

EFECTO DE FERTILIZANTE ORGÁNICO, INORGÁNICO Y SU COMBINACIÓN EN LA PRODUCCIÓN DE ALFALFA Y PROPIEDADES QUÍMICAS DEL SUELO

Effect of Organic, Inorganic and a Combination of Fertilizers on Alfalfa Production and Soil Chemistry Properties

José de Jesús Flores-Aguilar¹, Reyes Vázquez-Rosales¹, Jaime Jesús Solano-Vergara^{2‡}, Virginio Aguirre-Flores¹, Fernando Iván Flores-Pérez¹, María Eugenia Bahena-Galindo³, Rogelio Oliver-Guadarrama³, Andrea Elizabeth Granjeno-Colín³ y Agustín Orihuela-Trujillo¹

RESUMEN

El objetivo del presente experimento fue determinar la producción de forraje de alfalfa y propiedades químicas del suelo como respuesta a la aplicación de fertilizante orgánico (28 Mg ha⁻¹ de estiércol ovino), inorgánico (0.434 Mg ha⁻¹ de superfosfato triple: Ca(H₂PO₄)₂) y su combinación (14 Mg ha⁻¹ de estiércol ovino y 0.217 Mg ha⁻¹ de superfosfato triple), usando la dosis de 200 kg ha⁻¹ de fósforo al año. La aplicación del fertilizante se realizó trimestralmente, por lo que la dosis se fraccionó en cuatro partes durante el año. Se utilizó un diseño experimental de bloques al azar con cinco repeticiones y cuatro tratamientos: T₁ = sin aplicación de fertilizante (testigo); T₂ = fertilizante orgánico; T₃ = fertilizante inorgánico y T₄ = fertilizante combinado. La producción promedio anual de materia seca fue significativamente diferente ($P \leq 0.05$) entre los tratamientos, testigo 19.9±0.062 Mg ha⁻¹, fertilizante orgánico 28.8±0.090 Mg ha⁻¹, fertilizante inorgánico 29.2±0.095 Mg ha⁻¹ y el fertilizante combinado 32.7±0.108 Mg ha⁻¹. La producción promedio de forraje en los cuatro trimestres del año fue mayor ($P \leq 0.05$) en las parcelas con fertilizante orgánico, inorgánico y combinado que en el testigo. La eficiencia en la utilización del fósforo fue de 23.1% para el fertilizante orgánico, 37% el inorgánico y 64% para el combinado. La relación

de los kilogramos de materia seca producidos por kilogramo de fósforo aplicado fue de 144% para el fertilizante orgánico, 146% para el inorgánico y 163% para el combinado. El pH y el P se incrementaron en 1.1 unidades (de 5.6 a 6.7) y 28 mg L⁻¹ (de 70 a 98) para el fertilizante orgánico y en 0.8 unidades (de 5.6 a 6.4) y 20 mg L⁻¹ (de 70 a 90) para el fertilizante combinado. Se concluye que la aplicación combinada de los fertilizantes, favoreció una mayor producción de forraje de alfalfa y una mejora en las propiedades químicas del suelo en un año de experimentación.

Palabras clave: fósforo, estiércol ovino, superfosfato triple.

SUMMARY

The purpose of the present study was to determine the response of alfalfa forage production and soil chemical properties to organic (28 Mg ha⁻¹ of sheep manure), inorganic (0.434 Mg ha⁻¹ of triple superphosphate; Ca(H₂PO₄)₂) and combined (14 Mg ha⁻¹ of sheep manure and 0.217 Mg ha⁻¹ of triple superphosphate) fertilization, in doses of 200 kg ha⁻¹ of phosphorus per year. Fertilization was fractioned into four quarterly applications in a randomized block design, involving five replications and four treatments: T1 = no fertilization was applied (control); T2 = organic fertilization; T3 = inorganic fertilization and T4 = combined fertilization. Annual dry matter production (Mg ha⁻¹) was different ($P \leq 0.05$) among treatments, averaging: 19.9±0.062 for control, 28.8±0.090 for organic fertilization, 29.2±0.095 for inorganic fertilization and 32.7±0.108 for combined fertilization. Mean forage production during the four quarters was higher ($P \leq 0.05$) with organic, inorganic and combined fertilization than with the control. The efficiency of phosphorus utilization was 23.1% for organic fertilizer,

¹ Facultad de Ciencias Agropecuarias, ³ Laboratorio de Edafoclimatología, Dpto. de Biología Vegetal del Centro de Investigaciones Biológicas, Universidad Autónoma del Estado de Morelos. Av. Universidad 1001, Col. Chamilpa. 62209 Cuernavaca, Morelos, México.

² Centro de Bachillerato Tecnológico Agropecuario 154 de Huitzilac, Morelos. Prolongación Benito Juárez s/n Col. Centro. Huitzilac. 62510 Morelos, México.

[‡] Autor responsable (jsolano_ver@hotmail.com)

37% inorganic and 64% for the combined. The ratio of dry matter produced per kilogram of phosphorus applied was 144% with the organic fertilizer, 146% with inorganic and 163% with combined fertilization. The P and pH increased by 1.1 units (from 5.6 to 6.7) and 28 mg L⁻¹ (70 to 98) for the organic fertilizer and 0.8 units (5.6 to 6.4) and 20 mg L⁻¹ (for 70 to 90) for the combined fertilizer. It is concluded that the combined application of fertilizers favored increased alfalfa forage production and improved soil chemical properties throughout the year.

