de los materiales digeridos por biometanización. Consejo Superior de Investigaciones Científicas.

- Bolton, A.; Studdert, G. A.; Echeverría, H. E. 2004. Utilización de estiércol de animales en confinamiento como fuente de recursos para la agricultura. *Revista Argentina de Producción Animal*. Vol. N°24 I-2:53-73. EEA INTA Balcarce.
- Bongiovanni, M. D.; Marzari, R.; Silvana, A. 2018. Uso de digestato como biofertilizante derivado de la generación de biogás. Facultad de Agronomía y Veterinaria. Universidad Nacional de Río Cuarto. XXVI Congreso Argentino de Ciencia del Suelo.
- Campuzano Montoya, M. I. 2008. Modelación matemática del transporte y transformaciones del nitrógeno procedente de la aplicación agrícola de purines en la zona no saturada del suelo. Influencia de las variables relacionada con la estructura del terreno. Tesis Doctoral. Universidad Politécnica de Valencia.
- Capdevila Santolaria, C. 2014. Diseño de un modelo semiempírico de codigestión anaerobia. Proyecto fin de carrera. Escuela de Ingeniería y Arquitectura. Universidad Zaragoza.
- Carrillo, F. C.; Perez, J.; Gomez, J. 2000. Avances en la eliminación biológica del nitrógeno de las aguas residuales. *Revista Latinoamericana de Microbiología* 42: 73-82.
- Cerón Rincón, L. E.; Aristizábal Gutiérrez, F. A. Dinámica del ciclo del nitrógeno y fósforo en suelos. *Revista Colombiana de Biotecnología*, vol. XIV, núm. 1, Julio, 2012, pp. 285-295. Universidad Nacional de Colombia. Bogotá, Colombia.
- Cerrato, M.; Leblanc, H. y Kameko, C. 2007. Potencial de mineralización de nitrógeno de bokashi, compost y lombricompost producidos en la Universidad EARTH. *Revista Tierra Tropical* 3(2):183-197.
- Chagas, C. I.; Piazza, M. V.; De Siervi, M.; Santanatoglia, O. J.; Moretón, J.; Paz, M.; Castiglioni, M. e Irurtia, C. 2007. Calidad del agua de escorrentía superficial en sistemas ganaderos extensivos e intensivos de Argentina. *Agrochimica LI-N* (2-3):130-136.
- Clemens, J.; Huschka, A. 2001. The effect of biological oxygen demand of cattle slurry and soil moisture on nitrous oxide emissions. *Nutr. Cycl. Agroecosys.* 59, 193–198.
- Codagnone, R. (1991). Carta detallada de suelos de la EEA INTA Hilario Ascasubi. Prov. de B. Aires. CIRN-INTA Castelar.
- De Graaf, D. R. & Fendler, R. 2010. Biogas production in Germany. SPIN Background Paper. Federal Environment Agency. Germany.

- De la Fuente, C.; Alburquerque, J. A.; Clemente, R.; Bernal, M. P. 2013. Soil C and N mineralization and agricultural value of the products of an anaerobic digestion system. *Biol Fertil Soils* 49: 313-322.
- Di Rienzo, J. A.; Casanoves, F.; Balzarini, M.G.; Gonzalez, L.; Tablada, M.; Robledo, C.W. InfoStat versión 2018. Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina. URL: <https://www.infostat.com.ar/>
- Eghball, B.; Wienhold, B. J.; Gilley, J. E.; Eigenberg, R. A. 2002. Mineralization of manure nutrients. *J Soil Water Conserv* 57: 470-473.
- Feral, C.; Epstein, H.; Otter, L.; Aranibar, J.; Shugart, J.; Macko, S. & Ramontshoz, J. 2003. Carbon and nitrogen in the soil-plant system along rainfall and landuse gradients in southern Africa. *Arid Environments* 54:327-343.
- Francis, C. A.; Beman, J. M.; Kuypers, M. M. 2007. New processes and players in the nitrogen cycle: the microbial ecology of anaerobic and archaeal ammonia oxidation. *The ISME Journal*. 1: 19–27.
- Frioni, L. 2011. Microbiología: básica, ambiental y agrícola. 1ª Ed. Orientación Gráfica Editora. Bs. As. Argentina. 778 pag.
- Gerardi, M. H. 2003. The microbiology of anaerobic digesters. Wastewater microbiology series. John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, New Jersey, USA.
- Gericke, D.; Bornemann, L.; Kage, H.; Pacholski, A. Modelling ammonia losses after field application of biogas slurry in energy crop rotations. *Water Air Soil Pollut.* 2012, 223, 29–47.
- Gil, S. B. 2005. Feedlot, elementos que intervienen y posibles impactos en el medio ambiente. Sitio argentino de Producción Animal. Disponible en: www.produccion-animal.com.ar
- Gómez, M. 2016. Valorización de residuos ganaderos y su aprovechamiento como recurso. Boletín CERZOS N° 29. Disponible en: <http://www.boletin.cerzos-conicet.gob.ar/index.php/editorial-29/valorizacion-de-residuos-ganaderos-y-su-aprovechamiento-como-recurso>
- Goretski, J. & Hollocher, T. C. 1990. The kinetic and isotopic competence of nitric oxide as an intermediate in denitrification. *J. Biol. Chem.* 265:889-895.

