

## LA APLICACIÓN DE GALLINAZAS EN SORGO FORRAJERO COMO CULTIVO ENERGÉTICO

Rosario MIRALLES DE IMPERIAL<sup>1</sup>, José Valero MARTÍN<sup>1</sup>, Carmen RODRÍGUEZ<sup>1</sup>, Rosa CALVO<sup>2</sup> y  
María del Mar DELGADO<sup>1</sup>

<sup>1</sup> INIA. Departamento de Medio Ambiente y <sup>2</sup>Servicio de Biometría. Ctra. de La Coruña km. 7.5, 28040 Madrid, España. Correo electrónico: miralles@inia.es

(Recibido junio 2010, aceptado abril 2011)

Palabras clave: *Sorghum bicolor*, gallinaza con paja, gallinaza con aserrín, biomasa, grado Brix

### RESUMEN

El sorgo forrajero como cultivo energético podría ser una alternativa efectiva de cultivo en zonas donde las dotaciones de agua de riego son limitadas. La producción de biomasa de este cultivo puede ser mejorada por la capacidad de rebrote después de su corte y presenta como valor añadido el contenido de azúcares en sus tallos para producción de bioetanol. Se condujo un ensayo en invernadero con sorgo forrajero (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) cv. Digestivo. Se cultivaron dos plantas (planta V y planta A) por maceta. El objetivo fue evaluar el efecto de dos tratamientos: gallinazas de pollo de engorda con cama de paja (GP) y de pollo de engorda con cama de aserrín de madera (GAS), en dosis: 0, 1 y 2, y un tratamiento con abono mineral (M) N-P-K, 15-15-15, equivalente en N a la dosis 1. Las variables estudiadas fueron: biomasa total en planta V (planta cortada en verde + rebrote) (biomasa V), biomasa total en planta A (planta madura + ahijamiento) (biomasa A) y para evaluar el contenido en azúcares de los tallos de sorgo se estudió la variable porcentaje (%) grado Brix (°Bx): en planta verde V (°Bx V) y en planta madura A (°Bx A). Para GP y GAS se realizó un análisis de varianza de doble vía (tratamiento y dosis). Para biomasa V el tratamiento y la dosis fueron significativos y para °Bx V solamente la dosis. La interacción tratamiento x dosis no fue significativa en ninguna de las variables estudiadas: biomasa V, biomasa A, °Bx V y °Bx A. En este ensayo la dosis 1 de GP y GAS para biomasa A fue con la que se obtuvo mayor materia seca (m.s.), para biomasa V fue con la dosis 0 (testigo). Para °Bx los valores más altos se obtuvieron con el testigo en ambas plantas, los °Bx V fueron doble que los °Bx A. El sorgo tuvo una respuesta positiva a la fertilización con gallinazas en dosis 1 para rendimiento en m.s. de biomasa en planta madura (A) pero en m.s. de biomasa en planta verde (V) dio mejores resultados el testigo (T) y también se obtuvo con T los valores más altos para el contenido en azúcares en el jugo de los tallos para °Bx V y °Bx A.

Key words: *Sorghum bicolor*, straw broiler litter, sawdust broiler litter, biomass, Brix degree

### ABSTRACT

Forage sorghum could be an effective alternative crop for energy purposes in areas where water irrigation are limited. The ability of regrowth after cutting of this crop can