Index words: *phosphorous, sheep manure, triple superphosphate.*

INTRODUCCIÓN

La alfalfa es uno de los cultivos forrajeros más importantes del mundo para la alimentación de los animales (García 2002; Martin *et al.*, 2006), tiene una producción anual de 30 Mg ha⁻¹ de materia seca (García, 2002; Martin *et al.*, 2006; Centeno, 2011) y digestibilidad entre 75 y 80% (Lestingi *et al.*, 2009).

La fertilización inorgánica que recibe la alfalfa tiene efecto a corto plazo, debido probablemente a que se realiza una sola aplicación al momento de establecerse el cultivo (Violic, 2001; Cueto *et al.*, 2003; Ciria *et al.*, 2011).

La mayor respuesta productiva en la alfalfa se obtiene con el uso del fósforo (Díaz, 2000; Quiñonez *et al.*, 2003), empleando principalmente superfosfato simple o triple a razón de 100 a 200 Kg ha⁻¹ de P por año (Sikora y Enkiri, 2003; Sikora y Enkiri, 2005; Berardo *et al.*, 2007), siendo estos fertilizantes las fuentes más solubles y de fácil asimilación para las plantas (Marchegiani y Satorre, 1981; Cabalceta, 1999), aunque tienen efectos negativos al incrementar la degradación de los suelos, impacta en los procesos de transformación química, física y biológica. Además, contaminan por un uso inapropiado (Matson *et al.*, 1997; Basso y Ritchie, 2005; Lestingi *et al.*, 2009) y representan un costo anual de \$1600.00 ha⁻¹ (Gerencia Regional de Agricultura, 2010), lo cual afecta la economía de los ganaderos.

El uso de fertilizantes orgánicos está tomando mayor importancia en los programas de fertilización de la alfalfa (Jokela, 1992; James *et al.*, 1996; Miller y Donahue, 1995; Martin *et al.*, 2006), entre otras razones, por ser económicos (Powell *et al.*, 2004).

La aplicación anual de 156 y 120 Mg ha⁻¹ de composta y estiércol de bovino en una sola ocasión en

alfalfares, producen niveles de 115 y 99 kg ha⁻¹ de PO₄ en el suelo respectivamente (Martin *et al.*, 2006).

Las compostas generadas a partir de basura orgánica municipales, bagazos y cascarillas de cultivos aplicadas a parcelas cultivadas con alfalfa, propician producciones similares que cuando se aplica fertilizante inorgánico (Herencia *et al.*, 2007; Lestingi *et al.*, 2009), abatiendo los costos (Lestingi *et al.*, 2009) y beneficiando al suelo y plantas (Montemurro *et al.*, 2004). También, los estiércoles tanto de rumiantes como de porcinos que son generados en corrales a un bajo costo, son utilizados preferentemente secos para fertilizar los potreros y praderas mejoradas (Giasson *et al.*, 2003; Lloveras *et al.*, 2004).

Los fertilizantes orgánicos suministran entre 2 y 4 g kg⁻¹ de fósforo (Eghball, 2002), cantidades adecuadas para el principal mineral que requiere la alfalfa (Gaskell *et al.*, 2006), sin embargo, su efecto es gradual en la producción y con larga duración en el suelo (Ciria *et al.*, 2011).

La alfalfa regularmente se fertiliza con alguna fuente orgánica o inorgánica, pero no ambas a la vez y con una sola aplicación a la siembra (Moreno y Talbot, 2006; Duarte, 2007; Infoagro, 2011).

El objetivo del presente experimento fue evaluar el efecto de fertilizante orgánico, inorgánico y combinado en la producción de forraje de alfalfa y en las propiedades químicas del suelo en un año.

MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se realizó en el campo experimental de la Facultad de Ciencias Agropecuarias de la Universidad Autónoma del Estado de Morelos en Cuernavaca, situado a 18° 56' N y 99° 13' O.

Características Climáticas y Edáficas

El clima es (A)Cw2(w)ig semicálido subhúmedo (subtropical) con lluvias en verano y con una precipitación anual de 1526 mm en 2009 y 1378.6 mm de enero a agosto de 2010. La temperatura promedio anual fue de 17.3 °C en 2009 y 17.7 °C de enero a agosto de 2010, se encuentra a una altitud de 1900 m (García, 1981).

El suelo es de tipo Andosol con alta capacidad de retención de agua y nutrientes, textura franco arenoso (arena 10%, limo 30% y arcilla 60%), con un alto contenido (10 a 13%) de compuestos de ordenación de

corto alcance (Parfitt y Clayden, 1991), dando origen a materiales amorfos (alófanicos), de color pardo, con 0.8 g cm^{-3} de densidad aparente y 70% de porosidad (INEGI, 2001).

Conducción del Experimento

La pradera se estableció con alfalfa (*Medicago sativa*) variedad Cuf 101 a razón de 35 kg ha^{-1} de semilla, previo barbecho y rastreo del terreno. La siembra se realizó en enero del 2009 al voleo, tapando la semilla con rastrillo. La pradera se fertilizó al inicio del experimento.

Los riegos se aplicaron con aspersores cubriendo 10 m de diámetro dos veces por semana, con una duración de 6 h para mantener húmedo los primeros 20 cm de profundidad del suelo y se suspendieron durante la temporada de lluvia.