- Harrison, J. A. Ph.D. "El Ciclo Del Nitrógeno". Visionlearning vol.EAS-2(4).2003.
 Disponible en:
<https://www.visionlearning.com/es/library/Ciencias-de-la-Tierra/6/El-Ciclo-del-Nitr%C3%B3geno/98/reading>
- Hauck, R. D. Atmospheric nitrogen chemistry, nitrification, denitrification, and their relationships. In: Hutzinger O, editor. The handbook of environmental chemistry. Vol. 1. Part C, the natural environment and biogeochemical cycles. Berlin: Springer-Verlag; 1984. p. 105–27.
- Hayatsu, M.; Tago, K.; Saito, M. 2008. Various players in the nitrogen cycle: Diversity and functions of the microorganisms involved in nitrification and denitrification. *Soil Science and Plant Nutrition*.54: 33-45.
- Herrero, M. A.; Iramain, M. S.; Korol, S.; Buffoni, H.; Flores, M.; Pol, M.; Maldonado May, V.; Sardi, G. y Fortunato, M. S. 2002. Calidad de agua y contaminación en tambos de la cuenca lechera de abasto sur. *Rev. Arg. Prod. An.* 22(1):61-70.
- Herrero, M. A. y Gil, S. B. 2008. Consideraciones ambientales de la intensificación en producción animal. *Ecología Austral* 18:273-289. Asociación Argentina de Ecología.
- Hooper, A.; T. Vannelli; D. Bergmann and D. Arciero. 1997. Enzymology of the oxidation of ammonia to nitrite by bacteria. *Antonie van Leeuwenhoek* 71:59-67.
- Huerga, I. 2019. Residuos pecuarios. Actualidad de normativas y lineamientos para regulaciones provinciales. AER INTA Venado Tuerto.
- IDAE. 2007. Instituto para la diversificación y ahorro de la energía. "Biomasa: digestores anaerobios". C/Madera, 8. E-28004-Madrid. www.idae.es
- Insam, H.; Franke-Whittle, I.; Goberna, M. 2010. Microbes in aerobic and anaerobic waste treatment. En: Insam H, Franke-Whittle I, Goberna M (Eds) *Microbes at Work*. Springer Berlin Heidelberg, págs 1-34.
- Iocoli, 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.
- Iocoli, G. A.; Orden, L.; Lopez, F. M.; Gómez, M. A.; Villamil, M. B.; Zabaloy, M. C. 2021. Towards Sustainable Dairy Production in Argentina: Evaluating Nutrient and CO2 Release from Raw and Processed Farm Waste. *Agronomy* 2021, 11(12), 2595; <https://doi.org/10.3390/agronomy11122595>

- IPCVA .2021. Instituto de Promoción de la carne vacuna. Faena y producción de carne vacuna. Disponible en:
http://www.ipcva.com.ar/documentos/2389_1628273025_informedefaenayproduccion2trimestre2021.pdf
- Kirchman, H.; Lundvall, A. 1993. Relationship between N immobilization and volatile fatty acids in soil after application of pig and cattle slurry. *Biol Fertil Soils*, 15: 161-164.
- Kroneck, P. M. M.; J. Beuerle and R. W. Schumacher. 1992. Metal-dependent conversion of inorganic nitrogen and sulfur compounds, p. 455-505. In: H. Siegel and A. Siegel (ed.). *Metal ions in biological systems*, v. 28. Marcel Dekker, U.S.A.
- Liu, W.; Yang, Q.; Du, L. Soilless cultivation for high-quality vegetables with biogas manure in China: feasibility and benefit analysis. *Renew. Agr. Food Syst.* 2009, 24, 300–307.
- Lukehurst, C. T.; Forst, P.; Al Seadi, T. 2010. Utilization of digestate from Biogas Plant as Biofertilizer. *IEA Bioenergy. Task 37*, pag. 22.
- Maier, R. M.; Pepper, I. L.; Gerba, C. P. 2000. *Environmental Microbiology*. San Diego, California.
- Mazzarino, M. J.; Satti, P.; Moyano, S.; Laos, F. 2004. Compost de Biosólidos: efecto del tamizado sobre la inmovilización de nitrógeno del suelo. *Cienc Suelo* 22: 19-26.
- Möller, K.; Müller, T. 2012. Effects of anaerobic digestion on digestate nutrient availability and crop growth: a review. *Eng Life Sci* 12: 242-257.
- Möller, K.; Stinner, W.; Deuker, A.; Leithold, G. Effects of different manuring systems with and without biogas digestion on nitrogen cycle and crop yield in mixed organic dairy farming systems. *Nutr. Cycl. Agroecosys.* 2008, 82, 209–232.
- Möller, K.; Stinner, W. Effects of different manuring systems with and without biogas digestion on soil mineral nitrogen content and on gaseous nitrogen losses (ammonia, nitrous oxides). *Eur. J. Agron.* 2009, 30, 1–16.
- Moore Jr., P.A. 1998. Best management practices for poultry manure utilization. 89-123. In: J.L. Hatfield y B.A. Stewart (eds) *Animal waste utilization: effective use of manure as a soil resource*. Ann Arbor Press, Chelsea, Michigan, EEUU.
- Munilla, M. E.; Lado, M.; Vittone, J. S.; Romera, S. A. 2019. Bienestar animal durante el periodo de engorde de bovinos. *Rev. Vet.* 30:2, XX-XX. Disponible en:
<http://www.vet.unne.edu.ar/>

