

## Nota Técnica

# Evaluación de los purines como una alternativa de fertilización orgánica en pasto estrella africana<sup>1</sup>

*Jorge Alberto Elizondo-Salazar<sup>2</sup> y Humberto Espinoza-Fonseca<sup>3</sup>*

## Resumen

La mezcla de residuos originados por los sistemas de producción animal, que pueden incluir estiércol, aguas de lavado, agua de lluvia, restos de alimento balanceado y desechos de cama, han sido utilizados para mejorar la productividad de las cosechas y comúnmente se les denomina purines. El objetivo del presente estudio fue evaluar el efecto de la aplicación de fertilizantes orgánicos e inorgánicos sobre la producción y composición química del pasto estrella africana en una finca lechera especializada. El estudio se llevó a cabo de mayo a diciembre del 2018 en la Estación Experimental Alfredo Volio Mata de la Universidad de Costa Rica. Se utilizó un área de 500 m<sup>2</sup> en un aparcamiento de pasto estrella africana. El área total se dividió en tres bloques y cada bloque fue subdividido en cuatro parcelas que correspondieron a los diferentes tratamientos de fertilización nitrogenada a una dosis constante de 250 kg/ha/año distribuido en seis aplicaciones. Cada parcela fue de 5 x 5 m y los tratamientos utilizados fueron: 1) testigo (0 kg de nitrógeno), 2) compost, 3) purines y 4) urea. El rendimiento total de materia verde fue similar en el tratamiento control y compost (3,8 y 3,9 ton/ha/corte), superados por los purines y la urea (5,7 y 7,5 ton/ha/corte, respectivamente). No hubo diferencias significativas ( $p > 0.05$ ) en la concentración de materia seca (19,7 a 21,6%), mientras que el rendimiento de materia seca fue significativamente mayor ( $p < 0.001$ ) en la urea (1,2 ton/ha/corte), seguido por los purines y compost (0,9 y 0,7

<sup>1</sup>Este trabajo formó parte del proyecto de investigación 737-B5-188 inscrito en la Vicerrectoría de Investigación de la Universidad de Costa Rica. Universidad de Costa Rica, San José, Costa Rica.

<sup>2</sup>Universidad de Costa Rica, Facultad de Ciencias Agroalimentarias. Estación Experimental Alfredo Volio Mata. San José, Costa Rica. Autor para correspondencia: [jorge.elizondosalazar@ucr.ac.cr](mailto:jorge.elizondosalazar@ucr.ac.cr) (<https://orcid.org/0000-0003-2603-9635>).

<sup>3</sup>Ministerio de Salud. San José, Costa Rica. Correo electrónico: [humberto.espinoza@misalud.go.cr](mailto:humberto.espinoza@misalud.go.cr)

Recibido: 27 abril 2021                      Aceptado: 30 julio 2021

Esta obra está bajo licencia internacional Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-SinObrasDerivadas 4.0.



ton/ha/corte, respectivamente). El tratamiento con urea presentó los mayores rendimientos y las mejores características nutricionales del pasto seguido del tratamiento con purines, que se presenta como una alternativa viable de fertilización orgánica para ser utilizada en el pasto estrella africana.

**Palabras clave:** nitrógeno, estiércol, forrajes, fertilizante, nutrición animal.

### Abstract

#### **Evaluation of dairy slurry as an alternative of organic fertilizer in African star grass.**

The mix of residues originating from animal production systems, which can include manure, cleaning water, rainwater, and waste feed, have been used to improve crop productivity, and are commonly referred to as slurry. The objective of this study was to evaluate the effect of the application of inorganic and organic fertilizers on the production and chemical composition of African star grass in a specialized dairy farm. The study was carried out from May to December 2018 at the Alfredo Volio Mata Experiment Station of the University of Costa Rica. An area of 500 m<sup>2</sup> was used in an African star grass paddock. The total area was divided into three blocks and each block was subdivided into four plots that corresponded to the different nitrogen fertilization treatments at a constant dose of 250 kg/ha/year distributed in six applications. Each plot was 5 x 5 m and the treatments were: 1) control (0 kg of nitrogen), 2) compost, 3) slurry and 4) urea. Total yield of green forage was similar for the control and compost treatment (3,8 and 3,9 ton/ha/cut) surpassed by the slurry and urea treatment (5,7 and 7,5 ton/ha/cut, respectively). There were no significant differences ( $p > 0.05$ ) for dry matter concentration (19,7 to 21,6%), while dry matter yield was significantly higher ( $p < 0.001$ ) in urea (1,2 ton/ha/cut), followed by slurry and compost (0,9 and 0,7 ton/ha/cut, respectively). Treatment with urea presented the highest yield and the best nutritional characteristics followed by the slurry treatment, which represents a viable alternative of organic fertilizer to be used in African star grass.