La dosis de fertilización empleada fue 00-200-00, utilizando como fertilizante inorgánico el superfosfato triple (46% P) y como fertilizante orgánico estiércol ovino, el cual presentó 0.45% de nitrógeno total, 0.71% de fósforo, 3% de potasio, 0.2% de magnesio, 2.7 g cm^{-3} de zinc, 3.6 g cm^{-3} de boro, 0.72 g cm^{-3} de densidad aparente, 2.70 g cm^{-3} de densidad real, 74% de porosidad, un pH de 8.2 y 13.80% de materia orgánica. El estiércol empleado fue colectado y secado a la sombra un mes antes de iniciar el experimento.

La dosis de fertilización se fraccionó en cuatro para aplicar 50 kg ha^{-1} de P cada tres meses durante un año (mayo, agosto, noviembre y febrero). La fertilización de cada tratamiento se realizó al voleo después del corte de las plantas y antes del riego.

Las cantidades aplicadas trimestralmente fueron fijadas con base en el contenido de P (0.71%) del estiércol y del del superfosfato triple (46%). Por lo tanto, por trimestre se empleó 7.0 Mg ha^{-1} de fertilizante orgánico, 0.108 Mg ha^{-1} de fertilizante inorgánico y del combinado 3.5 Mg ha^{-1} de estiércol ovino y 0.054 Mg ha^{-1} de superfosfato triple. El total de fertilizante empleado en el año fue de 28.0 Mg ha^{-1} de fertilizante orgánico, 0.434 Mg ha^{-1} de fertilizante inorgánico y del combinado 14.0 Mg ha^{-1} de estiércol ovino y 0.217 Mg ha^{-1} de superfosfato triple.

Diseño Experimental

Se estableció un diseño experimental de bloques al azar con cuatro tratamientos y cinco repeticiones en una

superficie de 2000 m^2 , cada unidad experimental constó de 100 m^2 .

Los tratamientos considerados fueron: T_1 = sin aplicación de fertilizante (testigo); T_2 = fertilizante orgánico; T_3 = fertilizante inorgánico y T_4 = fertilizante combinado, 50% de T_2 y 50% de T_3 .

Variables Evaluadas

La producción de forraje se calculó a partir de muestras obtenidas con un cuadrante de alambón de $50 \text{ cm} \times 50 \text{ cm}$, se obtuvieron dos muestras por parcela, las cuales se pesaron en fresco y secaron en una estufa con aire forzado a una temperatura de $55 \text{ }^\circ\text{C}$ durante 48 h.

El primer día del mes de mayo se realizó un corte de alfalfa al ras del suelo y se fertilizaron las parcelas acorde con cada tratamiento. El último día de mayo se cortó el forraje para iniciar así, los cortes mensuales de la alfalfa a una severidad de 5 cm, de esta manera se calculó la producción (Mg ha^{-1} de materia seca) trimestral y anual.

La eficiencia de utilización del fósforo (EUP) se determinó a partir de los datos de producción de forraje de alfalfa, mediante la fórmula de Spiller y Martín (2007):

$$\text{EUP (\%)} = \frac{\text{Rdto. en la parcela con P} - \text{Rdto. en la parcela sin P}}{\text{Dosis de fósforo aplicado}}$$

La eficiencia del nutriente (EN) en porcentaje, se determinó considerando la relación de los kilogramos de materia seca producidos por kilogramo de P aplicado.

Para los análisis de suelo se realizó un muestreo de cada parcela (repetición) a 25 cm de profundidad antes de la fertilización (abril), a la mitad (octubre) y al final (abril) del experimento. Se determinó contenido de materia orgánica (MO) (Walkley y Black), nitrógeno total (N) (Kjeldahl), fósforo (P) (Olsen) y pH (agua relación 2:1). Todos los métodos son descritos en la Norma Oficial Mexicana NOM 021-RECNAT-2000 (SEMARNAT, 2000).

Para el análisis estadístico de los datos se empleó un ANDEVA y la prueba de Tukey ($P \leq 0.05$).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La producción promedio anual de forraje (Mg ha^{-1} de materia seca) de alfalfa fue significativamente diferente ($P \leq 0.05$) entre los tratamientos en

la parcela donde no se aplicó fertilizante (testigo) se obtuvieron $19.9 \pm 0.062 \text{ Mg ha}^{-1}$, con fertilizante orgánico $28.8 \pm 0.090 \text{ Mg ha}^{-1}$, con fertilizante inorgánico $29.2 \pm 0.095 \text{ Mg ha}^{-1}$ y con fertilizante combinado $32.7 \pm 0.108 \text{ Mg ha}^{-1}$.

En un estudio realizado por Lloveras *et al.* (2004), cuando se fertilizó la alfalfa con estiércol de porcino al inicio del cultivo con 50 Mg ha^{-1} , se obtuvo una producción anual de 15.9 Mg ha^{-1} de materia seca y con fertilizante inorgánico, usando superfosfato triple, a una dosis de 125 kg ha^{-1} de P se obtuvo 15.1 Mg ha^{-1} de materia seca, dichas producciones fueron inferiores a las encontradas en el presente experimento utilizando estiércol ovino a razón de 28.1 Mg ha^{-1} y el superfosfato triple a una dosis de 200 kg ha^{-1} de P, ambos empleados de manera fraccionada en 4 aplicaciones al año.