- Ortega, N. M. 2006. Phosphorus Precipitation in Anaerobic Digestion Process. Boca Raton, Florida. USA. ISBN: 1-58112-332-9.
- Pampuro, J. M. 2015. Diseño del feedlot bovino y aprovechamiento de sus efluentes. Trabajo Final de Ingeniería en Producción Agropecuaria. Facultad de Ciencias Agrarias. Universidad Católica Argentina. Disponible en: https://www.produccionanimal.com.ar/informacion_tecnica/invernada_o_engorde_a_corral_o_feedlot/183-diseno-feedlot-bovino-efluentes.pdf
- Pavlostathis, S. G. & Giraldo-Gómez, E. (1991). Kinetics of anaerobic treatment: a critical review. Critical reviews in environmental control. Vol. 21 (5, 6), pág. 411-490.
- Pordomingo, A. J. 2003. Gestión ambiental en el feedlot. Guía de buenas prácticas.
- Pordomingo, A. J. 2013. Feedlot. Alimentación, diseño y manejo. EEA INTA Anguil. Facultad de Ciencias Veterinarias. UNLPam.
- Pötsch, E. M. Nutrient content of fermentation residues from agricultural biogas systems and their utilization on permanent grassland. Final report, 2005, pp. 32.
- Robert, S.; Santangelo, F.; Albornoz, I.; Dana, G. 2009. “Estructura del feedlot en Argentina-Nivel de asociación entre la producción bovina a corral y los titulares de faena.”
- Rodríguez, C. 2002. Residuos ganaderos. Curso de Introducción a la Producción Animal. FAV, UNRC. Disponible en: <https://www.produccion-animal.com.ar/>
- Salminen, E.; Rintala, J. Anaerobic digestion of organic solid poultry slaughterhouse waste—a review. Biores. Technol. 2002, 83, 13–26.
- Schimel, J. P.; Bennett, J. 2004. Nitrogen Mineralization: Challenges of a Changing Paradigm. Ecology 85 (3): 591-602.
- Schink, B. 1997. Energetics of syntrophic cooperation in methanogenic degradation. Microbiol Mol Biol Rev. 61: 262-280.
- Schnürer, A.; Jarvis A. 2010. Microbiological handbook for biogas plants. Swedish Gas Centre Report 207, pag. 13-138.
- SENASA, 2016. Disponible en: <http://www.senasa.gob.ar/senasa-comunica/noticias/informe-estadistico-de-establecimientos-de-engorde-corral-reglamento-ue>

- SENASA, (2019). Informe IF-2019-99277455-APN-DESYCG#SENASA. Dirección de Ejecución Sanitaria y Control de Gestión.
- Shah, F. A.; Mahmood, W.; Shah, M.M.; Pervez, A.; Asad, S. A. 2014. Microbial Ecology of Anaerobic Digesters: The Key Players of Anaerobiosis. The Scientific World Journal Volume 2014, Article ID 183752, 21 pages.
- Simon J. 2002. Enzymology and bioenergetics of respiratory nitrite ammonification. FEMS Microbiology Reviews. 26 (3): 285–309.
- Sweeten, J. 1998. Cattle manure and wastewater management practices. 125-155. In: J.L. Hatfield y B.A. Stewart (eds) Animal waste utilization: effective use of manure as a soil resource. Ann Arbor Press, Chelsea, Michigan, EEUU.
- Tiedje, J. M. 1988. Ecology of denitrification and dissimilatory nitrate reduction to ammonium, p. 179-218. In: A. J. B. Zehnder (ed.). Biology of anaerobic microorganisms. Wiley-Liss, New York.
- Tisdale, S.; Nelson, W. L.; Beaton, J. D. y Havlin J. 1993. Soil fertility and fertilizers. 5th ed. Macmillan Publishing Company, New York, EEUU, 631 p.
- Varela, P.; Orden, L.; Lombardi, B.; Montenegro, A.; Garay, M.; Iocoli, G.; Chico-Santamarta, L.; Moral Herrero, R. 2021. Utilización de enmiendas orgánicas sólidas y líquidas en un cultivo de maíz (*Zea mays* L.) bajo riego por goteo subterráneo. XI Congreso Ibérico de Agroingeniería.
- 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.
- Walsh, J. J.; Rousk, J.; Edwarda-Jones, G.; Jones, D. L.; Prysor Williams, A. 2012. Fungal and bacteria growth following the application of slurry and anaerobic digestate of livestock manure to temperate pasture soils. Biol Fertil Soils 48: 889-897.
- Yu, F.; Luo, X.; Song, C.; Zhang, M.; Shan, S. Concentrated biogas slurry enhanced soil fertility and tomato quality. Acta Agric. Scand. Sect. B Soil Plant Sci. 2010, 60, 262–268.
- Yuan, Z.; Oehmen, A.; Peng, Y.; Ma, Y.; Keller, J. 2008. Sludge population optimization in biological nutrient removal wastewater treatment systems through online process control: A review. Environmental Science Biotechnology.
- Zirkler, D.; Peters, A.; Kaupenjohann, M. 2014. Elemental composition of biogas residues: variability and alteration during anaerobic digestion. Biomass Bioenergy 67: 89-98.

8 ANEXO

Tabla A1. ANOVA triple (S x T x F) para la variable N-NH₄⁺.

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV	
N-NH4	186	0,68	0,51	39,6	
Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)					
F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	16505,94	63	262	4,05	<0,0001
Suelo	1156,96	1	1156,96	17,91	<0,0001
Tratamiento	2036,82	3	678,94	10,51	<0,0001
Fecha	5074	7	724,86	11,22	<0,0001
Suelo*Tratamiento	244,81	3	81,6	1,26	0,2902
Suelo*Fecha	1028,71	7	146,96	2,27	0,0327
Tratamiento*Fecha	5365,95	21	255,52	3,95	<0,0001
Suelo*Tratamiento*Fecha	1801,07	21	85,77	1,33	0,171
Error	7883,12	122	64,62		
Total	24389,07	185			

Tabla A2. ANOVA triple (S x T x F) para la variable N-NO₃⁻.

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV	
N-NO3	188	0,91	0,87	17,61	17,61
Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)					
F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	64913,39	63	1030,37	20,1	<0,0001
Suelo	16393,91	1	16393,91	319,8	<0,0001
Tratamiento	11711,61	3	3903,87	76,15	<0,0001
Fecha	24530,15	7	3504,31	68,36	<0,0001
Suelo*Tratamiento	92,19	3	30,73	0,6	0,6165
Suelo*Fecha	1908,55	7	272,65	5,32	<0,0001
Tratamiento*Fecha	7304,88	21	347,85	6,79	<0,0001
Suelo*Tratamiento*Fecha	2454,28	21	116,87	2,28	0,0027
Error	6356,63	124	51,26		
Total	71270,02	187			

Tabla A3. ANOVA triple (S x T x F) para la variable Ni.