**Keywords:** nitrogen, manure, forages, fertilizer, animal nutrition.

## INTRODUCCIÓN

La producción de leche en Costa Rica se vio incrementada desde 1980 al 2011, pasando de 308 a 966 millones de kilogramos, lo que representó un aumento anual promedio del 7% (González, 2012). Esto ha ocasionado un incremento en el consumo de alimento balanceado, forraje y fertilizantes, y una elevada producción de residuos pecuarios que deben manejarse adecuadamente ya que representan un riesgo de contaminación ambiental.

Los residuos originados por los sistemas de producción animal han sido utilizados por muchos años para mejorar la productividad de las cosechas. Dependiendo del sistema de manejo de la explotación, estos residuos pueden incluir estiércol, aguas de lavado, agua de lluvia, restos de alimentos balanceados y desechos de cama, entre otros. A las mezclas fortuitas de dichos residuos comúnmente se les denomina purines (Kupper et al., 2020).

Los purines contienen nitrógeno (N), fósforo (P), potasio (K) y otros elementos que pueden ser utilizados para la nutrición de las plantas forrajeras. En caso de que se utilicen prácticas inadecuadas de manejo, como altas dosis o aplicación en lugares donde no se puedan aprovechar, se aumenta el riesgo de contaminación de aguas. Gran parte de los nutrientes y otros compuestos presentes no serán aprovechados por las plantas o no serán retenidos por las partículas del suelo (Perazzolo et al., 2017).

El objetivo de utilizar los purines de manera eficiente es aprovechar los nutrientes para el crecimiento y desarrollo del pasto y reemplazar o disminuir el fertilizante químico. Existe además un interés de aplicar estos purines ya que los forrajes requieren una cantidad importante de nutrientes (Carter et al., 2010) y se pueden hacer varias aplicaciones en el año. También, debido a que los forrajes proveen una cobertura anual y tienen típicamente raíces

profundas, los purines presentan un menor riesgo a perderse por escorrentía o lixiviación (Milliron et al., 2019).

Al comparar con otras fuentes nitrogenadas, algunos autores han indicado que los purines pueden tener otros beneficios como mejorar las condiciones físicas del suelo (Schröder, 2005), que puede deberse a un incremento en la actividad microbiana (Bittman et al. 2005) y de la lombriz de tierra (Raworth et al., 2004). Lovieno et al. (2009) indicaron que las aplicaciones repetidas de estiércol bovino incrementan la tasa de respiración del suelo debido al aumento de la actividad y crecimiento microbial resultado de una mayor disponibilidad de carbono.

Además de aportar nutrientes a la materia orgánica y mejorar la respiración del suelo, la aplicación de purines puede aumentar el pH del suelo al reducir la aplicación de fertilizantes inorgánicos (Schröder et al., 2011; Khaliq y Abbasi, 2015). Sin embargo, el impacto de los purines sobre el pH del suelo depende de la fuente y del tipo de suelo. Un aumento en el pH del suelo con la adición de purines es consistente con datos de Whalen et al. (2000) y Sadeghpour et al. (2016), quienes concluyeron que el incremento se debió al efecto tampón del bicarbonato y ácidos orgánicos presentes.

La aplicación de purines también se ha asociado con una serie de impactos negativos para el ambiente. Las tasas de aplicación a menudo resultan en una mayor cantidad de nutrientes de los que la planta necesita y estos pueden ser transportados hacia cuerpos de agua causando eutrofización (Kumaragamage y Akinremi, 2018). La aplicación de purines afecta también la calidad del aire al incrementar las emisiones de amoníaco y óxido nitroso (Hou et al., 2015; Zhou et al., 2017), contribuyendo con las emisiones totales de gases de efecto invernadero e impactando el cambio climático (Reay et al., 2012). Adicionalmente, su aplicación puede introducir hormonas y patógenos que pueden persistir en el suelo o ser transportados a fuentes de agua (Semenov et al., 2009; Mina et al., 2016).

En Costa Rica no se dispone de suficiente información en relación con el potencial que tiene el uso de los purines de lecherías en los forrajes. Por lo que el objetivo de esta investigación fue evaluar el efecto de la aplicación de fertilizantes orgánicos e inorgánicos sobre la producción y composición química del pasto estrella africana (*Cynodon nlemfuensis*) en una finca ubicada en la meseta central de Costa Rica.

