

ARTÍCULO CIENTÍFICO

Evaluación del efecto de los purines vacunos sobre la producción de pasto Taiwán
(*Pennisetum purpureum*) en un suelo Andisol¹

Lourdes Rojas-Molina², Jorge Alberto Elizondo-Salazar³

RESUMEN

La fertilización química se ha intensificado en los últimos años y una de las mayores preocupaciones es la pobre eficiencia del uso de fertilizantes nitrogenados y los costos ambientales debido a las pérdidas de este elemento, lo que ha motivado la implementación de sistemas bajos en insumos como lo es la práctica de aplicar purines, que pueden incluir estiércol, aguas de lavado, agua de lluvia, restos de alimento balanceado y desechos de cama, con el fin de proveer nutrientes a los forrajes que se producen para alimentación de los animales. El objetivo del presente estudio fue evaluar la calidad de los purines generados en la Estación Experimental Alfredo Volio Mata y determinar el efecto de su aplicación sobre el suelo y sobre el rendimiento productivo del pasto Taiwán (*Pennisetum purpureum* cv. Taiwán). Para el experimento se utilizó un área efectiva de 225 m² sembrada con pasto Taiwán que se dividió en tres grandes bloques y cada bloque fue subdividido en tres parcelas que correspondieron a los diferentes tratamientos de fertilización nitrogenada a una dosis equivalente de 300 kg/ha/año distribuido en tres aplicaciones. Cada parcela fue de 25 m² (5 x 5 m). Los tratamientos utilizados fueron: 1) el testigo (0 kg de nitrógeno), 2) purines y 3) urea (46% de N). Se tomaron muestras del suelo para realizar un análisis al inicio y final del experimento, que incluyó la caracterización químico-física y microbiológica. El análisis químico realizado a los purines reporta valores relativamente bajos de N, P y K (0,04; 0,01 y 0,04%, respectivamente). No se observaron cambios significativos en cuanto a las propiedades químicas del suelo al comparar los análisis realizados antes y después de la aplicación de los diferentes tratamientos. Con respecto al rendimiento y calidad nutricional de forraje, solamente se encontraron diferencias estadísticamente significativas (P<0,05) para el

¹ Este trabajo formó parte de proyecto 737-B5-188, inscrito en Vicerrectoría de Investigación de la Universidad de Costa Rica.

² Universidad Estatal a Distancia de Costa Rica. San José, Costa Rica. Correo electrónico: mariarm58@hotmail.com

³ Universidad de Costa Rica, Facultad de Ciencias Agroalimentarias, Estación Experimental Alfredo Volio Mata. Cartago, Costa Rica. Autor para correspondencia: jorge.elizondosalazar@ucr.ac.cr (<https://orcid.org/0000-0003-2603-9635>).

Recibido: 31 agosto 2020 Aceptado: 07 diciembre 2020

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



porcentaje de proteína cruda (PC) donde los tratamientos con urea y purines presentaron la mayor concentración de PC en la planta entera.

Palabras clave: fertilizante orgánico, forraje, suelo, nutrición animal, ambiente.

ABSTRACT

Evaluation of the effect of cattle slurry on the production of Taiwan grass (*Pennisetum purpureum*) in an Andisol soil. Chemical fertilization has intensified in recent years and one of the biggest concerns is the poor efficiency of the use of nitrogen fertilizers and the environmental costs due to the losses of this element, which has motivated the implementation of low-input systems such as the practice of applying slurry, which can include manure, cleaning waters, rainwater, concentrate residues and litter waste, in order to provide nutrients to the forages that are produced for feeding animals. The objective of this study was to evaluate the quality of the slurry generated at the Alfredo Volio Mata Experiment Station and to determine the effect of its application on the soil and on the productive performance of Taiwan grass (*Pennisetum purpureum* cv. Taiwan). For the experiment, an area of 225 m² planted with Taiwan grass was used which was divided into three large blocks and each block was subdivided into three plots that corresponded to the different nitrogen fertilization treatments at an equivalent dose of 300 kg/ha/year distributed in three applications. Each plot was 25 m² (5 x 5 m). The treatments used were: 1) the control (0 kg of nitrogen), 2) slurry and 3) urea (46% of N). Soil samples were taken to perform an analysis at the beginning and at the end of the experiment, which included chemical-physical and microbiological characterization. The chemical analysis carried out on the slurry reports relatively low values of N, P and K (0.04, 0.01 and 0.04%, respectively). No significant changes were observed in terms of the chemical properties of the soil when comparing the analyzes carried out before and after the application of the different treatments. Regarding yield and nutritional quality of the forage, only statistically significant differences (P<0.05) were found for the percentage of CP where the treatments with urea and slurry presented the highest concentration of CP in the whole plant.

Keywords: organic fertilizer, forage, soil, animal nutrition, environment.