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV	
NI	184	0,85	0,77	18,76	
Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)					
F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	91096,46	63	1445,98	10,94	<0,0001
Suelo	25885,83	1	25885,83	195,79	<0,0001
Tratamiento	22435,52	3	7478,51	56,56	<0,0001
Fecha	28250,59	7	4035,8	30,53	<0,0001
Suelo*Tratamiento	214,62	3	71,54	0,54	0,6551
Suelo*Fecha	3183,91	7	454,84	3,44	0,0022
Tratamiento*Fecha	7553,64	21	359,7	2,72	0,0003
Suelo*Tratamiento*Fecha	2748,5	21	130,88	0,99	0,4807
Error	15865,49	120	132,21		
Total	106961,95	183			

Tabla A4. ANOVA doble (T x F) para la variable N-NH₄⁺ en H. Ascasubi.

Suelo	Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Ascasubi	N-NH4	93	0,66	0,49	38,51
Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)					
F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	9111,43	31	293,92	3,81	<0,0001
Tratamiento	1816,24	3	605,41	7,84	0,0002
Fecha	2582,85	7	368,98	4,78	0,0002
Tratamiento*Fecha	4830,86	21	230,04	2,98	0,0005
Error	4709,16	61	77,2		
Total	13820,59	92			

Tabla A5. ANOVA doble (T x F) para la variable N-NO₃⁻ en H. Ascasubi.

Suelo	Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Ascasubi	N-NO3	94	0,83	0,75	17,92
Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)					
F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	25272,47	31	815,24	10,11	<0,0001
Tratamiento	5656,41	3	1885,47	23,38	<0,0001
Fecha	12627,15	7	1803,88	22,36	<0,0001
Tratamiento*Fecha	6876,72	21	327,46	4,06	<0,0001
Error	5001,02	62	80,66		
Total	30273,49	93			

Tabla A6. ANOVA doble (T x F) para la variable Ni en H. Ascasubi.

Suelo	Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Ascasubi	NI	92	0,78	0,67	18,41
Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)					
F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	39170,53	31	1263,57	6,97	<0,0001
Tratamiento	13271,29	3	4423,76	24,42	<0,0001
Fecha	18475,42	7	2639,35	14,57	<0,0001
Tratamiento*Fecha	8197,44	21	390,35	2,15	0,0108
Error	10869,78	60	181,16		
Total	50040,31	91			

Tabla A7. ANOVA doble (T x F) para la variable N-NH₄⁺ en Napostá.

Suelo	Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Naposta	N-NH4	93	0,66	0,49	40,58
Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)					
F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	6212,3	31	200,4	3,85	<0,0001
Tratamiento	473,91	3	157,97	3,04	0,0358
Fecha	3583,48	7	511,93	9,84	<0,0001
Tratamiento*Fecha	2235,72	21	106,46	2,05	0,0158
Error	3173,96	61	52,03		
Total	9386,26	92			

Tabla A8. ANOVA doble (T x F) para la variable N-NO₃⁻ en Napostá.

Suelo	Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Naposta	N-NO3	94	0,94	0,92	14,98
Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)					
F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	22866,34	31	737,62	33,74	<0,0001
Tratamiento	6147,39	3	2049,13	93,72	<0,0001
Fecha	13811,55	7	1973,08	90,24	<0,0001
Tratamiento*Fecha	2882,44	21	137,26	6,28	<0,0001
Error	1355,61	62	21,86		
Total	24221,95	93			

Tabla A9. ANOVA doble (T x F) para la variable Ni en Napostá.

Suelo	Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Naposta	NI	92	0,84	0,76	18,43
Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)					
F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	26300,72	31	848,41	10,19	<0,0001
Tratamiento	9474,48	3	3158,16	37,93	<0,0001
Fecha	13207,58	7	1886,8	22,66	<0,0001
Tratamiento*Fecha	2318,34	21	110,4	1,33	0,196
Error	4995,71	60	83,26		
Total	31296,44	91			

Tabla A10. ANOVA simple (T) para la variable N-NH₄⁺ y fecha 0 en H. Ascasubi.

Fecha	Suelo	Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
0	Ascasubi	N-NH4	12	0,68	0,56	27,61
Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)						
F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor	
Modelo	1110,26	3	370,09	5,58	0,0232	
Tratamiento	1110,26	3	370,09	5,58	0,0232	
Error	530,8	8	66,35			
Total	1641,06	11				

Tabla A11. ANOVA simple (T) para la variable N-NO₃⁻ y fecha 0 en H. Ascasubi.

Fecha	Suelo	Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
0	Ascasubi	N-NO3	12	0,51	0,33	15,64
Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)						
F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor	
Modelo	326,62	3	108,87	2,79	0,1091	
Tratamiento	326,62	3	108,87	2,79	0,1091	
Error	311,92	8	38,99			
Total	638,54	11				

Tabla A12. ANOVA simple (T) para la variable Ni y fecha 0 en H. Ascasubi.

Fecha	Suelo	Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
0	Ascasubi	Ni	12	0,69	0,57	16,62
Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)						
F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor	
Modelo	2346,6	3	782,2	5,87	0,0203	
Tratamiento	2346,6	3	782,2	5,87	0,0203	
Error	1065,4	8	133,18			
Total	3412	11				

Tabla A13. ANOVA simple (T) para la variable N-NH₄⁺ y fecha 1 en H. Ascasubi.

Fecha	Suelo	Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
1	Ascasubi	N-NH4	12	0,7	0,59	32
Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)						
F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor	
Modelo	1733,82	3	577,94	6,32	0,0166	
Tratamiento	1733,82	3	577,94	6,32	0,0166	
Error	731,11	8	91,39			
Total	2464,93	11				

Tabla A14. ANOVA simple (T) para la variable N-NO₃⁻ y fecha 1 en H. Ascasubi.

Fecha	Suelo	Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
1	Ascasubi	N-NO3	12	0,31	0,05	32,43
Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)						
F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor	
Modelo	939,32	3	313,11	1,2	0,369	
Tratamiento	939,32	3	313,11	1,2	0,369	
Error	2081,58	8	260,2			
Total	3020,91	11				

Tabla A15. ANOVA simple (T) para la variable Ni y fecha 1 en H. Ascasubi.