## **Materiales y métodos**

### **Localización**

El estudio se llevó a cabo de mayo a diciembre del 2018 en la Estación Experimental Alfredo Volio Mata de la Universidad de Costa Rica, ubicada en el Alto de Ochomogo en la provincia de Cartago (latitud 9°55" 10' N y longitud 83°57" 20' O). La finca se encuentra a 1542 m de altitud, presenta una precipitación media anual de 1500 mm distribuida entre los meses de mayo a noviembre, la temperatura media es de 19,5 °C y una humedad relativa promedio de 84%. El suelo está clasificado como Typic Distrandepts, de origen volcánico (Vásquez, 1982), caracterizado por tener una profundidad media con buen drenaje natural y una fertilidad media.

### **Tratamientos y diseño experimental**

Se utilizó un área de 500 m<sup>2</sup> en un aparcamiento de pasto estrella africana. El área total se dividió en tres bloques y cada bloque fue subdividido en cuatro parcelas que correspondieron a los diferentes tratamientos de fertilización nitrogenada a una dosis constante de 250kg/ha/año distribuido en seis aplicaciones (41,7 kg de N cada una). Cada parcela fue de 25 m<sup>2</sup> (5 x 5 m) y estuvo separada una de la otra por un callejón de un metro y de 2 m entre los bloques. Los tratamientos utilizados fueron: 1) el testigo (0 kg de nitrógeno), 2) compost, 3) purines y 4) urea (46% de N). El compost fue producido a partir de

residuos de ensilado, de cama (estiércol y burucha) y de alimentos varios (alimento balanceado, hojas y ramas de forrajes). Los purines fueron extraídos de un tanque de recolección ubicado en la parte baja de la finca. Una muestra representativa del suelo, del purín y del compostaje fue enviada al Laboratorio de Suelos, Aguas y Foliaves del Instituto Nacional de Innovación y Transferencia en Tecnología Agropecuaria para su respectivo análisis químico (Cuadro 1).

Cuadro 1. Análisis químico del suelo donde se encontraba el pasto estrella africana y de los abonos orgánicos utilizados en el ensayo. Cartago, Costa Rica. 2018.

|         | pH  | cmol (+) / l |     |     | %                  |       |      |      |      |       |
|---------|-----|--------------|-----|-----|--------------------|-------|------|------|------|-------|
|         |     | Ca           | Mg  | K   | N <sub>total</sub> | P     | Cu   | Zn   | Mn   | Fe    |
| Suelo   | 5,1 | 3,4          | 2,7 | 1,4 | 0,4                | 2,0   | 23,0 | 3,2  | 60,0 | 185,0 |
| Purines | 4,4 | 0,4          | 0,1 | 0,1 | 0,05               | 0,2   | 1,0  | 21,0 | 41,0 | 167,0 |
| Compost | 7,4 | 5,8          | 3,9 | 7,9 | 1,0                | 234,0 | 6,0  | 7,3  | 21,0 | 55,0  |

Al inicio del experimento, el área total de pasto se uniformizó cosechando a 5 cm del suelo y a partir de dicha uniformización se programaron seis cortes consecutivos cada 28 días. Al cabo de cada periodo de rebrote, las parcelas fueron cosechadas totalmente de manera manual, a la misma altura del corte de uniformización. La producción total de biomasa fresca de cada parcela se pesó con una romana en el campo y se extrajo una muestra representativa de tres kilogramos para ser analizada en el laboratorio de bromatología de la Estación Experimental Alfredo Volio Mata de la Universidad de Costa Rica. Cada muestra fue pesada en fresco y secada a 60 °C durante 48 horas. Las muestras se molieron en un molino Willey, con una malla de un milímetro. Posteriormente se determinó el contenido de materia seca y proteína cruda siguiendo los métodos aprobados por el AOAC (2000), fibra detergente neutro y fibra detergente ácido de acuerdo a Van Soest et al. (1991) y para la concentración de lignina por Goering y Van Soest (1970). Se estimaron los rendimientos de biomasa verde, biomasa seca y proteína cruda por hectárea a partir de los muestreos realizados. Los datos obtenidos se analizaron con el PROC GLM del paquete estadístico SAS (2011) de acuerdo al

modelo propuesto y la prueba Tukey se utilizó para determinar diferencias significativas entre las medias de los tratamientos con un  $\alpha \leq 0.05$ .