enhance biomass production. The sorghum stems sugar content could be an added value for bioethanol production. Trial was carried out in a greenhouse with forage sorghum (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) cv. Digestivo. Two sorghum plants (plant V and plant A) were cultivated per pot. The aim in this work was to study the effect of two fertilizer treatments: straw broiler litter (STBL) and sawdust broiler litter (SBL) at rates: 0, 1 and 2 and a mineral fertilizer treatment (M) N-P-K, 15-15-15, equivalent in N at rate 1. The variables studied were: total plant biomass V (green cutting plant + regrowth) (biomass V), total biomass plant A (mature plant + tillering) (biomass A) and in order to evaluate the sugar content of sorghum stalks we studied the variable percent (%) degree Brix ( $^{\circ}\text{Bx}$ ): in green plant V ( $^{\circ}\text{Bx V}$ ) and in mature plant A ( $^{\circ}\text{Bx A}$ ). We made a two-way analysis of variance (treatment and rate) for STBL and SBL. Treatment and rate were significant in biomass V and only rate for  $^{\circ}\text{Bx V}$ . Treatment  $\times$  rates were not significant in the variables studied: biomass V, biomass A,  $^{\circ}\text{Bx V}$  and  $^{\circ}\text{Bx A}$ . In this trial the highest dry matter (d.m.) biomass A were obtained with rate 1 for STBL and SBL but in case of d.m. biomass V were obtained with rate 0, control (C). The highest  $^{\circ}\text{Bx}$  values were obtained with C in both plants; the  $^{\circ}\text{Bx V}$  were double than the  $^{\circ}\text{Bx A}$ . Sorghum had a positive response to fertilization with poultry manure with rate 1 to d.m. of plant biomass (A) but in d.m. green plant biomass (V) better results were obtained with C. The sugar content in juice stems ( $^{\circ}\text{BxV}$  and  $^{\circ}\text{BxA}$ ) was in all cases highest in control with rate 0.

## INTRODUCCIÓN

La biomasa de origen agrícola es una de las fuentes de energía renovable más significativa en el Plan Nacional de Energías Renovables 2005-2010 de España, que establece como objetivo el incremento de utilización de esta fuente energética. Se consideran cultivos energéticos aquellos que tienen como objetivo principal el uso energético de su cosecha (BOE 2010). El sorgo está considerado como un excelente productor de biomasa (Ping *et al.* 2009).

El sorgo azucarero ha sido estudiado por varios autores como cultivo energético por su contenido en azúcares transformables a etanol (Olalla *et al.* 1981, Navarro y Olalla 1983).

El sorgo forrajero como cultivo energético podría ser una alternativa de cultivo interesante en zonas donde las dotaciones de agua de riego son limitadas, ya que tiene una mayor eficiencia hídrica que el maíz (Lloveras *et al.* 2006). El uso de su cosecha para producción de biomasa puede verse mejorada por su capacidad de rebrote tras su corte (Simoneti *et al.* 2008) y como valor añadido de este posible cultivo energético puede aportar el contenido de azúcares en sus tallos para la producción de bioetanol (Thakare y Bhongle 2007). Durante el desarrollo de la planta de sorgo el contenido en azúcares varía al madurar la planta (Wall y Ross 1975).

España es uno de los mayores productores europeos de carne de ave. Este sector de la avicultura de carne genera también subproductos como son las gallinazas que hay que reciclar. Las aves destinadas a

la producción de carne (pollos de engorda o broiler) se crían durante un ciclo de aproximadamente 45 días sobre un lecho o cama que, transcurrido este tiempo, se retira y almacena para su posterior utilización en agricultura (García *et al.* 2007). Estas gallinazas son resultado de la mezcla de heces, plumas y las diferentes camas utilizadas, como la paja de cereales o el aserrín (Miralles de Imperial *et al.* 2008a).

El Real Decreto (RD) 824/2005, sobre productos fertilizantes (BOE 2005) define como enmienda orgánica la procedente de materiales carbonatados de origen vegetal o animal utilizada fundamentalmente para mantener o aumentar el contenido de materia orgánica del suelo y mejorar sus propiedades físicas químicas o biológicas. Sus tipos se incluyen en el grupo 6 (enmiendas orgánicas) del anexo I. Según el RD, las gallinazas se podrían utilizar como enmienda orgánica en el suelo y como fertilizante órgano mineral para los cultivos si cumplen unos requisitos en cuanto a contenido mínimo en nutrientes (N-P-K), materia orgánica total, carbono orgánico, relación C/N, humedad, pH, conductividad eléctrica y con unos límites máximos en cuanto a su contenido en metales pesados.

La fertilización órgano mineral con gallinazas en cultivo de sorgo puede ser una alternativa ambiental interesante; por una parte se reutilizará este residuo y por otra se aprovechará por parte del cultivo su contenido en nutrientes y materia orgánica y se mejorarán las características del suelo.