INTRODUCCIÓN

Costa Rica cuenta con un 33% de superficie dedicada a la actividad ganadera (Mendoza, 2014) y el 69% de las áreas de uso agropecuario se encuentran bajo pasturas (MAG, 2007). La situación actual y futura de la ganadería se basa en la presión de fuerzas de mercado, impulsadas por factores que inciden sobre la alimentación como lo son el efecto del cambio climático y el aumento de la demanda que impulsan el uso de tecnologías limpias que incluyen la implementación de nuevos recursos forrajeros, reducción de los gases de efecto invernadero, manejo de residuos sólidos y líquidos (MAG, 2018).

Los recursos forrajeros hacen referencia a las gramíneas y leguminosas forrajeras que son la base para la alimentación y el desarrollo sostenible de los actuales sistemas ganaderos (Lobo y Díaz, 2008) y el valor nutritivo de estos forrajes se halla determinado por los porcentajes de sustancias nutritivas como proteínas, vitaminas, minerales y carbohidratos, necesarios para la salud, el crecimiento y la productividad del ganado; sin embargo, la calidad y cantidad de estos nutrientes se ven influenciados por la fertilidad del suelo (Hernández-Valencia, 2017).

La fertilización química se ha intensificado en los últimos años y una de las mayores preocupaciones es la pobre eficiencia del uso de fertilizantes nitrogenados y los costos ambientales debido a las pérdidas de este elemento (Maguire et al., 2011). La acelerada acidificación de suelos es un fenómeno que se observa y se atribuye a un manejo inadecuado de este nutriente, ya que su uso es ineficiente por parte de las plantas y se estima que entre 14 a 80 kg de nitrógeno en forma de nitrato puede ser lixiviado por hectárea por año (Pérez, 2014).

Las aguas también se ven afectadas por la eutrofización (Kumaragamage y Akinremi, 2018) cuya turbidez dificulta la fotosíntesis y los procesos anaerobios en el fondo de los cauces, así como la generación de un ambiente reductor, provocado por la disminución de O₂ disuelto (Gómez-Garrido, 2014).

Además de las situaciones mencionadas anteriormente, los altos precios de los fertilizantes químicos, unido a la necesidad de conservar el medio ambiente, motivan a la implementación de sistemas bajos en insumos (Ramírez et al., 2015).

En la Estación Experimental Alfredo Volio Mata de la Universidad de Costa Rica, se ha venido utilizando por varios años la práctica de aplicar purines, que pueden incluir estiércol, aguas de lavado, agua de lluvia, restos de alimento balanceado y desechos de cama, entre otros, como una alternativa ecológica a la aplicación de fertilizantes químicos con el fin de proveer nutrientes a los forrajes que se producen para alimentación de los animales.

Es sabido que este tipo de abonos orgánicos se ha utilizado desde tiempos remotos, con la obtención de buenos resultados, lo que ha permitido la producción de alimentos en cantidades suficientes, ya que sus beneficios se asocian con el mejoramiento de las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo (Silva, Silva, Oliveira, Sousa, y Duda, 2006). Parte de los beneficios también incluye el aumentar la disponibilidad de nutrientes, favorecer un adecuado desarrollo radicular, incrementar la capacidad de retención de cationes, aumentar el contenido de microorganismos y de materia orgánica, entre otros (Gómez-Garrido, 2014).

El objetivo del presente estudio fue evaluar la calidad de los purines generados en la Estación Experimental Alfredo Volio Mata y determinar el efecto de su aplicación sobre el suelo y sobre el rendimiento productivo del pasto Taiwán (*Pennisetum purpureum* cv. Taiwán).

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 Ochoмого en la provincia de Cartago, con coordenadas; 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 2050 mm distribuida entre los meses de mayo a noviembre, la temperatura media es de 19,5 °C y una humedad relativa promedio de 84% (Elizondo-Salazar, 2017). El suelo está clasificado como TypicDistrandepts, de origen volcánico (Vásquez, 1982), caracterizado por tener una profundidad media con buen drenaje natural, una fertilidad media.

Análisis del suelo

Se tomaron muestras del suelo para realizar un análisis al inicio y final del experimento, que evaluó la caracterización químico-física y microbiológica, que incluyó un recuento de hongos y bacterias. Para el primero, se llevó a cabo un análisis químico completo de las muestras y se analizó el N total, así como la densidad aparente. Las muestras fueron enviadas al laboratorio del Centro de Investigaciones Agronómicas de la Universidad de Costa Rica.

Tratamientos y diseño experimental

Para el experimento se utilizó un área efectiva de 225 m² sembrada con pasto Taiwán con más de 5 años de establecido y cuyo manejo agronómico incluía la fertilización con urea a razón de 300 kg de N/ha/a durante la época lluviosa y la cosecha del forraje cada 60 días. El área se dividió en tres grandes bloques y cada bloque fue subdividido en tres parcelas que correspondieron a los diferentes tratamientos de fertilización nitrogenada a una dosis constante de 300 kg/ha/año distribuido en tres aplicaciones (100,0 kg de N cada una) que se realizaron 15 días después de cosechado el forraje.