Se empleó una estructura experimental de bloques completos al azar con tres repeticiones por tratamiento, utilizando el siguiente modelo matemático:

$$Y_{ijk} = \mu + \alpha_i + \beta_j + \gamma_k + \epsilon_{ijk}$$

Donde:

$Y_{ijk}$  = Producción en kg/ha/corte

$\mu$  = Media general

$\alpha_i$  = Efecto del i-ésimo tratamiento

$\beta_j$  = Efecto del j-ésimo bloque

$\gamma_k$  = Efecto del k-ésimo muestreo

$\epsilon_{ijk}$  = Error experimental

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El análisis químico que se le realizó a los purines reporta contenidos relativamente bajos de nutrientes (Cuadro 2); situación concordante con lo expresado por Möller y Müller (2012), quienes reportaron que el aporte de los purines en términos de contenido de materia seca y nutrientes es bajo. Sin embargo, la producción de altos volúmenes lo hace una opción interesante en las producciones agrícolas.

Varios factores pueden intervenir sobre la calidad de los purines; como lo son el tipo de alimentación que se le ofrece a los animales, el tipo de ganado, la duración y condición de almacenamiento y las condiciones ambientales (Marañón et al., 1998; Kavanagh et al., 2019).

Para el caso de los purines utilizados en el presente experimento, la baja concentración de nutrientes pudo deberse principalmente a factores de almacenamiento. Por tratarse de purines almacenados en un tanque de concreto, el proceso de sedimentación que tiene lugar puede afectar la distribución de los nutrientes en los diferentes niveles y, además, por tratarse de una fosa sin cobertura, el agua de lluvia aumenta el volumen. Esto ocasiona una disminución en la concentración por un efecto de dilución (Kavanagh et al., 2019).

El rendimiento de materia verde mostró diferencias altamente significativas entre tratamientos, siendo mayor para la urea seguida por los purines, mientras el compost y el control tuvieron valores similares y menores.

Cuadro 2. Producción y composición química del pasto estrella africana fertilizada con diferentes abonos a una dosis de 250 kg de nitrógeno/ha/año. Cartago, Costa Rica. 2018.

| Variable                | Tratamiento |          |          |          |       |
|-------------------------|-------------|----------|----------|----------|-------|
|                         | Control     | Compost  | Purines  | Químico  | EEM   |
| Peso verde, kg/ha/corte | 3830,0 c    | 3923,0 c | 5762,0 b | 7537,0 a | 756,0 |
| MS, %                   | 21,1        | 21,6     | 19,9     | 19,7     | 1,0   |
| MS, kg/ha/corte         | 723,5 c     | 742,8 c  | 965,8 b  | 1247,9 a | 115,0 |
| PC, %                   | 12,8 c      | 13,0 c   | 14,9 b   | 16,7 a   | 0,4   |
| PC, kg/ha/corte         | 92,0 c      | 96,5 c   | 144,1 b  | 203,7 a  | 16,6  |
| Cenizas, %              | 11,1        | 11,4     | 12,0     | 11,5     | 0,2   |
| FND, %                  | 58,9 b      | 59,4 b   | 57,5 ab  | 56,9 a   | 0,7   |
| FAD, %                  | 33,4        | 33,6     | 32,4     | 31,7     | 0,7   |
| Lignina, %              | 5,9         | 5,8      | 5,6      | 5,8      | 0,2   |

<sup>abc</sup> Diferente letra en una misma fila representa diferencia significativa  $p < 0.001$ .

MS: Materia seca; PC: Proteína cruda; FND: Fibra neutro detergente; FAD: Fibra ácido detergente.

EEM: error estándar de la media.



Los fertilizantes orgánicos contienen concentraciones muy bajas de N y este nutriente debe ser convertido a sus formas inorgánicas por las bacterias y hongos del suelo antes de que pueda ser utilizado por las plantas (de Moura-Zanine y de Jesus-Ferreira, 2015). Esta situación pudo haber marcado la diferencia en los rendimientos obtenidos entre los purines y el compost. También la volatilización de amoníaco ( $\text{NH}_3$ ) reduce sustancialmente la disponibilidad del N de los abonos orgánicos (Zhou et al., 2017) y esto los hace menos eficientes cuando se comparan con fertilizantes químicos.

No hubo diferencias significativas ( $p > 0.05$ ) en la concentración de materia seca (%) del pasto estrella africana en este estudio, mostrando valores dentro del rango obtenido por Villalobos y Arce (2014); quienes analizaron el valor nutricional del pasto estrella africana bajo pastoreo en cuatro fincas comerciales de ganado lechero ubicadas en las provincias de Guanacaste y Puntarenas (18,55 y 29,47%).