Fecha	Suelo	Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
1	Ascasubi	Ni	12	0,43	0,21	30,74
Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)						
F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor	
Modelo	3558,69	3	1186,23	1,98	0,1955	
Tratamiento	3558,69	3	1186,23	1,98	0,1955	
Error	4790,28	8	598,78			
Total	8348,96	11				

Tabla A16. ANOVA simple (T) para la variable N-NH₄⁺ y fecha 2 en H. Ascasubi.

Fecha	Suelo	Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
2	Ascasubi	N-NH4	12	0,54	0,37	52,28
Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)						
F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor	
Modelo	1260,78	3	420,26	3,18	0,0848	
Tratamiento	1260,78	3	420,26	3,18	0,0848	
Error	1057,66	8	132,21			
Total	2318,43	11				

Tabla A17. ANOVA simple (T) para la variable N-NO₃⁻ y fecha 2 en H. Ascasubi.

Fecha	Suelo	Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
2	Ascasubi	N-NO3	12	0,65	0,52	10,41
Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)						
F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor	
Modelo	346,51	3	115,5	4,95	0,0314	
Tratamiento	346,51	3	115,5	4,95	0,0314	
Error	186,86	8	23,36			
Total	533,36	11				

Tabla A18. ANOVA simple (T) para la variable Ni y fecha 2 en H. Ascasubi.

Fecha	Suelo	Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
2	Ascasubi	NI	12	0,77	0,68	14,74
Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)						
F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor	
Modelo	2653,11	3	884,37	8,7	0,0067	
Tratamiento	2653,11	3	884,37	8,7	0,0067	
Error	812,96	8	101,62			
Total	3466,07	11				

Tabla A19. ANOVA simple (T) para la variable N-NH₄⁺ y fecha 4 en H. Ascasubi.

Fecha	Suelo	Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
4	Ascasubi	N-NH4	12	0,68	0,55	42,8
Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)						
F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor	
Modelo	647,71	3	215,9	5,56	0,0234	
Tratamiento	647,71	3	215,9	5,56	0,0234	
Error	310,78	8	38,85			
Total	958,5	11				

Tabla A20. ANOVA simple (T) para la variable N-NO₃⁻ y fecha 4 en H. Ascasubi.

Fecha	Suelo	Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
4	Ascasubi	N-NO3	12	0,59	0,44	27
Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)						
F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor	
Modelo	683,43	3	227,81	3,9	0,055	
Tratamiento	683,43	3	227,81	3,9	0,055	
Error	467,61	8	58,45			
Total	1151,03	11				

Tabla A21. ANOVA simple (T) para la variable Ni y fecha 4 en H. Ascasubi.

Fecha	Suelo	Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
4	Ascasubi	NI	12	0,71	0,61	23,6
Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)						
F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor	
Modelo	2043,8	3	681,27	6,65	0,0145	
Tratamiento	2043,8	3	681,27	6,65	0,0145	
Error	819,53	8	102,44			
Total	2863,33	11				

Tabla A22. ANOVA simple (T) para la variable N-NH₄⁺ y fecha 7 en H. Ascasubi.

Fecha	Suelo	Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
7	Ascasubi	N-NH4	11	0,71	0,58	44,05
Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)						
F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor	
Modelo	1340,22	3	446,74	5,65	0,0276	
Tratamiento	1340,22	3	446,74	5,65	0,0276	
Error	553,42	7	79,06			
Total	1893,64	10				

Tabla A23. ANOVA simple (T) para la variable N-NO₃⁻ y fecha 7 en H. Ascasubi.

Fecha	Suelo	Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
7	Ascasubi	N-NO3	11	0,52	0,31	19,32
Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)						
F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor	
Modelo	715,66	3	238,55	2,53	0,1408	
Tratamiento	715,66	3	238,55	2,53	0,1408	
Error	660,21	7	94,32			
Total	1375,87	10				

Tabla A24. ANOVA simple (T) para la variable Ni y fecha 7 en H. Ascasubi.

Fecha	Suelo	Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
7	Ascasubi	Ni	11	0,76	0,65	15,68
Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)						
F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor	
Modelo	2675,63	3	891,88	7,31	0,0146	
Tratamiento	2675,63	3	891,88	7,31	0,0146	
Error	853,7	7	121,96			
Total	3529,34	10				

Tabla A25. ANOVA simple (T) para la variable N-NH₄⁺ y fecha 14 en H. Ascasubi.

Fecha	Suelo	Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
14	Ascasubi	N-NH4	12	0,44	0,22	28,21
Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)						
F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor	
Modelo	250,92	3	83,64	2,06	0,1845	
Tratamiento	250,92	3	83,64	2,06	0,1845	
Error	325,34	8	40,67			
Total	576,26	11				

Tabla A26. ANOVA simple (T) para la variable N-NO₃⁻ y fecha 14 en H. Ascasubi.

Fecha	Suelo	Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
14	Ascasubi	N-NO3	12	0,9	0,87	10,86
Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)						
F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor	
Modelo	3558,92	3	1186,31	24,73	0,0002	
Tratamiento	3558,92	3	1186,31	24,73	0,0002	
Error	383,78	8	47,97			
Total	3942,69	11				

Tabla A27. ANOVA simple (T) para la variable Ni y fecha 14 en H. Ascasubi.

Fecha	Suelo	Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
14	Ascasubi	Ni	12	0,79	0,71	10,61
Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)						
F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor	
Modelo	2529,46	3	843,15	10,03	0,0044	
Tratamiento	2529,46	3	843,15	10,03	0,0044	
Error	672,28	8	84,04			
Total	3201,75	11				

Tabla A28. ANOVA simple (T) para la variable N-NH₄⁺ y fecha 21 en H. Ascasubi.