Cada una de las nueve parcelas fue de 25 m² (5 x 5 m) y estuvieron separadas de la otra por un callejón de un metro y de dos metros entre los bloques. Los tratamientos utilizados fueron: 1) el testigo (0 kg de nitrógeno), 2) purines y 3) urea (46% de N). Los purines fueron extraídos de un tanque de recolección ubicado en la parte baja de la finca. Una muestra representativa de los purines se recolectó previo a la aplicación para ser enviada al Centro de Investigaciones Agronómicas de la Universidad de Costa Rica para el análisis químico y microbiológico, por medio del cual se llevó a cabo un recuento de fijadores de nitrógeno y coliformes fecales. Previo a la toma de la muestra, los purines se agitaron vigorosamente. Con base en los resultados químicos del laboratorio, se calculó la dosis de purines, de manera que siempre se mantuvo una dosis constante de 300 kg de N/ha/a.

Al inicio del experimento, el área total de pasto se uniformizó a 20 cm del suelo y a partir de dicha uniformización se programaron tres cortes consecutivos cada 60 días. Al cabo de cada periodo de rebrote, las parcelas fueron cosechadas a la misma altura del corte de uniformización. La producción de biomasa fresca de cada parcela se pesó en el campo y se extrajo una muestra aleatoria del 10% de plantas de cada parcela y se separaron en tallos y hojas para ser analizadas 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 (MS) y proteína cruda (PC) siguiendo los métodos aprobados por el AOAC (2000), fibra detergente neutro y fibra detergente ácido de acuerdo a Van Soest, Robertson, y Lewis (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. Las fuentes que resultaron estadísticamente diferentes se sometieron a la prueba de Tukey con un $\alpha \leq 0,05$.

Se empleó una estructura experimental de bloques completos al azar, utilizando el siguiente modelo matemático:

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

Donde:

Y_{ijk} = Producción en kg/ha/año

μ = Media general

α_i = Efecto del i-ésimo tratamiento

β_j = Efecto del j-ésimo bloque

γ_k = Efecto del k-ésimo muestreo

ε_{ijk} = Error experimental

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Caracterización de los purines

La caracterización de los purines, tomando en consideración la fracción química y microbiológica, se resume en el Cuadro 1, reportando al hierro como el mineral con contenido más alto y un pH cercano a la neutralidad.

El análisis químico realizado a los purines reporta valores bajos, lo que concuerda con lo expresado por Möller y Müller (2012), quienes indican que el aporte de los purines en términos de contenido de materia seca y nutrientes es bajo, pero la producción de altos volúmenes en las producciones agrícolas lo hacen una opción interesante. En otro estudio, Blanco-Redondo (2016) reportó que los purines contenían en promedio 0,60% de N total, 0,14% de P y 0,48% de K, hasta un 90% de agua y una baja relación C/N.

Según Marañón et al. (1998), existen varios factores que intervienen sobre la calidad de los purines, como lo son el tipo de ganado, la alimentación que se les ofrece, las condiciones ambientales, la duración y condiciones de almacenamiento.

Cuadro 1. Contenido químico y microbiológico de los purines en la Estación Experimental Alfredo Volio Mata. Ochomogo, Cartago.

Químico													
masa /masa (%)						mg /l				μ S/cm		g /ml	
N	P	Ca	Mg	K	S	Fe	Cu	Zn	Mn	CE	pH	Densidad	
0,04	0,01	0,01	0,01	0,04	0,01	36,69	0,83	4,62	2,74	3,40	6,81	1,00	
Microbiológico													
Coliformes fecales								>2400 NMP/100 ml					
Fijadores de nitrógeno								1,2 x 10 ⁷ UFC/ml					

NMP: Número más probable. UFC: Unidades formadoras de colonia

En el caso de los purines analizados, la baja concentración de nutrientes pudo deberse a factores de almacenamiento ya que, por tratarse de una fosa sin cobertura, el agua de lluvia aumenta el volumen, causando una disminución en la concentración.

El análisis de laboratorio también reporta un pH casi neutro, lo que guarda relación con lo mencionado por Domínguez y Faz (2009), quienes afirman que el pH de los purines en estado fresco tiende a ser neutro o básico debido a la hidrólisis del NH_4^+ , lo cual produce un efecto tampón.

El contenido de coliformes fecales en los purines se puede catalogar como bajo (>2.400 NMP/100 ml), ya que según Varnero, Muñoz, y Zúñiga (2009), los valores en general suelen encontrarse entre $1,6 \times 10^7$ y $2,3 \times 10^8$ NMP/100 ml. No se conoce con exactitud la razón por la que haya tanta diferencia entre los valores encontrados y los reportados en la literatura, pero puede que tenga que ver con el poco periodo de almacenamiento, pues los purines utilizados en este ensayo duraron muy pocos días en los tanques de almacenamiento antes de ser aplicados en las parcelas experimentales.