Los resultados obtenidos en este ensayo también coinciden con lo encontrado por Salazar (2007) y Sánchez y Soto (1999) en los distritos de Quesada y Fortuna del cantón de San Carlos, respectivamente.

El rendimiento de materia seca presentó diferencias altamente significativas ( $p < 0.001$ ) entre tratamientos y mantuvo la misma tendencia mostrada para el rendimiento de pasto verde. Estas diferencias se deben principalmente a que el fertilizante químico provee nutrientes fácilmente disponibles para las plantas que impactan positivamente el crecimiento y por ende el rendimiento, mientras que el fertilizante orgánico libera los nutrientes más lentamente y en ocasiones no son suficientes para llenar los requerimientos para el crecimiento de las plantas en un corto tiempo (Manna et al., 2005; Meng et al., 2005).

La tasa de mineralización en los fertilizantes orgánicos determina la cantidad de N disponible para la planta durante la época de crecimiento. Esto varía significativamente dependiendo de

la composición del estiércol, las condiciones de almacenamiento, el tratamiento al que haya estado sometido, el manejo histórico de la pastura y el suelo y el método de aplicación (Van Kessely Reeves, 2002; Griffin et al., 2005). A pesar de esta variabilidad, Madison et al. (1995) propone asumir que del 30 al 50% del N total está disponible para el primer año como aprovechable para la planta al momento de la aplicación y la cantidad de N que se mineraliza durante la época de crecimiento.

Una de las mayores desventajas del compost es la pérdida de carbono y N durante el proceso (Eghball, 2002); por esta razón pudo deberse la menor producción de biomasa con respecto al tratamiento con purines.

Los rendimientos de biomasa seca fueron menores a los reportados por Villalobos y Arce (2013) en fincas lecheras utilizando fertilización química y cuyo promedio fue de 4,48 ton/ha/corte (2,2-6,0ton/ha/corte). Estas diferencias se atribuyen principalmente a que en el estudio de Villalobos y Arce (2013) los muestreos se realizaron a una edad de rebrote de dos meses, mientras que en el presente ensayo se realizaron a los 28 días.

Johnson et al. (2001) en un estudio realizado en Florida de los Estados Unidos, evaluaron el rendimiento de tres especies de pasto (incluido el estrella africana) utilizando dosis de 0, 39, 78, 118 y 157 kg de N/ha por ciclo de 28 días y encontraron que con una dosis de 39 kg/ha de N la producción de estrella africana fue de 1,4 ton/ha/MS.

La concentración de proteína cruda fue significativamente diferente ( $p < 0.001$ ) entre tratamientos (Cuadro 2), siendo mayor con urea, mientras los purines mostraron un contenido intermedio, y el compost y el control tuvieron contenidos similares y menores. Se debe considerar que, en el compost, la liberación de nutrientes es lenta y requiere de mayor tiempo para evaluar resultados en plantas. Debido a la mayor disponibilidad de N en los

fertilizantes químicos, la planta puede lograr una mayor absorción para la síntesis de aminoácidos y proteína (Zandvakili et al., 2012).

Pant et al. (2004) evaluaron el valor nutricional del pasto estrella africana durante tres años bajo diferentes programas de fertilización y encontraron un rango entre 8,7 a 28,3% para el contenido de PC.

El rendimiento de PC (kg/ha) varió significativamente ( $p < 0.001$ ) entre tratamientos y, al consistir en un indicador integrado por el contenido de PC y la biomasa, mantuvo la misma tendencia.

La concentración de FND varió entre 56,9 y 59,4%, valores inferiores al promedio de 64,21% reportado por Villalobos y Arce (2014). También el contenido de FND fue menor al reportado por otros autores (Sánchez y Soto, 1999; Johnson et al., 2001; Salazar, 2007) con valores entre 71,1 a 75,5%. Un contenido de pared celular alto repercute negativamente sobre la digestibilidad de la MS, lo que a su vez puede originar baja producción en los animales.

No hubo diferencias significativas ( $p > 0.05$ ) en los contenidos de cenizas, FAD y lignina. El contenido de cenizas fue muy similar al obtenido por Villalobos y Arce (10,97%, 2014) pero la concentración obtenida fue superior a la encontrada por Salazar (2007), Sánchez y Soto (1996) con 8,69% y 9,0%, respectivamente, en fincas de la zona de San Carlos.