Fecha	Suelo	Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
21	Ascasubi	N-NH4	11	0,2	0	29,49
Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)						
F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor	
Modelo	103,1	3	34,37	0,58	0,6485	
Tratamiento	103,1	3	34,37	0,58	0,6485	
Error	417,19	7	59,6			
Total	520,29	10				

Tabla A29. ANOVA simple (T) para la variable N-NO₃⁻ y fecha 21 en H. Ascasubi.

Fecha	Suelo	Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
21	Ascasubi	N-NO3	12	0,83	0,76	11,2
Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)						
F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor	
Modelo	2042,16	3	680,72	12,94	0,002	
Tratamiento	2042,16	3	680,72	12,94	0,002	
Error	420,98	8	52,62			
Total	2463,13	11				

Tabla A30. ANOVA simple (T) para la variable Ni y fecha 21 en H. Ascasubi.

Fecha	Suelo	Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
21	Ascasubi	NI	11	0,72	0,6	12,39
Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)						
F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor	
Modelo	2327,16	3	775,72	6,06	0,0234	
Tratamiento	2327,16	3	775,72	6,06	0,0234	
Error	896,65	7	128,09			
Total	3223,81	10				

Tabla A31. ANOVA simple (T) para la variable N-NH₄⁺ y fecha 35 en H. Ascasubi.

Fecha	Suelo	Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
35	Ascasubi	N-NH4	11	0,17	0	61,31
Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)						
F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor	
Modelo	164,56	3	54,85	0,49	0,6999	
Tratamiento	164,56	3	54,85	0,49	0,6999	
Error	782,86	7	111,84			
Total	947,42	10				

Tabla A32. ANOVA simple (T) para la variable N-NO₃⁻ y fecha 35 en H. Ascasubi.

Fecha	Suelo	Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
35	Ascasubi	N-NO3	11	0,89	0,84	14,31
Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)						
F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor	
Modelo	3975,77	3	1325,26	19,01	0,001	
Tratamiento	3975,77	3	1325,26	19,01	0,001	
Error	488,09	7	69,73			
Total	4463,86	10				

Tabla A33. ANOVA simple (T) para la variable Ni y fecha 35 en H. Ascasubi.

Fecha	Suelo	Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
35	Ascasubi	NI	10	0,76	0,64	16,09
Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)						
F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor	
Modelo	2995,48	3	998,49	6,25	0,0282	
Tratamiento	2995,48	3	998,49	6,25	0,0282	
Error	958,98	6	159,83			
Total	3954,46	9				

Tabla A34. ANOVA simple (T) para la variable N-NH₄⁺ y fecha 0 en Napostá.

Fecha	Suelo	Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
0	Naposta	N-NH4	11	0,87	0,82	26,22
Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)						
F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor	
Modelo	1032,44	3	344,15	15,89	0,0017	
Tratamiento	1032,44	3	344,15	15,89	0,0017	
Error	151,62	7	21,66			
Total	1184,05	10				

Tabla A35. ANOVA simple (T) para la variable N-NO₃⁻ y fecha 0 en Napostá.

Fecha	Suelo	Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
0	Naposta	N-NO3	12	0,24	0	36,41
Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)						
F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor	
Modelo	60,64	3	20,21	0,86	0,4993	
Tratamiento	60,64	3	20,21	0,86	0,4993	
Error	187,68	8	23,46			
Total	248,32	11				

Tabla A36. ANOVA simple (T) para la variable N-NH₄⁺ y fecha 1 en Napostá.

Fecha	Suelo	Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
1	Naposta	N-NH4	12	0,53	0,36	34,07
Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)						
F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor	
Modelo	715,66	3	238,55	3,07	0,0911	
Tratamiento	715,66	3	238,55	3,07	0,0911	
Error	622,17	8	77,77			
Total	1337,83	11				

Tabla A37. ANOVA simple (T) para la variable N-NO₃⁻ y fecha 1 en Napostá.

Fecha	Suelo	Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
1	Naposta	N-NO3	12	0,92	0,88	9,69
Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)						
F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor	
Modelo	410,91	3	136,97	29,22	0,0001	
Tratamiento	410,91	3	136,97	29,22	0,0001	
Error	37,5	8	4,69			
Total	448,41	11				

Tabla A38. ANOVA simple (T) para la variable N-NH₄⁺ y fecha 2 en Napostá.

Fecha	Suelo	Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
2	Naposta	N-NH4	12	0,34	0,1	46,17
Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)						
F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor	
Modelo	309,95	3	103,32	1,4	0,3126	
Tratamiento	309,95	3	103,32	1,4	0,3126	
Error	591,49	8	73,94			
Total	901,44	11				

Tabla A39. ANOVA simple (T) para la variable N-NO₃⁻ y fecha 2 en Napostá.

Fecha	Suelo	Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
2	Naposta	N-NO3	12	0,83	0,76	12,84
Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)						
F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor	
Modelo	460,4	3	153,47	12,8	0,002	
Tratamiento	460,4	3	153,47	12,8	0,002	
Error	95,89	8	11,99			
Total	556,28	11				

Tabla A40. ANOVA simple (T) para la variable N-NH₄⁺ y fecha 4 en Napostá.

Fecha	Suelo	Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
4	Naposta	N-NH4	11	0,02	0	63,95
Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)						
F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor	
Modelo	6,96	3	2,32	0,05	0,9828	
Tratamiento	6,96	3	2,32	0,05	0,9828	
Error	309,36	7	44,19			
Total	316,32	10				

Tabla A41. ANOVA simple (T) para la variable N-NO₃⁻ y fecha 4 en Napostá.

Fecha	Suelo	Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
4	Naposta	N-NO3	12	0,52	0,34	42,13
Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)						
F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor	
Modelo	510,57	3	170,19	2,85	0,1049	
Tratamiento	510,57	3	170,19	2,85	0,1049	
Error	477,42	8	59,68			
Total	987,99	11				

Tabla A42. ANOVA simple (T) para la variable N-NH₄⁺ y fecha 7 en Napostá.