Según Quiñonez *et al.* (2003), cuando la alfalfa se fertilizó con superfosfato triple al inicio del cultivo a razón de 326 kg ha^{-1} de P, la producción anual obtenida fue de 20 Mg ha^{-1} de materia seca, siendo inferior a las 29.2 Mg ha^{-1} de materia seca del presente experimento fertilizando sólo con 200 kg ha^{-1} de P, en 4 aplicaciones fraccionadas. Asimismo, Machado y Dávila (1997) encontraron una diferencia de 47% en producción a favor del estiércol en comparación al fertilizante inorgánico aplicados ambos al inicio del cultivo de la alfalfa.

En el presente experimento, se encontró una diferencia de 39, 10.7 y 10.3% en producción anual a favor del fertilizante combinado en comparación al testigo, fertilizante orgánico y fertilizante inorgánico, lo cual pudo deberse a que es más eficiente el aprovechamiento de los dos tipos de fertilizantes aplicados a la vez, que cuando se aplican de manera individual.

El comportamiento productivo trimestral, presentó valores mayores ($P \leq 0.05$) en las cuatro aplicaciones a favor del fertilizante orgánico, inorgánico y combinado en comparación al testigo (Figura 1).

Las diferencias en la producción de forraje entre los 4 trimestres (Figura 1), pudo deberse al efecto de las condiciones climáticas, destacando principalmente los cambios en temperatura a través del año, que han sido estudiadas ampliamente (Méndez *et al.*, 2008; Echeverri y Restrepo, 2009), sobre todo las temperaturas mínimas que oscilaron entre 12 y 13 °C cuando se aplicó la tercera fertilización, abarcando parte del otoño y del invierno. Respecto a los requerimientos de humedad para la alfalfa, estos no fueron condicionantes en

la producción, ya que fueron cubiertos con riego en la época seca.

El efecto de la primera fertilización, mostró en todos los tratamientos una tendencia mayor en la producción (Mg ha^{-1} de materia seca) en el primer trimestre al compararla con la segunda, tercera y cuarta fertilización, con un promedio de $2.1 \pm 0.180 \text{ Mg ha}^{-1}$ en las parcelas testigo, 2.9 ± 0.430 con fertilizante orgánico, 2.9 ± 0.276 con fertilizante inorgánico y 3.3 ± 0.377 con fertilizante combinado respectivamente.

La aplicación del fertilizante inorgánico, en la segunda y cuarta aplicación generó una mayor producción en comparación con la producción con fertilizante orgánico. Sin embargo, esto implica un costo superior de \$800.00, este comportamiento se debió a que el fertilizante inorgánico tiene un efecto inmediato. En cambio, el fertilizante combinado mostró una tendencia mayor en la producción que los demás tratamientos, lo cual se vio reflejado en el promedio trimestral después de las aplicaciones fraccionadas, lo que coincide con lo encontrado por Hernández *et al.* (2006) y Aguirre *et al.* (2007) empleando enmiendas orgánicas que tienen efecto en la disponibilidad de P después de 90 días de su aplicación.

Debido a que en el presente experimento se realizaron cuatro aplicaciones de los fertilizantes, se logró incorporar el fósforo a lo largo del ciclo (Vázquez *et al.*, 2010), contrariamente a lo que sucede cuando se aplican en sólo un momento al inicio del cultivo (Figuroa *et al.*, 2010), donde la absorción del fósforo no se realiza al inicio del crecimiento de las plantas porque no está disponible aún y tampoco al final del ciclo, debido a que no se aprovecha porque está fijado en el suelo (Cabalceta, 1999). El fósforo no se pierde por lixiviación o volatilización como el nitrógeno (Watson y Atkinson, 1999; Robinson *et al.*, 2009). Los fertilizantes inorgánicos se adquieren a un costo cada vez más elevado, por lo que su inclusión en praderas de alfalfa debe ser controlada.

En el mes de marzo se registró una producción de 2.6 y 3.3 Mg ha^{-1} de materia seca de alfalfa con fertilizante orgánico y fertilizante combinado, siendo inferiores a la de Vázquez *et al.* (2010), que fue de 4 Mg ha^{-1} de materia seca aplicando 120 Mg ha^{-1} de estiércol ovino al inicio del cultivo, lo cual representa una cantidad superior de 4.2 veces más de estiércol que el que se aplicó en el presente experimento. Crespo (1984), encontró que aplicaciones extremadamente