En el cultivo de sorgo con fines energéticos (bio-

masa para biocombustible y bioetanol) sería primordial conocer su rendimiento en biomasa y también la evolución del contenido en azúcares a lo largo de su ciclo vegetativo para fijar el momento óptimo de recolección según los fines energéticos que se pretendan para este cultivo (Wall y Ross 1975, Ibar 1984). En el sorgo para aprovechamiento forrajero se suelen efectuar dos cortes a lo largo del cultivo. Los híbridos de sorgo X pasto de Sudán se cultivan para su aprovechamiento forrajero (Serra *et al.* 2002).

El uso como fertilizante de gallinaza en dosis adecuadas para el cultivo de sorgo puede ser una práctica admisible tanto desde el punto de vista agronómico como ambiental.

Con el fin de evaluar el efecto de la aplicación de gallinazas como fertilizante órgano-mineral en cultivo de sorgo forrajero con fines bioenergéticos, se realizó un ensayo en invernadero y para comparar su eficacia se efectuó también una fertilización mineral (M) y un testigo (T) sin fertilización. El objetivo del experimento fue evaluar el efecto de T, M y las gallinazas de pollo de engorda con cama de paja (GP) y de pollo de engorda con cama de aserrín de madera (GAS) en la producción de biomasa y evaluar también el efecto en el contenido en azúcares de los tallos de sorgo mediante la determinación del grado Brix (°Bx) en dos estadios del cultivo: verde (antes de la formación de la panícula) y maduro (en el momento de la recolección).

## MATERIALES Y MÉTODOS

El ensayo en invernadero se llevó a cabo en Madrid, con sorgo (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) cv. Digestivo, en condiciones controladas de temperatura y humedad. Se utilizaron tiestos de polipropileno flexible de 0.1 m<sup>2</sup> de superficie y 26 L de capacidad, con drenaje, que se rellenaron con 26 kg de suelo de la finca “La Canaleja” (Madrid), que previamente se mezcló con las dosis de fertilizante mineral y gallinazas. Las características del suelo utilizado se presentan en la **cuadro I**.

Las gallinazas de pollos de engorda usadas en este ensayo provenían de dos granjas situadas en la Comunidad de Castilla y León (Delgado *et al.* 2007), sus características se presentan en el **cuadro II**, estaban constituidas por mezcla de heces, plumas y la cama de paja de cebada (GP) o la cama de aserrín de madera (GAS). El nitrógeno se determinó por el método de Kjeldahl (Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación 1994). El nitrógeno inorgánico (N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup> y N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup>) se determinó por destilación

**CUADRO I.** CARACTERÍSTICAS DEL SUELO

Parámetro	Suelo
pH 1:2.5 H <sub>2</sub> O	8.42
Conductividad eléctrica 1:5 H <sub>2</sub> O dSm <sup>-1</sup>	0.17
N Kjeldahl, %	0.04
C orgánico oxidable, %	0.40
N-NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> , mg kg <sup>-1</sup>	2.71
N-NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> , mg kg <sup>-1</sup>	2.27
P (Olsen), mg kg <sup>-1</sup>	23.01
K (acetato amónico), mg kg <sup>-1</sup>	426.01

de arrastre de vapor (Bremmer y Edwards 1965). El carbono orgánico oxidable se determinó por el método de Walkey y Black (Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación 1994). P y K totales se midieron por los procedimientos descritos por la AOAC (1997). Se determinaron pH suelo/agua= 1:2.5 y conductividad eléctrica en una relación suelo/agua= 1:5.0. Se determinaron los sólidos totales, los sólidos fijos y los sólidos volátiles en GP y GAS (APHA, AWWA, WPCF 1992). En la **cuadro III** se presenta el contenido en metales pesados de las gallinazas, junto con los límites máximos de estos metales permitidos para productos fertilizantes elaborados con residuos orgánicos según sea su clase A, B ó C, fijados por el Real Decreto 824/2005 (RD), del 8 de julio, sobre productos fertilizantes (BOE 2005). Las gallinazas utilizadas en este ensayo se clasificarían dentro de la clase A la GAS y en la clase B la GP. El RD refleja que los productos fertilizantes elaborados con componentes de origen orgánico se aplicarán al suelo siguiendo los códigos de buenas prácticas agrarias, con la única limitación de uso