Análisis químico del suelo en cada tratamiento

Las variables edafológicas obtenidas al inicio y al finalizar el periodo experimental se muestran en el Cuadro 2 y reflejan las diferencias entre cada uno de los nutrimentos, según el tratamiento aplicado.

Cuadro 2. Características químicas y físicas del suelo al inicio y al finalizar el periodo experimental para cada tratamiento en parcelas con pasto Taiwán en la Estación Experimental Alfredo Volio Mata. Ochomogo, Cartago.

Variable	Valor inicial	Tratamiento		
		Control	Purines	Urea
pH	5,90	5,80	5,70	5,80
K, cmol(+)/l	0,54	0,36	0,41	0,41
Ca, cmol(+)/l	7,90	5,60	5,80	4,60
Acidez, cmol(+)/l	0,20	0,20	0,20	0,30
Mg, cmol(+)/l	2,70	1,50	1,70	1,30
P, mg/l	7,00	15,00	18,00	17,00
Fe, mg/l	103,00	187,00	175,00	192,00
Cu, mg/l	13,00	22,00	23,00	19,00
Zn, mg/l	4,10	3,90	4,10	3,00
Mn, mg/l	15,00	14,00	16,00	17,00
Sat acidez, %	1,00	3,00	2,00	5,00
M.O, %	4,77	5,00	4,90	5,00
C/N	9,50	9,60	9,20	9,40
Densidad aparente, g/cm ³	0,50	0,50	0,58	0,42

No se observaron cambios significativos ($P > 0,05$) en cuanto a las propiedades químicas del suelo al comparar los análisis realizados antes y después de la aplicación de los diferentes tratamientos. Esto se puede atribuir al poco tiempo que duró el ensayo, ya que los fertilizantes orgánicos liberan los nutrientes de manera lenta y en ocasiones no son suficientes para llenar los requerimientos para el crecimiento de las plantas en un corto tiempo (Mannaet al., 2005; Meng, Ding, y Cai, 2005).

El pH del suelo no tuvo variación en el tratamiento con purines, lo que es de esperar ya que, la aplicación de purines efectivamente puede elevar el pH en la capa superficial del suelo, debido al efecto tampón del bicarbonato y ácidos orgánicos presentes (Whalen, Chang, Clayton, y Carefoot, 2000; Sadeghpour, Ketterings, Vermeylen, Godwin, y Czymbek, 2016); sin

embargo, este efecto comienza a descender a partir del tercer día, alcanzando el mismo valor a los ocho días de adicionado los purines (Acea et al., 1990).

Se hubiera esperado una disminución en el pH del suelo donde se aplicó el fertilizante químico con respecto a los demás tratamientos, ya que muchos fertilizantes químicos contienen ácidos como el sulfúrico o clorhídrico, y estos tienden a aumentar la acidez, reduciendo la población de microorganismos benéficos e interfiriendo con el crecimiento de las plantas, mientras que los fertilizantes orgánicos promueven el crecimiento de bacterias fijadoras de nitrógeno (Baghdadi, Halim, Ghasemzadeh, Ramlan, y Sakimin, 2018).

Es importante recalcar que el tipo y composición del estiércol, características del clima y del suelo, las prácticas de aplicación (inyectado o esparcido, por ejemplo), incorporación subsecuente y la profundidad de la incorporación, juegan un papel preponderante en como las propiedades físicas y químicas del suelo se pueden ver afectadas (O'Brien y Hatfield, 2019).

En otro aspecto, se pudo evidenciar que las densidades aparentes no superaron los 0,58 g/cm³ (Cuadro 2), situación característica en suelos con propiedades ándicas, donde la densidad aparente no supera los 0,90 g/cm³, debido a la influencia de cenizas volcánicas (Chinchilla, Mata, y Alvarado, 2011).

Análisis microbiológico del suelo

Los contenidos de hongos y bacterias al inicio y al final del experimento se resumen en el Cuadro 3. Se dio un incremento significativo tanto en hongos como en bacterias a lo largo del experimento sin importar el tratamiento.

Los valores obtenidos para la concentración de hongos fueron inferiores a los obtenidos por Salas y Uribe (2008), quienes reportaron valores de $6,5 \times 10^8$ y los valores obtenidos para la concentración de bacterias fueron superiores a los reportados por los mismos autores, de $1,0 \times 10^4$ UFC/ml.

Cuadro 3. Contenido de hongos y bacterias en el suelo al inicio y al finalizar el periodo experimental para cada tratamiento en parcelas con pasto Taiwán (*Pennisetum purpureum*) en la Estación Experimental Alfredo Volio Mata. Ochomogo, Cartago.