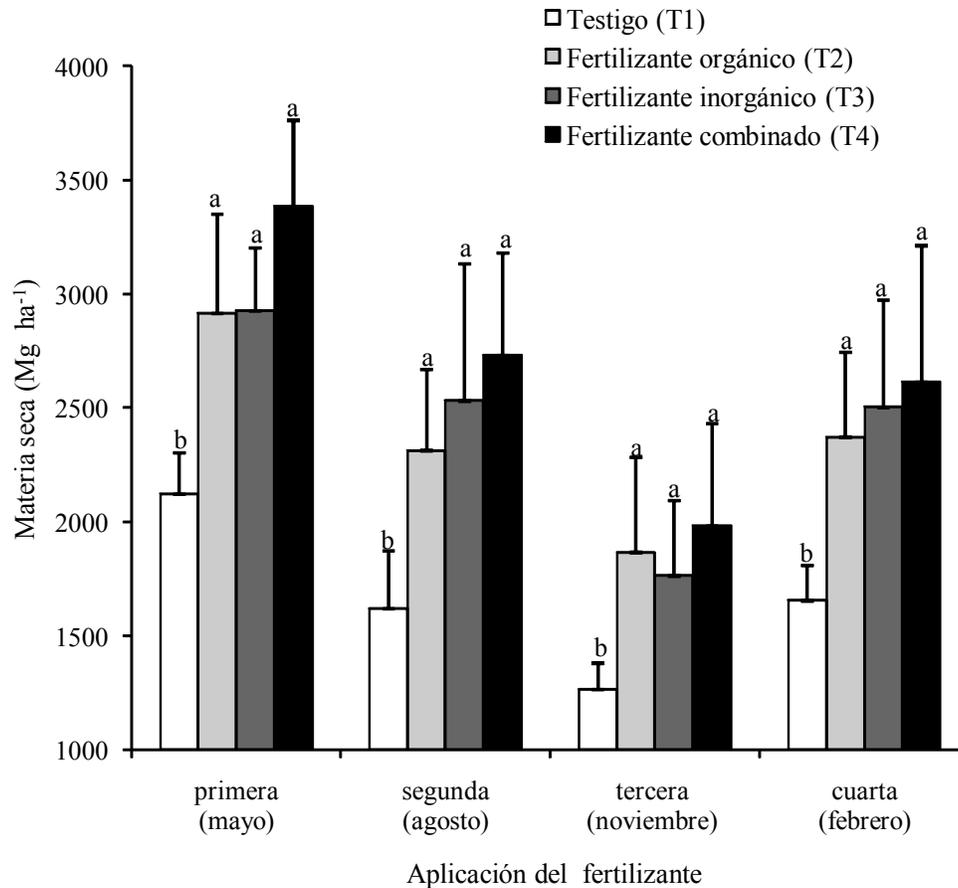


Figura 1. Producción promedio (\pm) trimestral de alfalfa con cuatro aplicaciones de fertilizante en el año. T₁ = control (sin fertilizante); T₂ = estiércol ovino (7 Mg ha⁻¹); T₃ = superfosfato simple (0.108 Mg ha⁻¹) y T₄ = 50% de T₂ y 50% de T₃ (3.5 y 0.054 Mg ha⁻¹). Letras diferentes indican diferencia significativa entre tratamientos ($P \leq 0.05$)

elevadas de estiércol pueden dañar el crecimiento vegetativo. En el presente experimento se evitó este problema, determinando la dosis con base en el contenido de P para ajustarla con la fórmula de fertilización 00-200-00.

López *et al.* (2001), determinaron que el emplear abonos orgánicos en dosis entre 20 y 30 Mg ha⁻¹ al año, favorecen una mayor producción de grano de maíz, lo cual se asemeja a la cantidad empleada en el presente experimento con 28.1 Mg ha⁻¹ de estiércol ovino, calculada dicha dosis con base en el contenido de fósforo y de la dosis óptima para la alfalfa (200 kg ha⁻¹ de P).

En el presente experimento la eficiencia de utilización del fósforo (EUP) y la eficiencia del nutriente (EN) fueron significativamente menores ($P \leq 0.05$) donde se fertilizó con orgánico (44.5 y 144%) y con fertilizante inorgánico (46.5 y 146%) en comparación con el fertilizante combinado (64 y 163.5%).

En otro experimento (Berardo y Marino, 2000) cuando la alfalfa se fertilizó con superfosfato triple al inicio del cultivo con 200 kg ha⁻¹ de P, se registró una producción de 11.2 Mg ha⁻¹, encontrándose una EUP de 30.73%, la cual fue menor en un 15.77% a la determinada en el presente experimento aplicando el mismo fertilizante inorgánico pero en cuatro fechas de aplicación. La EN que registraron Berardo (1998), García *et al.* (1999) y Berardo y Marino (2000) fueron entre 29.6 y 40.5%, siendo inferiores al 42% del fertilizante orgánico, 44% del fertilizante inorgánico y 61.5% del fertilizante combinado.

Los análisis de las propiedades químicas del suelo (Cuadro 1) muestran que en el tratamiento testigo, donde no se aplicó ningún tipo de fertilizante, los niveles de MO, N y P disminuyeron ($P \leq 0.05$) a través del año, mientras que el pH permaneció ácido sin modificación ($P \leq 0.05$). En cambio, con el fertilizante orgánico y

Cuadro 1. Propiedades químicas del suelo durante un año de experimentación donde se estableció el cultivo de la alfalfa con diferentes fuentes de fertilización.