Fecha	Suelo	Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
7	Naposta	N-NH4	12	0,31	0,05	32,49
Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)						
F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor	
Modelo	206,12	3	68,71	1,19	0,3738	
Tratamiento	206,12	3	68,71	1,19	0,3738	
Error	462,58	8	57,82			
Total	668,7	11				

Tabla A43. ANOVA simple (T) para la variable N-NO₃⁻ y fecha 7 en Napostá.

Fecha	Suelo	Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
7	Naposta	N-NO3	11	0,95	0,93	8,97
Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)						
F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor	
Modelo	1497,03	3	499,01	46,8	0,0001	
Tratamiento	1497,03	3	499,01	46,8	0,0001	
Error	74,63	7	10,66			
Total	1571,66	10				

Tabla A44. ANOVA simple (T) para la variable N-NH₄⁺ y fecha 14 en Napostá.

Fecha	Suelo	Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
14	Naposta	N-NH4	12	0,14	0	34,15
Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)						
F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor	
Modelo	35,81	3	11,94	0,44	0,7335	
Tratamiento	35,81	3	11,94	0,44	0,7335	
Error	219,18	8	27,4			
Total	255	11				

Tabla A45. ANOVA simple (T) para la variable N-NO₃⁻ y fecha 14 en Napostá.

Fecha	Suelo	Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
14	Naposta	N-NO3	12	0,88	0,84	12,8
Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)						
F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor	
Modelo	1618,29	3	539,43	19,69	0,0005	
Tratamiento	1618,29	3	539,43	19,69	0,0005	
Error	219,15	8	27,39			
Total	1837,45	11				

Tabla A46. ANOVA simple (T) para la variable N-NH₄⁺ y fecha 21 en Napostá.

Fecha	Suelo	Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
21	Naposta	N-NH4	12	0,32	0,06	36,11
Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)						
F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor	
Modelo	253,79	3	84,6	1,25	0,3533	
Tratamiento	253,79	3	84,6	1,25	0,3533	
Error	539,82	8	67,48			
Total	793,61	11				

Tabla A47. ANOVA simple (T) para la variable N-NO₃⁻ y fecha 21 en Napostá.

Fecha	Suelo	Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
21	Naposta	N-NO3	12	0,97	0,96	5,06
Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)						
F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor	
Modelo	1399,82	3	466,61	88,66	<0,0001	
Tratamiento	1399,82	3	466,61	88,66	<0,0001	
Error	42,1	8	5,26			
Total	1441,93	11				

Tabla A48. ANOVA simple (T) para la variable N-NH₄⁺ y fecha 35 en Napostá.

Fecha	Suelo	Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
35	Naposta	N-NH4	11	0,29	0	96,62
Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)						
F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor	
Modelo	111,54	3	37,18	0,94	0,472	
Tratamiento	111,54	3	37,18	0,94	0,472	
Error	277,75	7	39,68			
Total	389,29	10				

Tabla A49. ANOVA simple (T) para la variable N-NO₃⁻ y fecha 35 en Napostá.

Fecha	Suelo	Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
35	Naposta	N-NO3	11	0,93	0,9	11,72
Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)						
F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor	
Modelo	3000,72	3	1000,24	31,65	0,0002	
Tratamiento	3000,72	3	1000,24	31,65	0,0002	
Error	221,23	7	31,6			
Total	3221,95	10				

Tabla A50. ANOVA simple (F) para la variable N-NH₄⁺ y tratamiento C en H. Ascasubi.

Suelo	Tratamiento	Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Ascasubi	control	N-NH4	24	0,54	0,34	47,6
Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)						
F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor	
Modelo	1555,91	7	222,27	2,66	0,0501	
Fecha	1555,91	7	222,27	2,66	0,0501	
Error	1338,98	16	83,69			
Total	2894,89	23				

Tabla A51. ANOVA simple (F) para la variable N-NO₃⁻ y tratamiento C en H. Ascasubi.

Suelo	Tratamiento	Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Ascasubi	control	N-NO3	24	0,89	0,84	11,92
Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)						
F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor	
Modelo	2981,11	7	425,87	18,75	<0,0001	
Fecha	2981,11	7	425,87	18,75	<0,0001	
Error	363,45	16	22,72			
Total	3344,56	23				

Tabla A52. ANOVA simple (F) para la variable Ni y tratamiento C en H. Ascasubi.

Suelo	Tratamiento	Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Ascasubi	control	NI	24	0,78	0,69	18,05
Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)						
F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor	
Modelo	6616,84	7	945,26	8,27	0,0003	
Fecha	6616,84	7	945,26	8,27	0,0003	
Error	1828,52	16	114,28			
Total	8445,36	23				

Tabla A53. ANOVA simple (F) para la variable N-NH₄⁺ y tratamiento DFL en H. Ascasubi.

Suelo	Tratamiento	Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Ascasubi	digerido	N-NH4	23	0,77	0,67	29,26
Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)						
F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor	
Modelo	2402,02	7	343,15	7,36	0,0006	
Fecha	2402,02	7	343,15	7,36	0,0006	
Error	699,07	15	46,6			
Total	3101,1	22				

Tabla A54. ANOVA simple (F) para la variable N-NO₃⁻ y tratamiento DFL en H. Ascasubi.

Suelo	Tratamiento	Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Ascasubi	digerido	N-NO3	23	0,72	0,59	16,09
Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)						
F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor	
Modelo	2970,55	7	424,36	5,6	0,0025	
Fecha	2970,55	7	424,36	5,6	0,0025	
Error	1137,18	15	75,81			
Total	4107,73	22				

Tabla A55. ANOVA simple (F) para la variable Ni y tratamiento DFL en H. Ascasubi.

Suelo	Tratamiento	Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Ascasubi	digerido	NI	22	0,89	0,83	9,81
Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)						
F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor	
Modelo	6410,88	7	915,84	15,92	<0,0001	
Fecha	6410,88	7	915,84	15,92	<0,0001	
Error	805,64	14	57,55			
Total	7216,52	21				

Tabla A56. ANOVA simple (F) para la variable N-NH₄⁺ y tratamiento FL en H. Ascasubi.