**CUADRO II.** CARACTERÍSTICAS DE LAS GALLINAZAS: POLLO DE ENGORDA CON CAMA DE PAJA (GP) Y POLLO DE ENGORDA CON CAMA DE ASERRÍN (GAS)

Parámetro	GP	GAS
pH 1:5 H <sub>2</sub> O	7.58	7.66
Conductividad eléctrica 1:5 H <sub>2</sub> O dSm <sup>-1</sup>	10.01	8.35
Humedad, %	18.69	14.26
Sólidos totales, %	68.59	70.82
Sólidos fijos, %	12.0	17.31
Sólidos volátiles, %	56.57	56.64
N Kjeldahl, %	3.81	3.37
N-NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> , mg kg <sup>-1</sup>	7936.12	4519.91
N-NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> , mg kg <sup>-1</sup>	602.80	127.72
C orgánico oxidable, %	34.48	34.02
Relación C/N	9.05	10.09
P, mg kg <sup>-1</sup>	10031.99	9738.01
K, mg kg <sup>-1</sup>	1977.50	2046.02

**CUADRO III.** CONCENTRACIÓN DE METALES PESADOS EN LAS GALLINAZAS DE POLLO DE ENGORDA CON CAMA DE PAJA (GP) Y DE POLLO DE ENGORDA CON CAMA DE ASERRÍN (GAS) Y LÍMITES MÁXIMOS DE METALES PESADOS SEGÚN EL REAL DECRETO 824/2005 SOBRE PRODUCTOS FERTILIZANTES

Metal pesado	Gallinazas		Productos fertilizantes elaborados con residuos orgánicos*		
	GP mg kg <sup>-1</sup>	GAS mg kg <sup>-1</sup>	Clase A mg kg <sup>-1</sup>	Clase B mg kg <sup>-1</sup>	Clase C mg kg <sup>-1</sup>
Cadmio	0	0	0.7	2	3
Cromo	8.17	3.48	70	250	300
Cobre	51.7	49.42	70	300	400
Plomo	0	0	45	150	200
Níquel	3.14	2.85	25	90	100
Zinc	281.99	193.2	200	500	1000

\*BOE. 2005. Real Decreto 824/2005 del 8 de julio sobre productos fertilizantes

para los productos de la clase C, de los que dice que no podrán aplicarse sobre suelos agrícolas en dosis superiores a cinco toneladas de materia seca por ha y año.

El sorgo utilizado en el ensayo fue la variedad Digestivo, sus características son: híbrido de sorgo X pasto de Sudán, con alta capacidad de rebrote, bajo contenido en lignina, nerviaciones marronosas en la hoja, forraje de gran apetencia y resistente a enfermedades.

Para el cálculo de la dosis de fertilizante mineral y gallinazas a aplicar para cubrir las necesidades en nitrógeno del cultivo de sorgo, se tuvo en cuenta que las extracciones de N de la planta de sorgo son de 28 kg de N por 1000 kg de cosecha de grano ha<sup>-1</sup>. Si consideramos que obtendríamos una cosecha de grano de 7000 kg ha<sup>-1</sup> (Guerrero 1990) resultan 196 kg de N ha<sup>-1</sup> las necesidades de N a cubrir. Para una densidad de siembra de 150 000 plantas ha<sup>-1</sup> (Ibar 1984, Berenguer y Faci 2001, Bayu *et al.* 2005) habría que aportar 1.3 g de N por planta de sorgo y como se cultivaron dos plantas por maceta, se aportaron 2.6 g de N por maceta. Esta dosis se consideró dosis = 1.

Para el cálculo de la dosis de GP y GAS para aplicar al cultivo de sorgo se analizaron estas gallinazas previamente para conocer su N total (N Kjeldahl (que engloba el N orgánico + N amoniacal) + N nítrico) para así poder determinar la cantidad de GP y GAS a aportar por maceta que cubriera las necesidades de N calculadas. Las cantidades en m.s. de GP, GAS y M adicionadas por maceta a los 26 kg de suelo fueron: 67 g para GP dosis 1, 134 g para GP dosis 2, 77 g para GAS dosis 1, 154 g para GAS dosis 2 y 17.33 g de abono mineral N-P-K. Las macetas se rellenaron con el suelo, que previamente se mezcló con las dosis anteriormente descritas.