Propiedades químicas	Testigo (T1)	Fertilizante orgánico (T2)	Fertilizante inorgánico (T3)	Fertilizante combinado (T4)
Abril [†]				
Materia orgánica (%)	2.25 ± 0.07 a	2.25 ± 0.07 c	2.25 ± 0.07 a	2.25 ± 0.07 c
Nitrógeno (%)	0.17 ± 0.02 a	0.17 ± 0.02 c	0.17 ± 0.02 a	0.17 ± 0.02 b
Fósforo (mg kg ⁻¹)	70 ± 4.11 a	70 ± 4.11 a	70 ± 4.11 c	70 ± 4.11 c
pH	5.6 ± 0.30 a	5.6 ± 0.30 b	5.6 ± 0.30 a	5.6 ± 0.30 b
Octubre [‡]				
Materia orgánica (%)	2.15 ± 0.06 b	3.47 ± 0.42 b	2.30 ± 0.20 a	3.20 ± 0.23 b
Nitrógeno (%)	0.01 ± 0.01 b	0.58 ± 0.18 b	0.15 ± 0.02 a	0.20 ± 0.03 b
Fósforo (mg kg ⁻¹)	60 ± 10.32 b	90 ± 8.04 a	80 ± 7.38 b	85 ± 7.52 b
pH	5.70 ± 0.48 a	6.30 ± 0.72 ab	5.30 ± 0.68 a	6.20 ± 0.48 a
Abril [§]				
Materia orgánica (%)	1.74 ± 0.07 c	6.34 ± 0.51 a	2.25 ± 0.27 a	5.87 ± 0.66 a
Nitrógeno (%)	0.01 ± 0.01 b	1.46 ± 0.18 a	0.17 ± 0.03 a	0.88 ± 0.08 a
Fósforo (mg kg ⁻¹)	40 ± 8.03 c	98 ± 12.15 a	85 ± 6.12 a	90 ± 5.92 a
pH	5.6 ± 0.18 a	6.7 ± 0.19 a	5.4 ± 0.21 a	6.4 ± 0.27 a

[†] Análisis antes de iniciar el experimento; [‡] a los 6 meses de transcurrido el experimento; [§] al final del experimento. T₁ = control (sin fertilizante); T₂ = estiércol ovino (28 Mg ha⁻¹); T₃ = superfosfato simple (0.434 Mg ha⁻¹) y T₄ = 50% de T₂ y 50% de T₃ (14 y 0.217 Mg ha⁻¹). Letras diferentes entre columnas indican diferencia significativa ($P \leq 0.05$).

fertilizante combinado, se presentaron incrementos ($P \leq 0.05$) en la MO, N, P y pH al final del año, en tanto, con el fertilizante inorgánico la MO, N y pH permanecieron sin variación ($P \geq 0.05$) y sólo el P se incrementó ($P \leq 0.05$) al final del año. El nivel de P se incrementó en 28 mg L⁻¹ para el fertilizante orgánico y 20 mg L⁻¹ para el fertilizante combinado en el año.

En un experimento realizado por Salazar *et al.* (2010), la aplicación de 160 Mg ha⁻¹ de estiércol bovino al principio del año, mejoró el contenido de MO de 2 a 3 % en comparación a cuando no se fertilizó o se empleó fertilizante inorgánico. En otro trabajo, cuando se aplicaron compostas, estas mejoraron el contenido de MO del suelo (Hernández *et al.*, 2006).

De acuerdo con Jiménez *et al.* (2004), la fertilización con estiércol de bovino incrementó el contenido de P de 5 a 10 veces y el pH bajo a 6.14 cuando se empleó 60 Mg ha⁻¹ al año. Además, se mantuvieron los niveles de P al menos por 90 días (Aguirre *et al.*, 2007).

Cuando se eleva el pH de ácido a neutro o ligeramente alcalino se logra una mayor tasa de mineralización del P, lo cual permite una mayor solubilidad y aprovechamiento de este nutriente (Crespo, 1984; Cabalceta, 1999). En el presente experimento, esta acción se logró al incrementar el pH 0.8 unidades con el fertilizante orgánico y 1.1 unidades con el fertilizante combinado. En el caso concreto de la alfalfa, esta

requiere un pH entre 6.2 y 7.8 para producir eficientemente (Durán *et al.*, 2006).

Aunque la producción de forraje del testigo fue significativamente menor ($P \leq 0.05$) que la del resto de los tratamientos, la alfalfa tendió a presentar una producción sostenida a través del año, debido a que el nivel de P que se encontró al inicio del experimento fue de 70 mg L⁻¹ y al final se registraron solo 40 mg L⁻¹, niveles por arriba de los 20 mg L⁻¹ que requiere la alfalfa para mantener una buena producción (Bustillo, 2011). El contenido de P en el suelo del presente experimento presentó valores considerados altos, ya que estuvieron por arriba de 40 mg L⁻¹ (Crespo, 2004).

CONCLUSIONES

- La combinación del estiércol ovino y del superfosfato triple como abono para la alfalfa favoreció una mayor producción de forraje a través del año, comparada con fertilizante orgánico e inorgánico.
- La aplicación de los fertilizantes en cuatro fechas distribuidas en el año, resultó una práctica adecuada para evitar que la producción se reduzca bruscamente en ciertas épocas del año.
- La utilización del estiércol sólo o combinado con el superfosfato triple, favoreció un incremento de P en suelo, así como su disponibilidad al incrementarse el pH

de ácido a neutro, necesario para que la alfalfa incremente su producción.

- Esta tecnología podría convertirse en una práctica de manejo agronómico, económicamente viable y sustentable para los sistemas de producción de forraje.