Suelo	Tratamiento	Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Ascasubi	estiercol	N-NH4	22	0,56	0,35	43,47
Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)						
F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor	
Modelo	1229,55	7	175,65	2,59	0,0617	
Fecha	1229,55	7	175,65	2,59	0,0617	
Error	950,52	14	67,89			
Total	2180,07	21				

Tabla A57. ANOVA simple (F) para la variable N-NO₃⁻ y tratamiento FL en H. Ascasubi.

Suelo	Tratamiento	Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Ascasubi	estiercol	N-NO3	23	0,54	0,33	30,1
Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)						
F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor	
Modelo	3419,14	7	488,45	2,54	0,0618	
Fecha	3419,14	7	488,45	2,54	0,0618	
Error	2889,72	15	192,65			
Total	6308,86	22				

Tabla A58. ANOVA simple (F) para la variable Ni y tratamiento FL en H. Ascasubi.

Suelo	Tratamiento	Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Ascasubi	estiercol	NI	22	0,53	0,3	30,6
Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)						
F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor	
Modelo	6460,67	7	922,95	2,27	0,0912	
Fecha	6460,67	7	922,95	2,27	0,0912	
Error	5701,17	14	407,23			
Total	12161,84	21				

Tabla A59. ANOVA simple (F) para la variable N-NH₄⁺ y tratamiento U en H. Ascasubi.

Suelo	Tratamiento	Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Ascasubi	urea	N-NH4	24	0,56	0,37	35,19
Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)						
F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor	
Modelo	2215,35	7	316,48	2,94	0,035	
Fecha	2215,35	7	316,48	2,94	0,035	
Error	1720,58	16	107,54			
Total	3935,93	23				

Tabla A60. ANOVA simple (F) para la variable N-NO₃⁻ y tratamiento U en H. Ascasubi.

Suelo	Tratamiento	Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Ascasubi	urea	N-NO3	24	0,94	0,92	10,26
Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)						
F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor	
Modelo	10260,44	7	1465,78	38,4	<0,0001	
Fecha	10260,44	7	1465,78	38,4	<0,0001	
Error	610,66	16	38,17			
Total	10871,1	23				

Tabla A61. ANOVA simple (F) para la variable Ni y tratamiento U en H. Ascasubi.

Suelo	Tratamiento	Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Ascasubi	urea	NI	24	0,73	0,62	14,03
Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)						
F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor	
Modelo	6938,09	7	991,16	6,26	0,0012	
Fecha	6938,09	7	991,16	6,26	0,0012	
Error	2534,45	16	158,4			
Total	9472,54	23				

Tabla A62. ANOVA simple (F) para la variable N-NH₄⁺ y tratamiento C en Napostá.

Suelo	Tratamiento	Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Naposta	control	N-NH4	23	0,49	0,26	51,55
Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)						
F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor	
Modelo	993,52	7	141,93	2,08	0,1109	
Fecha	993,52	7	141,93	2,08	0,1109	
Error	1023,9	15	68,26			
Total	2017,42	22				

Tabla A63. ANOVA simple (F) para la variable N-NO₃⁻ y tratamiento C en Napostá.

Suelo	Tratamiento	Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Naposta	control	N-NO3	24	0,75	0,64	22,03
Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)						
F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor	
Modelo	1159,8	7	165,69	6,74	0,0008	
Fecha	1159,8	7	165,69	6,74	0,0008	
Error	393,33	16	24,58			
Total	1553,13	23				

Tabla A64. ANOVA simple (F) para la variable N-NH₄⁺ y tratamiento DFL en Napostá.

Suelo	Tratamiento	Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Naposta	digerido	N-NH4	23	0,58	0,38	43,54
Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)						
F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor	
Modelo	1247,17	7	178,17	2,96	0,037	
Fecha	1247,17	7	178,17	2,96	0,037	
Error	903,69	15	60,25			
Total	2150,86	22				

Tabla A65. ANOVA simple (F) para la variable N-NO₃⁻ y tratamiento DFL en Napostá.

Suelo	Tratamiento	Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Naposta	digerido	N-NO3	23	0,94	0,91	12,4
Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)						
F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor	
Modelo	4205,14	7	600,73	32,89	<0,0001	
Fecha	4205,14	7	600,73	32,89	<0,0001	
Error	273,96	15	18,26			
Total	4479,11	22				

Tabla A66. ANOVA simple (F) para la variable N-NH₄⁺ y tratamiento FL en Napostá.

Suelo	Tratamiento	Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Naposta	estiercol	N-NH4	24	0,67	0,52	43,39
Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)						
F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor	
Modelo	1570,2	7	224,31	4,58	0,0056	
Fecha	1570,2	7	224,31	4,58	0,0056	
Error	782,97	16	48,94			
Total	2353,17	23				

Tabla A67. ANOVA simple (F) para la variable N-NO₃⁻ y tratamiento FL en Napostá.

Suelo	Tratamiento	Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Naposta	estiercol	N-NO3	23	0,9	0,85	17,37
Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)						
F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor	
Modelo	2460,35	7	351,48	18,39	<0,0001	
Fecha	2460,35	7	351,48	18,39	<0,0001	
Error	286,65	15	19,11			
Total	2747	22				

Tabla A68. ANOVA simple (F) para la variable N-NH₄⁺ y tratamiento U en Napostá.

Suelo	Tratamiento	Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Naposta	urea	N-NH4	23	0,81	0,72	26,22
Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)						
F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor	
Modelo	1995,61	7	285,09	9,23	0,0002	
Fecha	1995,61	7	285,09	9,23	0,0002	
Error	463,39	15	30,89			
Total	2459,01	22				

Tabla A69. ANOVA simple (F) para la variable N-NO₃⁻ y tratamiento U en Napostá.

Suelo	Tratamiento	Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Naposta	urea	N-NO3	24	0,96	0,94	11,76
Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)						
F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor	
Modelo	9024,98	7	1289,28	51,36	<0,0001	
Fecha	9024,98	7	1289,28	51,36	<0,0001	
Error	401,67	16	25,1			
Total	9426,66	23				