El RD establece que no se pueden aplicar a los suelos productos fertilizantes elaborados con residuos orgánicos en cantidades superiores a 5 toneladas de m.s. para productos de clase C, las GP y GAS aplicadas en este ensayo se encuadrarían (**Cuadro III**) en clase A para GAS y clase B para GP (por su contenido en zinc). Las cantidades de gallinazas aportadas equivalentes por hectárea (la superficie de la maceta fue 0.1 m<sup>2</sup>) fueron para GP de 6.7 y 13.4 t ha<sup>-1</sup>, para GAS de 7.7 y 15.4 t ha<sup>-1</sup>; estas cantidades serían superiores a los 5 t ha<sup>-1</sup> que establece el RD para la clase C, pero las dosis de gallinazas utilizadas en este ensayo al ser de clase A y B, estarían dentro de lo que marca el RD.

La siembra del sorgo se realizó a finales de abril. Se sembraron dos semillas por maceta, para así tener dos plantas (planta V y planta A). Durante el tiempo de duración del ensayo se regaron las macetas según sus necesidades y por debajo de la capacidad de campo para evitar pérdidas por lixiviación

El diseño del ensayo fue totalmente al azar, con cuatro repeticiones por dosis y tratamiento: testigo (T) dosis 0, mineral (M) y gallinazas: GP y GAS.

La fertilización mineral, N-P-K, dosis 1, se aplicó de una sola vez en fondo con un abono 15-15-15. Las gallinazas se aplicaron también en fondo. Las dosis aplicadas fueron: dosis 1 (la que cubría las necesidades en N del cultivo) y dosis 2 (el doble en N de la dosis 1).

Para determinar el °Bx en tallo se procedió a recolectar el sorgo en dos estadios de su desarrollo: el primero a los 84 días de la siembra antes del desarrollo de la panícula, que denominaremos sorgo verde (planta V) y el segundo cuando la panícula estuvo bien formada y gran parte de las hojas se estaban secando, que denominaremos sorgo maduro (planta A), que se recolectó a los 153 días de la siembra (García Breijo y Primo Yúfera 1986).

Con el fin de constatar la capacidad de rebrote posterior de este sorgo (Lloveras *et al.* 2006), se cortó la parte aérea de la planta V (a los 84 días de la siembra) y se dejó rebrotar para cortar posteriormente esta materia vegetal al final del cultivo (Serra *et al.* 2002). La planta A se dejó en cultivo hasta su pleno desarrollo y se procedió a su recolección cuando alcanzó su madurez, que sucedió a los 153 días de la siembra.

Para proceder al corte del tallo principal de la planta V, para posteriormente determinar su contenido en azúcares, por su grado Brix ( $^{\circ}\text{Bx}$ ), se cortó el tallo a la altura del cuello de la planta y se troceó posteriormente. El jugo contenido en los tallos de sorgo fue extraído por presión. Para su extracción se utilizó una pequeña prensa manual. El cestillo de la prensa se rellenó con los trozos de tallo. El líquido obtenido por presión se filtró a través del cestillo perforado y se recogió en un vaso de precipitado.

El contenido en azúcares de los jugos extraídos en el tallo se determinó por refractometría (Navarro y Olalla 1983, Ministerio de Agricultura Pesca y Alimentación 1998) para ello se depositaron unas gotas del jugo de sorgo en el prisma inferior del refractómetro procurando que estuvieran los prismas en estrecho contacto y que el líquido cubriera uniformemente la superficie del vidrio, luego se procedió a la lectura del  $^{\circ}\text{Bx V}$  (Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación 1998).

El  $^{\circ}\text{Bx}$  debe ser referido a la temperatura de 20  $^{\circ}\text{C}$  por lo que se aplicaron a las lecturas obtenidas en jugo de sorgo las correcciones tabuladas cuando las temperaturas fueron diferentes de 20  $^{\circ}\text{C}$  (Navarro y Olalla 1983). Los  $^{\circ}\text{Bx}$  nos proporcionan una idea del contenido de sólidos solubles en el jugo y de su estado de madurez. El  $^{\circ}\text{Bx}$  equivale exactamente al peso de sacarosa en gramos disuelto en 100 mL de agua destilada (Navarro y Olalla 1983).