Hongos		
Tratamiento	Muestra inicial, UFC/g	Muestra final, UFC/g
Control	5,2 x 10 ⁵	10,4 x 10 ⁵
Purines	5,2 x 10 ⁵	9,1 x 10 ⁵
Urea	5,2 x 10 ⁵	9,0 x 10 ⁵
Bacterias		
Tratamiento	Muestra inicial, UFC/g	Muestra final, UFC/g
Control	2,3 x 10 ⁶	273,2 x 10 ⁶
Purines	2,3 x 10 ⁶	89,6 x 10 ⁶
Urea	2,3 x 10 ⁶	188,3x 10 ⁶

Efecto sobre la producción y calidad nutricional del pasto Taiwán (*Pennisetum purpureum*).

Los indicadores bromatológicos, la producción de materia verde y seca (kg/ha) de la planta entera y de sus diferentes secciones se presentan en el Cuadro 4. Solamente se encontraron diferencias estadísticamente significativas ($P < 0,05$) para el porcentaje de PC.

Los valores de rendimiento de forraje verde como planta entera son inferiores a los obtenidos por Elizondo-Salazar (2017) en la misma especie, quien reporta rendimientos de 70,9 t/ha/corte; sin embargo, tal diferencia puede deberse al hecho de que en dicho estudio la cosecha se realizó a los 114 días de rebrote.

Los rendimientos que se pueden obtener en forrajes pueden ser variables ya que dependen mucho de las condiciones climáticas como temperatura, duración e intensidad de la luz, cantidad y distribución de lluvias y humedad; fertilización de suelos, manejo y dosis de fertilización utilizada (Crespo, Ramos, Suarez, Herrera, y Gonzalez, 1981).

Cuadro 4. Rendimiento y calidad nutricional en pasto Taiwán (*Pennisetum purpureum*) fertilizado con diferentes abonos en la Estación Experimental Alfredo Volio Mata. Ochoмого, Cartago.

Variable	Tratamiento			EEM
	Control	Purines	Urea	
Forraje verde, kg/ha/corte				
Hoja	274,60	299,53	296,40	
Tallo	9.762,07	12.835,00	8154,0	
Planta entera	10.037,00	13.135,00	9.112,00	2.200,0
Forraje seco, kg/ha/corte				
Hoja	52,63	55,70	53,90	
Tallo	1.278,99	1.408,24	964,36	
Planta entera	1.331,61	1.463,94	1.018,27	280,0
Materia seca, %				
Hoja	19,33	18,73	18,13	
Tallo	12,00	11,01	10,42	
Planta entera	12,30	11,28	10,67	1,2
Proteína cruda, %				
Hoja	9,31 b	9,59 b	12,42 a	
Tallo	5,67 b	6,12 ab	6,72 a	
Planta entera	5,92 b	6,31 ab	7,03 a	0,4
Proteína cruda, kg/ha/corte				
Hoja	4,89	5,40	6,68	
Tallo	74,14	88,85	63,71	
Planta entera	79,04	94,25	70,39	17,4
Cenizas, %				
Hoja	18,80	18,97	18,43	
Tallo	14,07	14,97	13,99	
Planta entera	14,36	15,16	14,24	0,5
Fibraácidodetergente, %				
Hoja	24,67	24,86	22,50	
Tallo	24,77	25,09	25,06	
Planta entera	24,79	25,09	24,91	3,9
Fibraneutrodetergente, %				
Hoja	46,64	46,20	33,11	
Tallo	49,13	42,44	38,54	
Planta entera	49,03	42,97	38,26	8,9
Lignina, %				
Hoja	1,35	1,36	1,46	
Tallo	1,79	1,58	1,59	
Planta entera	1,79	1,67	1,59	0,9

^{a,b} Diferente letra en una misma fila representa diferencias significativas (P < 0,05)

EEM: error estándar de la media.

Se esperaban mayores rendimientos del forraje con el tratamiento de urea, ya que los fertilizantes inorgánicos se solubilizan fácilmente en el suelo, por lo cual su efecto en la nutrición de las plantas es directo y rápido, mientras que los purines, al ser abonos orgánicos, liberan algunos nutrientes a una manera más lenta, ya que este proceso depende directamente de la actividad microbiana en el suelo y de algunos factores abióticos (Griffin, He, y Honeycutt, 2005). De la misma manera, hay que considerar que, con el tratamiento de purines, se está aplicando una cantidad importante de agua, que podría eventualmente favorecer el crecimiento del forraje.

La tasa de mineralización en los fertilizantes orgánicos establece la cantidad de N disponible para la planta en el curso de la época de crecimiento y varía considerablemente dependiendo de la composición del estiércol, el tratamiento al que haya estado sometido, condiciones de almacenamiento, manejo histórico de la pastura y el suelo, y el método de aplicación (Van Kessel y Reeves, 2002).

La aplicación de los tratamientos no tuvo efecto significativo ($P > 0,05$) sobre la concentración de MS o la producción de materia seca/ha/corte, comportamiento esperado ya que los tratamientos no afectaron el rendimiento del forraje. Se observó que la concentración de materia seca en la hoja fue mayor que la del tallo, sin importar el tratamiento utilizado y esto es razonable ya que, de acuerdo con los datos encontrados, la mayor cantidad de agua se encontraba en los tallos de las plantas.