El contenido de FAD fue muy cercana al valor promedio de 34,95% reportado por Villalobos y Arce (2014) e inferior al encontrado por Salazar (2007) en la zona de San Calos con 37,88%. Johnson et al. (2001) reportaron contenidos de FDA entre 30,9-33,9% para el pasto estrella africana y mencionaron que la fertilización nitrogenada tuvo poco efecto sobre dicha variable.

El uso de purines como fertilizante requiere de ciertas precauciones, especialmente debido a problemas ambientales por las pérdidas de N por lixiviación de nitratos y volatilización de amoníaco y óxido nitroso que puede sufrir (Meade et al., 2011). Mayor investigación sobre los métodos de aplicación (Schröder et al., 2015), dosis (MaiaFilho et al., 2013) y fraccionamiento (Martínez-Lagos et al., 2014), con el fin de minimizar las pérdidas de N (Ekpo et al., 2016), son necesarios para disminuir su impacto al ambiente. En el presente estudio, el uso de purines como una alternativa de fertilización orgánica en el pasto estrella africana permitió obtener rendimientos de biomasa y calidad nutricional adecuados para poder ser empleados en la alimentación de rumiantes.

### **CONSIDERACIONES FINALES**

En la presente investigación, el tratamiento con urea mostró los mayores rendimientos y las mejores características nutricionales en el pasto estrella africana seguido del tratamiento con purines. La aplicación de purines se presenta como una alternativa viable de fertilización orgánica que tiene el potencial de suplir nutrientes al pasto estrella africana con el fin de producir una cantidad adecuada de biomasa y mantener un valor nutricional superior al de sistemas sin fertilización.

## LITERATURA CITADA

- A.O.A.C. (Association of Official Analytical Chemistry). 2000. Official Methods of Analysis of the Association Analytical Chemistry. 17th Ed. AOAC International. WA, USA.
- Bittman, S., T.A. Forge, and G.C. Kowalenko. 2005. Responses of the bacterial and fungal biomass in a grassland soil to multi-year applications of dairy manure slurry and fertilizer. *Soil Biol. Biochem.* 37: 613-623.
- Carter, J.E., E.J. William, and C.B. Sidney. 2010. Grass forage response to broadcast or surface-banded liquid dairy manure and nitrogen fertilizer. *Agron. J.* 102: 1123-1131.
- de Moura-Zanine, A., and D. de Jesus-Ferreira. 2015. Animal manure as a nitrogen source to grass. *American Journal of Plant Sciences* 6: 899-910.
- Eghball, B. 2002. Soil properties as influenced by phosphorus- and nitrogen-based manure and compost applications. *Agron. J.* 94: 128-135.
- Ekpo, U., A.B. Ross, M.A.C. Valero, and L.A. Fletcher. 2016. Influence of pH on hydrothermal treatment of swine manure: Impact on extraction of nitrogen and phosphorus in processwater. *Bioresource Technology* 214: 637-644.
- Goering, H.K., and P.J. Van Soest. 1970. Forage fiber analysis. USDA Agric. Res. Serv., Handb. no.379. USDA Superintendent of Documents. U.S. Gov. Print. Office, Washington, DC.
- González, J.M. 2012. Situación actual y perspectivas del sector lácteo costarricense: Visión de la Cámara Nacional de Productores de Leche. Congreso Nacional Lechero 2012 21 y 22 de noviembre. San Carlos, Costa Rica.
- Griffin, T.S., Z. He, and C.W. Honeycutt. 2005. Manure composition affects net transformation of nitrogen from dairy manures. *Plant Soil* 273: 29-38.
- Hou, Y., G.L. Velthof., and O. Oenema. 2015. Mitigation of ammonia, nitrous oxide and methane emissions from manure management chains: A meta analysis and integrated assessment. *Glob. Change Biol.* 21: 1293-1312.
- Lovieno, P.L., Morra, A., Leone, L., Pagano., and A, Alfani. 2009. Effect of organic and mineral fertilizers on soil respiration and enzyme activities of two Mediterranean horticultural soils. *Biol. Fertil. Soils.* 45: 555-561.