Una vez extraídos los jugos, se procedió al secado del tallo de V en estufa a 70  $^{\circ}\text{C}$  para obtener su peso seco. La planta V, después del corte rebrotó produciendo varios tallos (hijos) que se recolectaron al final del ensayo (a los 153 días de la siembra), se secaron y se pesaron; también se extrajo del suelo su sistema radical. La biomasa total en g producida por la planta V (biomasa V) fue el resultado de la suma de pesos secos de: tallo principal de V (recolectado en verde) + hijos (rebrote) de V + sistema radical de V.

A finales de septiembre, a los 153 días de la siembra, se procedió a la recolección del tallo A de sorgo. La planta A había alcanzado su madurez fisiológica, las panículas estaban formadas y la mayoría de las

plantas del ensayo presentaban un aspecto seco y pajizo (Serra *et al.* 2002). Se cortó la planta y se separó la parte aérea del sistema radical, el cuello de la planta fue el punto de corte.

Para proceder al corte del tallo principal de la planta A, extraer su jugo y determinar en este el contenido en azúcares, por refractometría  $^{\circ}\text{Bx A}$ , se realizó la misma metodología señalada anteriormente para la planta V.

Para obtener el peso seco de la biomasa total de la planta A se procedió a su secado en estufa a 70  $^{\circ}\text{C}$ . Se controló el peso de tallo principal (T), hojas (H), panícula completa con el grano (P), ahijamiento (hijos) (HS) y sistema radical (R). Para obtener el peso de la biomasa total en g de la planta A (biomasa A), se sumó el peso de:  $T + H + P + HS + R$ .

Para el estudio estadístico de las cuatro variables estudiadas: biomasa V, biomasa A,  $^{\circ}\text{Bx V}$ ,  $^{\circ}\text{Bx A}$ . Se realizó un análisis de varianza (ANOVA) de doble vía: para tratamiento (tipo de gallinaza: GP y GS) y dosis (0, 1 y 2). Se utilizó el Stargraphics Centurión 15. Cuando el ANOVA fue significativo se realizó la comparación de medias.

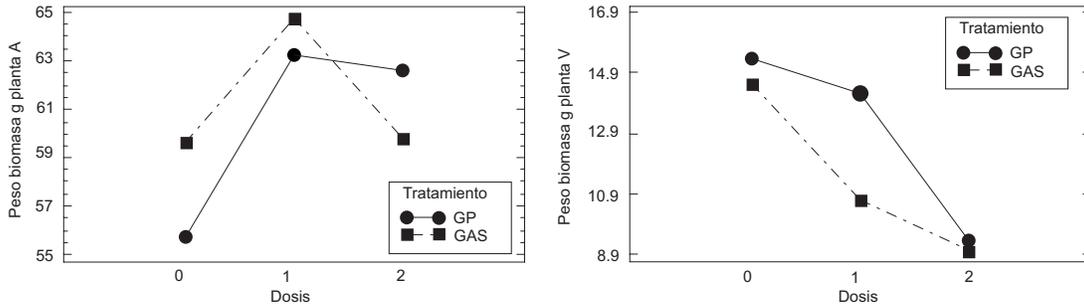
## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados del ANOVA de doble vía (tipo de gallinaza (GP y GAS) y dosis) fueron significativos para la variable biomasa V: el tratamiento ( $p=0.0374$ ) y la dosis ( $p=0.0000$ ) (en el análisis de comparación de medias entre dosis 0, 1 y 2 hubo diferencias significativas entre las tres dosis) pero no fue significativa la interacción tratamiento  $\times$  dosis ( $p=0.1011$ ); para la variable  $^{\circ}\text{Bx V}$  sólo fue significativa la dosis ( $p=0.0002$ ), pero no el tratamiento ( $p=0.6817$ ) ni la interacción tratamiento  $\times$  dosis ( $p=0.2883$ ). Para la variable biomasa A no fueron significativos: el tratamiento ( $p=0.7319$ ), la dosis ( $p=0.1949$ ), la interacción tratamiento  $\times$  dosis ( $p=0.5654$ ). Para la variable  $^{\circ}\text{Bx A}$  no fueron significativos: el tratamiento ( $p=0.7319$ ), la dosis ( $p=0.1949$ ), la interacción tratamiento  $\times$  dosis ( $p=0.5654$ ).