LITERATURA CITADA

- Aguirre, M. E., S. G. Bussetti y R. M. Santa María. 2007. Fósforo hidrosoluble y disponible en el suelo por el agregado de cáscara de girasol. *Rev. Inv. Fac. Cienc. Agr.* 11: 1-6.
- Basso, B. and J. T. Ritchie. 2005. Impact of compost, manure and inorganic fertilizer on nitrate leaching and yield for a 6-year maize-alfalfa rotation in Michigan. *Agric. Ecosyst. Environ.* 108: 329-341.
- Berardo, A. 1998. Fertilización de pasturas. 5° seminario de Actualización Técnica. CPIA-SRA. Buenos Aires, Argentina.
- Berardo, A. y M. A. Marino. 2000. Fertilización fosfatada de pasturas en el sudeste bonaerense. 1. Residualidad del P aplicado y efecto de las refertilizaciones anuales. *Rev. Argent. Produc. Anim.* 20: 103-111.
- Berardo, A., M. A. Marino y S. Erht. 2007. Producción de forraje de alfalfa con aplicación de fósforo superficial y profunda. *RIA* 36: 97-114.
- Bustillo, E. 2011. Como actúa el fósforo. www.pasturasyforrajes.com. (Consulta: junio 5, 2011).
- Cabalceta, G. 1999. Fertilización y nutrición de forrajes de altura. XI Congreso Nacional Agronómico. Costa Rica. 239-254.
- Centeno, A. 2011. Productividad de la alfalfa y elección de cultivares. Sitio argentino de producción animal. www.produccion-animal.com.ar (Consulta: junio 27, 2011).
- Ciria C., M. P., N. M. Fábregas y A. Moyano G. 2011. Producción de cereal ecológico en rotación con barbecho y leguminosa. *Universitat de les Illes Balears*. 1-9.
- Crespo, G. 1984. El estiércol vacuno y su uso en la producción de los pastos. *Rev. Cubana Cienc. Agríc.* 18: 249-258.
- Crespo, G. 2004. Comportamiento y perspectiva de los métodos de evaluación y control de la fertilidad de los suelos. *Rev. Cubana Cienc. Agríc.* 38: 227-234.
- Cueto W., J. A., H. M. Quiroga G. y C. T. Becerra M. 2003. Nitrógeno disponible y desarrollo del ballico anual. 1. Producción, calidad del forraje y acumulación de nitratos. *Terra* 21: 285-295.
- Díaz, Z. M. 2000. Evaluando la sostenibilidad de sistemas intensivos de producción de carne. Publicación técnica No. 27. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria, Centro Regional Buenos Aires Norte, Estación Experimental Agropecuaria General Villegas. Argentina.
- Duarte, G. 2007. Fertilización de alfalfa. Sitio argentino de producción animal. www.produccion-animal.com.ar (Consulta: junio 15, 2011).
- Durán A., J. M., N. Retamal P. y R. Moratíel Y. 2006. pH: Concepto, medida y aplicaciones en agricultura y medio ambiente. www.infoagro.com (Consulta: junio 8, 2011).
- Echeverri, Z. J. J. y L. F. Restrepo B. 2009. Efecto meteorológico sobre la producción y calidad de la leche en dos municipios de Antioquia-Colombia. *Rev. Lasallista Inv.* 6: 50-57.
- Eghball, B. 2002. Soil properties as influenced by phosphorus- and nitrogen- based manure and compost applications. *Agron. J.* 94: 128-135.
- García, E. 1981. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen. Instituto de Geografía, Universidad Nacional Autónoma de México. México. D. F.
- García, F. O., M. L. Ruffo e I. C. Daverede. 1999. Fertilización de pasturas y verdesos. *Inf. Agron. del Cono Sur. INPOFOS* 1: 1-11.
- García, J. M. 2002. Producción de alfalfa para forraje bajo regadío. *Produc. Bovina Carne* 92: 1-3.
- Gaskell, M., R. Smith, J. Mitchell, S. T. Kuyke, C. Fouche, T. Hartz, W. Horwath, and L. Jackson. 2006. Soil fertility management for organic crops. Organic vegetable production in California series. University of California Division of Agriculture and Natural Resources Pub. 7249: 1-8.
- Gerencia Regional de Agricultura. 2010. Costo de producción del cultivo de la alfalfa por hectárea. Gobierno de Arequipa, Perú.
- Giasson, E., R. B. Bryant and N. L. Bills. 2003. Optimization of phosphorus index and costs of manure management on a New York dairy farm. *Agron. J.* 95: 987-993.
- Herencia, J. F., J. C. Ruiz P., S. Melero, P. A. García Galvis, E. Morillo, and C. Maqueda. 2007. Comparison between organic and mineral fertilization for soil fertility levels, crop macronutrient concentrations and yield. *Agron J.* 99: 973-983.
- Hernández, M. T., C. Chocano, J. Melgares, D. González y C. García. 2006. Incidencia de enmiendas orgánicas sobre la calidad del suelo en ciruelo ecológico. VII Congreso SEAE. Zaragoza, España.
- INEGI (Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática). 2001. Diccionario de datos edafológicos. (Alfanumérico): Sistema Nacional de Información Geográfica. Subdirección de Geografía/INEGI. México, D. F.
- Infoagro. 2011. El cultivo de la alfalfa. www.infoagro.com (Consulta: junio 28, 2011).
- James, D. W., J. Kotuby A., G. L. Anderson, and D. A. Huber. 1996. Phosphorus mobility in calcareous soils under heavy manuring. *J. Environ. Qual.* 25: 770-775.
- Jiménez, L., M. Larreal y N. Noguera. 2004. Efectos del estiércol de bovino sobre algunas propiedades químicas de un Untisol degradado en el área de la Machiques Colón, estado de Zulia. *Rev. Fac. Agron. (Luz)*. 21: 1-11.
- Jokela, W. E. 1992. Nitrogen fertilizer and dairy manure effects of corn yield and soil nitrate. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 56: 148-154.
- Lestingi, A., F. Bovera, V. Piccolo, G. Convertini, and F. Montemurro. 2009. Effects of compost organic amendments on chemical composition and *in vitro* digestibility of alfalfa (*Medicago sativa* L.). *Ital. J. Anim. Sci.* 8: 201-209.
- Lloveras, J., M. Arán, P. Villar, A. Ballesta, A. Arcaya, X. Vilanova, I. Delgado, and F. Muñoz. 2004. Effect of swine slurry on alfalfa production and on tissue and soil nutrient concentration. *Agron. J.* 96: 986-991.
- López M., J. D., A. Díaz E., E. Martínez R. y R. D. Valdez C. 2001. Abonos orgánicos y su efecto en propiedades físicas y químicas del suelo y rendimiento en maíz. *Terra* 19: 293-299.
- Machado, D. y C. Dávila. 1997. Efectos de la fertilización con N, P, K, micronutrientes y gallinazo en el establecimiento de la asociación de alfalfa (*Medicago sativa*) y kikuyo (*Pennisetum clandestinum*). *Rev. Fac. Agron. (Luz)* 14: 111-128.