La concentración de MS en la planta entera fue también inferior a la determinada por Elizondo-Salazar (2017), quien obtuvo valores de 16,2%, al aplicar 250 kg de N/ha y cosechar el forraje a 112 días de rebrote.

La concentración de materia seca en los forrajes es uno de los aspectos más importantes en la nutrición de rumiantes, ya que es donde se concentran los nutrientes. Sin embargo, la concentración de esta en los forrajes es altamente variable y depende de una serie de factores primarios como la especie, la parte de la planta, la edad de corte o rebrote, y de una serie de factores secundarios como el periodo del año, la fertilidad del suelo, el manejo y las condiciones climáticas a las cuales se hallan expuestos (Bernal, 1991). Así, por ejemplo, Rodríguez (2009) demostró que la concentración de materia seca aumenta al incrementarse la edad de cosecha, situación que puede deberse a que con la edad se aumenta el proceso fotosintético y con ello, la síntesis de carbohidratos estructurales, y es así como se da un aumento en la acumulación de materia seca, esto puede explicar el porqué de los valores superiores encontrados en la investigación de Elizondo-Salazar (2017).

En cuanto a la concentración de PC, se encontraron diferencias significativas ($P < 0,05$) entre los tratamientos. El contenido de PC incrementó principalmente en respuesta al fertilizante químico y estos resultados coinciden con el estudio de Zandvakili et al. (2012) en el que el N contribuye con la síntesis de aminoácidos y por lo tanto de proteína; es decir, a mayor disponibilidad de N para el forraje, mayor cantidad de proteína se puede sintetizar. La concentración de PC reportada en esta especie de forraje para cualquiera de los tres tratamientos es relativamente baja y es un poco menor a la reportada por Elizondo-Salazar (2017) de 9,4%.

Con respecto a las cenizas y los componentes de la pared celular, no se encontraron diferencias significativas ($P > 0,05$) entre tratamientos y los valores obtenidos en el presente experimento fueron superiores en calidad con respecto a aquellos reportado por Elizondo-Salazar (2017), situación debida principalmente a la diferencia en la edad de cosecha del forraje que fue de 112 días de rebrote. El autor reportó valores de 13,6; 45,8; 65,6 y 4,9% para la concentración de cenizas, fibra detergente ácido, fibra neutro detergente y lignina, respectivamente.

La no respuesta generalizada sobre las variables estudiadas pudo estar influenciada por muchos otros factores, como lo fue la corta duración del ensayo y además del tipo de fertilizante utilizado. Por ejemplo, es bien conocido que las condiciones climáticas y la cantidad de humedad afecta considerablemente el rendimiento y la composición nutricional de los forrajes (Bernard, West, Trammell, y Cross, 2004). El uso eficiente de los purines sobre la producción de forrajes depende de aplicar la dosis apropiada para llenar los requerimientos nutricionales del cultivo y mucho tiene que ver con la relación entre el N total y el N disponible para las plantas, con especial énfasis en la tasa de mineralización (Burger y Venterea, 2008).

Para finalizar, es necesario indicar que un importante número de investigaciones han determinado que cuando se aplica purines para satisfacer la demanda de N del cultivo, algunos parámetros productivos como el rendimiento, proteína y FND no han presentado respuestas significativas diferentes al utilizar fertilizantes sintéticos (Halvorson, Stewart, y Del Grosso, 2016; O'Brien y Hatfield, 2019), tal y como ocurrió en la presente investigación, y además, cuando se aplican purines a tasas que exceden los requerimientos del forraje, los impactos ambientales se intensifican sin agregar beneficios a la producción de forraje (Han, Walter, y Drinkwater, 2017).

CONSIDERACIONES FINALES

Se ha reportado que la aplicación de purines provee nutrientes esenciales para las plantas forrajeras lo que permite reducir la necesidad de fertilizantes sintéticos en el mediano y largo plazo. Además, su aplicación elimina el costo asociado a su transporte y prácticas alternativas de disposición. En la presente investigación, la aplicación de purines a razón de 300 kg de N/ha/año no tuvo efectos significativos sobre el suelo, el rendimiento o la calidad nutricional del pasto Taiwán (*Pennisetum purpureum* cv. Taiwán) cosechado a 60 días de rebrote, situación que pudo deberse principalmente a la corta duración del ensayo. Pese a los resultados obtenidos, no se debe menospreciar la utilización de purines ya que, una gran cantidad de estudios reportan que el uso de estos abonos promueve una serie de beneficios en la naturaleza física, química y biológica del suelo, lo que puede conducir a mayores rendimientos y calidad nutricional de los forrajes.