- Johnson, C.R., B.A. Reiling, P.Mislevy, and M.B. Hall. 2001. Effects of nitrogen fertilization and harvest date on yield, digestibility, fiber, and protein fractions of tropical grasses. *Journal of Animal Science*. 79: 2439-2448.
- Kavanagh, I., W. Burchill, M.G. Healy, O. Fenton, D.J. Krol, and G.J. Lanigan. 2019. Mitigation of ammonia and greenhouse gas emissions from stored cattle slurry using acidifiers and chemical amendments. *Journal of Cleaner Production* 237: 1-9. doi: [10.1016/j.jclepro.2019.117822](https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.117822)
- Khaliq, A., and M.K. Abbasi. 2015. Improvements in the physical and chemical characteristics of degraded soils supplemented with organic-inorganic amendments in the Himalayan region of Kashmir, Pakistan. *Catena*. 126:209-219.
- Kumaragamage, D., and O.O. Akinremi. 2018. Manure phosphorus: Mobility in soils and management strategies to minimize losses. *Current Pollut. Rep.* 4: 162-174.
- Kupper, T., C. Hani, A. Neftel, C. Kincaid, M. Buhler, B. Amon, and A. Vander Zaag. 2020. Ammonia and greenhouse gas emissions from slurry storage. A review. *Agriculture, ecosystem and environment*. 300: 1-18. doi: 10.1016/j.agee.2020.106963
- Madison, F., K. Kelling, L. Massie, and L.W. Good. 1995. Guide lines for applying manure to cropland and pasture in Wisconsin. Univ. of Wisconsin Ext. Publ. A3392. Univ. of Wisconsin, Madison.
- Maia Filho F. das C.F., E.F.de Mesquita, H.O. Carvalho Guerra, M. Farias Moura, and L.H. Garofalo Chaves. 2013. Effect of cattle manure on sunflower production and water use in two types of soil. *Revista Ceres*. 60: 397-405.
- Manna, M.C., A. Swarup, R.H. Wanjari, H.N. Ravankar, B. Mishra, M.N. Saha, Y.V. Singh, and P.A. Sarap. 2005. Long-term effect of fertilizer and manure application on soil organic carbon storage, soil quality and yield sustainability under sub-humid and semi-arid tropical India. *Field Crops Research*. 93(2): 264-280.
- Marañón, E., H. Sastre, L. Castrillón, J. González, J. Pertierra, y J. Berrueta. 1998. Generación de residuos de ganadería vacuna en Asturias. Problemática y tratamiento. Universidad de Oviedo. Servicio de publicaciones. 1-202 (ISBN: 84-8317-097-3).

- Martínez-Lagos, J., F. Salazar, M. Alfaro, M. Rosas, E. Rampoldi, and F. Macías. 2014. Edaphoclimatic factors that affect ammonia emissions from the application of urea and dairy slurry in Andosols. *Chilean Journal of Agricultural and Animal Sciences* 30(1):15-28.
- Meade, G., K. Pierce, J.V. O'Doherty, C. Mueller, G. Lanigan, and T.M. McCabe. 2011. Ammonia and nitrous oxide emissions following gland application of high and low nitrogen pig manures to winter wheat at three growth stages. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 140: 208-217.
- Meng, L., W. Ding, and Z. Cai. 2005. Long-term application of organic manure and nitrogen fertilizer on N<sub>2</sub>O emissions, soil quality and crop production in a sandy loam soil. *Soil Biology and Biochemistry* 37(11): 2037-2045.
- Milliron, R.A., D.K. Heather, and B.B Douglas. 2019. Influence of dairy slurry manure application method, fall application-timing and winter rye management on nitrogen conservation. *Agron. J.* 111: 995-1009.
- Mina, O., H.E. Gall, L.S. Saporito, and P.J.A. Kleinman. 2016. Estrogen transport in Surface runoff from agricultural fields treated with two application methods of dairy manure. *J. Environ. Qual.* 45: 2007-2015.
- Möller, K., y T. Müller. 2012. Efectos de la digestión anaeróbica sobre la disponibilidad de nutrientes del digestado y el crecimiento de los cultivos: Una revisión. *Ingeniería en Ciencias de la Vida* 12(3): 242-257.
- Pant, H.K., P. Mislevy, and J.E. Rechigl, 2004. Effect of phosphorus and potassium on forage nutritive value and quantity: Environmental implications. *Agron. J.* 96: 1299-1305.
- Perazzolo, F., G. Mattachini, E. Riva, and G. Provolo. 2017. Nutrient losses during winter and summer storage of separated and unseparated digested cattle slurry. *J. Environ. Qual.* 46(4): 879-888.
- Raworth, DA., M.C. Robertson, and S. Bittman. 2004. Effects of dairy slurry application on carabid beetles in tall fescue, British Columbia, Canada. *Agric. Ecosyst. Environ.* 103: 527-534.