- Marchegiani, G. J. y O. V. Satorre 1981. Fertilización fosfórica aplicada en líneas y en cobertura en la implantación de una pastura. *Produc. Animal*. 8: 262-269.
- Martín, B. y L. Spiller. 2007. Fertilización foliar en pasturas: una estrategia de uso. *Rev. Agromensajes* 15: 1-4.
- Martin, E. C., D. C. Slack, K. A. Tanksley, and B. Basso. 2006. Effects of fresh and composted dairy manure applications on alfalfa yield and the environment in Arizona. *Agron. J.* 98: 80-84.
- Martínez M., D., A. Hernández G., J. F. Enríquez Q., J. Pérez P., S. S. González M. y J. G. Herrera H. 2008. Producción de forraje y componentes del rendimiento del pasto *Brachiaria humidicola* CIAT 6133 con diferente manejo de la defoliación. *Tec. Pecu. Méx.* 46: 427-438.
- Matson, P. A., W. J. Parton, A. G. Power, and M. J. Swift. 1997. Agricultural intensification and ecosystem properties. *Science* 277: 504-509.
- Miller, R. W. and R. L. Donahue. 1995. *Soils in our environment*. Prentice Hall. Englewood Cliffs, NJ, USA.
- Montemurro, F., G. Convertini, and D. Ferri. 2004. Mill wastewater and olive pomace compost as amendments for rye-grass. *Agronomie* 24: 481-486.
- Moreno, G. S. y M. L. Talbot W. 2006. Fertilización equilibrada de la alfalfa. Departamento Técnico Stoller. www.stoller.com.ar (Consulta: junio 5, 2011).
- Parfitt, R. L. and B. Clayden. 1991. Andisols: the development of a new order in soil taxonomy. *Geoderma* 49: 181-198.
- Powell, J. M., Z. Wu, K. Kelling, P. Cusick, and G. Muñoz. 2004. Differential nitrogen-15 labeling of dairy manure components for nitrogen cycling studies. *Agron. J.* 96:433-441.
- Quiñonez, A. G., L. A. Dalla F. y A. J. Mollo. 2003. Respuesta de la alfalfa al agregado de fósforo, boro y calcio. *Rev. FAVE. Cienc. Agrar.* 2: 47-54.
- Robinson, D., O. Scheneiter y R. Melgar. 2009. Fertilización y utilización de nutrientes en campos forrajeros de corte. Fertilidad y fertilizantes. www.fertilizando.com (Consulta: junio 21, 2011).
- Salazar S., E., H. I. Trejo E., J. D. López M., C. Vázquez V., J. S. Serrato C., I. Orona C. y J. P. Flores M. 2010. Efecto residual de estiércol bovino sobre el rendimiento de maíz forrajero y propiedades del suelo. *Terra Latinoamericana*. 28: 381-390.
- SEMARNAT (Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales). 2000. Norma Oficial Mexicana NOM-021-RECNAT-2000. Especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos. Estudios, muestreos y análisis. México. D. F.
- Sikora, L. J. and N. K. Enkiri. 2003. Availability of poultry litter compost P to fescue compared with triple super phosphate. *Soil Sci.* 168: 192-199.
- Sikora, L. J. and N. K. Enkiri. 2005. Comparison of phosphorus uptake from poultry litter compost with triple superphosphate in codorus soil. *Agron. J.* 97: 668-673.
- Vázquez, C., J. L. García, E. Salazar, B. Murillo, I. Orona, R. Zúñiga, E. O. Rueda y P. Preciado. 2010. Rendimiento y valor nutritivo de forraje de alfalfa (*Medicago sativa* L.) con diferentes dosis de estiércol bovino. *Rev. Mex. Cienc. Pecu.* 1: 363-372.
- Violic, A. D. 2001. *El maíz en los trópicos*. Manejo y producción. FAO. Roma. Italia.
- Watson, C. A. and D. Atkinson. 1999. Using nitrogen budgets to indicate nitrogen use efficiency and losses from whole farm systems: a comparison of three methodological approaches. *Nutr. Cycl. Agroecosyst.* 53: 259-267.