LITERATURA CITADA

- A.O.A.C. (Association of Official Analytical Chemistry). (2000). Official Methods of Analysis of the Association Analytical Chemistry. 17thed. AOAC International. WA, USA.
- Acea, M., Cabaneiro, A. Carballas, M., Gil, F., Leirós, M., López, E., Núñez, A., & Villar, M. (1990). El purín de vacuno en Galicia: Caracterización, poder fertilizante y problemas ambientales. Galicia, ES. Minerva. 162p.
- Baghdadi, A., Halim, R. A., Ghasemzadeh, A., Ramlan, M. F., & Sakimin, S. Z. (2018). Impact of organic and inorganic fertilizers on the yield and quality of silage corn intercropped with soybean. *Peer J*, 6, e5280. <https://doi.org/10.7717/peerj.5280>
- Bernal, J. (1991). Pastos y forrajes tropicales: producción y manejo. 2^{da} ed. Banco Ganadero, COL.
- Bernard, J.K., West, J.W., Trammell, D.S., & Cross, G.H. (2004). Influence of corn variety and cutting height on nutritive value of silage fed to lactating dairy cows. *Journal of Dairy Science*, 87, 2172-2176.
- Blanco-Redondo, L. (2016). Análisis y caracterización de purines para la obtención estruvita y biogás. Tesis. Bach. Valencia, ES, Universidad Politécnica de Valencia. 94p.
- Burger, M., & Venterea, R.T. (2008). Nitrogen immobilization and mineralization kinetics of cattle, hog, and turkey manure applied to soil. *Soil Science Society of America Journal*, 72, 1570-1579. doi:10.2136/sssaj2007.0118

- Chinchilla, M., Mata, R., & Alvarado, A. (2011). Andisoles, inceptisoles y entisoles de la subcuenca del Río Pirrís, Región de Los Santos, Talamanca, Costa Rica. *Agronomía Costarricense*, 35(1), 83-107.
- Crespo, G., Ramos, N., Suarez, J., Herrera, S., & Gonzalez, S. (1981). Producción y calidad de pasto. *Revista Cubana de Ciencias Agrícolas*, 15(2), 211-225.
- Domínguez, S., & Faz, A. (2009). Utilización sostenible de purines de cerdo, con y sin tratamiento, como enmienda orgánica en cultivos de almendro. *Revista Ciencia y Tecnología Agraria*, 5(3), 1-4.
- Elizondo-Salazar, J. A. (2017). Producción de biomasa y calidad nutricional de tres forrajes cosechados a dos alturas. *Agronomía Mesoamericana*, 28(2), 329-340.
- Goering, H.K., & Van Soest, P.J. (1970). Forage fiber analysis. USDA Agric. Res. Serv., Handb. no.379. USDA Superintendent Documents. U.S. Gov. Print. Office, Washington, DC.
- Gómez Garrido, M. (2014). Efectos ambientales de la valorización agronómica de purines de ganado porcino: Dinámica del Nitrógeno en el sistema suelo-agua-planta. Tesis Doc. Universidad Politécnica de Cartagena. Cartagena, COL. 120 p.
- Griffin, T.S., He, Z., & Honeycutt, C.W. (2005). Manure composition affects net transformation of nitrogen from dairy manures. *Plant Soil*, 273, 29-38. doi:10.1007/s11104-004-6473-5
- Halvorson, A.D., Stewart, C.E., & Del Grosso, S.J. (2016). Manure and inorganic nitrogen affect irrigated corn yields and soil properties. *Agronomy Journal*, 108, 519-531. doi:10.2134/agronj2015.0402
- Han, Z., Walter, M.T., & Drinkwater, L.E. (2017). N₂O emissions from grain cropping systems: A meta-analysis of the impacts of fertilizer-based and ecologically-based nutrient management strategies. *Nutrient Cycling Agroecosystems*, 107, 335-355. doi:10.1007/s10705-017-9836-z
- Hernández Valencia, R. (2017). Fracciones de forraje de trigos imberbes y su asociación con la temperatura de planta y el NDVI. Tesis Bach. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Cohauila, MX. 79 p.
- Kumaragamage, D., & Akinremi, O.O. (2018). Manure phosphorus: Mobility in soils and management strategies to minimize losses. *Current Pollution Reports*, 4, 162-174. doi:10.1007/s40726-018-0084-x
- Lobo, M., & Díaz, O. (2008). *Agrostología*. San José, CRC. EUNED. 176p.