- Reay, D.S., E.A. Davidson, K.A. Smith, P. Smith, J.M. Melillo, F. Dentener, and P.J. Crutzen. 2012. Global agriculture and nitrous oxide emissions. *Nat. Clim. Chang* 2: 410-416.
- Sadeghpour, A.Q. Ketterings, F. Vermeulen, G. Godwin, and K. Czymmek. 2016. Soil properties under nitrogen- vs. phosphorus-based manure and compost management of corn. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 80: 1272-1282.
- Salazar, S. 2007. Disponibilidad de biomasa y valor nutricional del pasto estrella africana (*Cynodon nlemfuensis*) en el distrito de Quesada, cantón de San Carlos. Tesis de licenciatura. Universidad de Costa Rica, San José, Costa Rica. 96 p.
- Sánchez, J.M., y H. Soto. 1996. Estimación de la calidad nutricional de los forrajes del cantón de San Carlos I. Materia seca y componentes celulares. *Nutrición Animal Tropical* 3:3-18.
- Sánchez, J.M., y H. Soto. 1999. Calidad nutricional de los forrajes de una zona con niveles medios de producción de leche, en el trópico húmedo del norte de Costa Rica. *Agronomía Costarricense* 23(2):165-171.
- SAS Institute. 2011. SAS/STAT 9.2 User's guide. Version 9.2 ed. SAS Institute Inc. Cary, N.C., USA.
- Schröder, J. 2005. Revisiting the agronomic benefits of manure: a correct assessment and exploitation of its fertilizer value spares the environment. *BioresourceTechnol.* 96:253-261.
- Schröder, J.J.,G.D. Vermeulen, J.R. van derSchoot, W. vanDijk, J.F.M. Huijsmans, G.J. H.M. Meuffels, and D.A. van derSchans. 2015. Maize yields Benefit from injected manure positioned in bands. *European Journal of Agronomy* 64:29-36.
- Schröder, J.L., H. Zhang, K. Girma, W.R. Raun, and C.J. Penn. 2011. Soil acidification from long-term use of nitrogen fertilizers on winter wheat. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 75:957-964.
- Semenov, A.V., L. van Overbeek, and A.H.C. van Bruggen. 2009. Percolation and survival of *Escherichia coli* O157:H7 and *Salmonella enterica* Serovar *Typhimurium* in soil amended with contaminated dairy manure or slurry. *Appl. Environ. Microbiol.* 75: 3206-3215.



- Van Kessel, J.S., and J.B. Reeves. 2002. Nitrogen mineralization potential of dairy manures and its relationship to composition. *Biol. Fertil. Soils*. 36:118-123.
- Van Soest, P.J., J.B. Robertson, and B.A. Lewis. 1991. Methods for dietary fiber, neutral detergent fiber, and non starch polysaccharides in relation to animal nutrition. *J. Dairy Sci.* 74: 3583-3597.
- Vásquez, A. 1982. Estudio detallado de los suelos de la Estación Experimental de Ganado Lechero El Alto. Tesis de Licenciatura. Universidad de Costa Rica, San José, Costa Rica.
- Villalobos, L., y J. Arce. 2013. Evaluación agronómica y nutricional del pasto estrella africana (*Cynodon nlemfuensis*) en la zona de Monteverde, Puntarenas, Costa Rica. I. Disponibilidad de biomasa y fenología. *Agronomía Costarricense* 37(1): 91-101.
- Villalobos, L., y J. Arce. 2014. Evaluación agronómica y nutricional del pasto estrella africana (*Cynodon nlemfuensis*) en la zona de Monteverde, Puntarenas, Costa Rica. II. Valor nutricional. *Agronomía Costarricense*. 38(1): 133-145.
- Whalen, J.K., C. Chang, G.W. Clayton, and J.P. Carefoot. 2000. Cattle manure amendments can increase the pH of acid soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 64: 962-966.
- Zandvakili, O.R., I. Allahdadi, D. Mazaheri, G.A. Akbari, E. Jahanzad, and M. Mirshekari. 2012. Evaluation of quantitative and qualitative traits of forage sorghum and lima bean under different nitrogen fertilizer regimes in additive-replacement series. *Journal of Agricultural Science*. 6: 223-235.
- Zhou, M.H., B. Zhu, S.J. Wang, X.Y. Zhu, H. Vereecken, and N. Bruggemann. 2017. Stimulation of N<sub>2</sub>O emission by manure application to agricultural soils may largely offset carbon benefits: A global meta-analysis. *Glob. Change Biol.* 23: 4068-4083.