- MAG (Ministerio de Agricultura y Ganadería). (2007). Plan estratégico para el desarrollo de la agro cadena de la ganadería bovina de carne en la Región Chorotega. Federación de Cámaras de Ganaderos de Guanacaste. San José, CRC. 72 p.
- MAG (Ministerio de Agricultura y Ganadería). (2018). Informe de Gestión período 2014-2018. San José, CRC. 72 p.
- Maguire, R.O., P.J.A. Kleinman, C.J. Dell, D.B. Beegle, R.C. Brandt, J.M. McGrath, & Q.M. Ketterings. (2011). Manure application technology in reduced tillage and forage systems: A review. *Journal of Environmental Quality*, 40, 292-301. doi:10.2134/jeq2009.0228
- Manna, M.C., Swarup, A., Wanjari, R.H., Ravankar, H.N., Mishra, B., Saha, M. N., Singh, Y. V., & Sarap, P. A. (2005). Long-term effect of fertilizer and manure application on soil organic carbon storage, soil quality and yield sustainability undersub-humid and semi-arid tropical India. *Field Crops Research*, 93(2), 264-280.
- Marañón, E., Sastre, H., Castrillón, L., González, J., Pertierra, J., & Berrueta, J. (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).
- Mendoza, I. (2014). Estudio técnico y financiero para el establecimiento y operación de un sistema de mercadeo de ganado bovino en pie dirigido a pequeños y medianos productores asociados a las Cámaras de Ganaderos de la Región Chorotega. Tesis Lic. Universidad de Costa Rica. San José, CRC. 121 p.
- Meng, L., Ding, W., & Cai, Z. (2005). Long-term application of organic manure and nitrogen fertilizer on N₂O emissions, soil quality and crop production in a sandy loamsoil. *Soil Biology and Biochemistry*, 37(11), 2037-2045.
- Möller, K., & Müller, T. (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.
- O'Brien, P.L., & Hatfield, J.L. (2019). Dairy manure and synthetic fertilizer: A meta-analysis of crop production and environmental quality. *Agrosystems, Geosciences & Environment*, 2, 1-12. doi:10.2134/age2019.04.0027
- Pérez, O. (2014). Eficiencia de uso de nitrógeno en pasturas de *Panicum maximum* y *Brachiaria sp.* solas y asociadas con *Pueraria phaseoloides* en la Altillanura Colombiana. Tesis. Msc. Universidad Nacional de Colombia. Bogotá, CO. 201 p.

- Ramírez, J., Fernández, Y., González, P., Salazar, X., Iglesias, J., & Olivera, Y. (2015). Influencia de la fertilización en las propiedades físico-químicas de un suelo dedicado producción de semilla de *Megathyrus maximus*. *Pastos y Forrajes*, 38(4), 1-9.
- Rodríguez, M. (2009). Rendimiento y Valor nutricional del pasto *Panicum maximun* CV Mombaza a diferentes edades y alturas de corte. Tesis B. Sc. Instituto Tecnológico de Costa Rica (TEC). Alajuela, CRC. 41p.
- Sadeghpour, A., Ketterings, Q., Vermeulen, F., Godwin, G., & Czymmek, K. (2016). Soil properties under nitrogen- vs. phosphorus-based manure and compost management of corn. *Soil Science Society of America Journal*, 80, 1272-1282 doi:10.2136/sssaj2016.03.0086
- Salas, R., & Uribe, L. (2008). Evaluación del efecto de adición de aguas verdes (purines) en algunas características químicas, físicas y microbiológicas del suelo en la Finca lechera Hacienda Terranova ubicada en Poasito. Alajuela. Alajuela, CR. 15 p.
- SAS Institute. (2011). *SAS/STAT 9.2 User's guide*. Version 9.2 ed. SAS Institute Inc. Cary, N.C., USA.
- Silva, P. S. L. e., Silva, J. da., Oliveira, F. H. T. de., Sousa, A. K. F. de., & Duda, G. P. (2006). Residual effect of cattle manure application on greenear yield and corn rain yield. *Horticultura Brasileira*, 24, 166-169. <https://doi.org/10.1590/S0102-05362006000200008>
- Van Kessel, J.S., & Reeves, J.B. (2002). Nitrogen mineralization potential of dairy manures and its relationship to composition. *Biology and Fertility of Soils*, 36, 118-123. doi:10.1007/s00374-002-0516-y
- Van Soest, P.J., Robertson, J.B., & Lewis, B.A. (1991). Methods for dietary fiber, neutral detergent fiber, and nonstarch polysaccharides in relation to animal nutrition. *Journal of Dairy Science*, 74, 3583-3597. doi:10.3168/jds.S0022-0302(91)78551-2
- Varnero, M., Muñoz, S., & Zúñiga, R. (2009). Valorización agrícola de purines porcinos procesados con aserrín de pino. *Revista Información Tecnológica*, 20(6), 85-92.
- Vásquez, A. (1982). Estudio detallado de los suelos de la Estación Experimental de Ganado Lechero El Alto. Tesis de Lic. Universidad de Costa Rica, San José, CRC.
- Whalen, J.K., Chang, C., Clayton, G.W., & Carefoot, J.P. (2000). Cattle manure amendments can increase the pH of acid soils. *Soil Science Society of America Journal*, 64, 962-966. doi:10.2136/sssaj2000.643962x

Zandvakili, O. R., Allahdadi, I., Mazaheri, D., Akbari, G. A., Jahanzad, E., & Mirshekari, M. (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.