Se hizo un análisis de varianza entre el tratamiento mineral y el testigo y no hubo diferencias significativas en ninguna de las variables salvo para  $^{\circ}\text{Bx V}$  que sí fue significativa ( $p=0.0006$ ).

En las **figuras 1 y 2** se presentan las gráficas de la interacción (tratamiento tipo de gallinaza (GP y GAS)  $\times$  dosis (0, 1 y 2) de los ANOVA realizados para biomasa V y A y para  $^{\circ}\text{Bx V}$  y A.

Si observamos la **figura 1** podemos apreciar (aunque en el ANOVA no fue significativa la dosis



**Fig. 1.** Interacción tratamiento: tipo de gallinaza (gallinaza con cama de paja= GP= ●; gallinaza con cama de aserrín= GAS= ■) y dosis (0, 1 y 2) para peso (g) biomasa en planta planta A (madura) y planta V (verde)

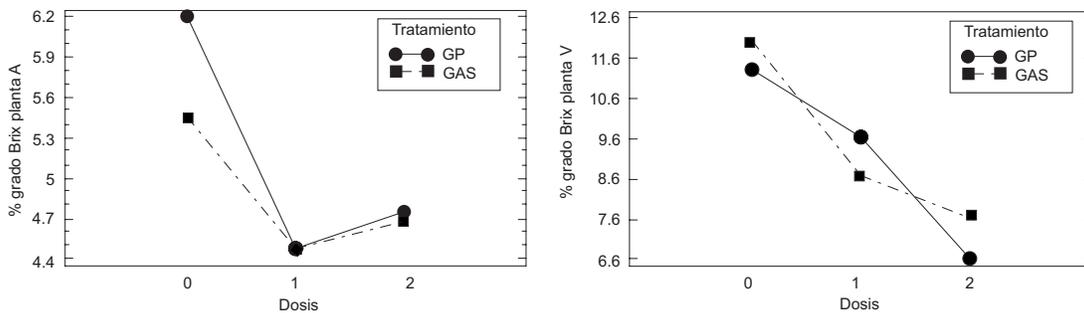
para la variable biomasa A) que para la planta A el peso de la biomasa aumenta para la dosis 1 frente al testigo (T), sin fertilización, pero disminuye para la dosis 2 con GAS y para la planta V se obtuvo mayor peso de biomasa para el testigo frente a la dosis 1 de GAS, con la dosis 2 de GP y GAS el peso de biomasa de V fue casi la mitad del obtenido con T, esta dosis 2 perjudicó a la planta V de sorgo que tuvo menor capacidad de rebrote y menor desarrollo vegetativo por lo que disminuyó su potencial de producción de biomasa (Serra *et al.* 2002).

En experimentos de maíz con gallinazas de pollo de engorda y de gallina ponedora Miralles de Imperial *et al.* (2007, 2008a) obtuvieron incrementos de producción con las gallinazas frente al tratamiento mineral, y fue con la dosis 1 con la que obtuvieron mayores rendimientos en materia seca; en este ensayo con sorgo fue también con la dosis 1 de gallinazas con la que se observaron incrementos de m.s. en biomasa A. Estos autores también observaron con el tratamiento testigo (dosis 0) un mayor peso seco del sistema radical, que en este ensayo con sorgo también se observó y el peso afectó al rendimiento en biomasa total de V, que fue mayor en la dosis 0 que en las dosis 1 y 2, como podemos apreciar en la **figura 1**. Monti *et al.* (2002) en ensayos con sorgo como cultivo energético obtuvieron incrementos

significativos en el rendimiento de biomasa seca por efecto de la fertilización nitrogenada, en este ensayo con sorgo también se obtuvieron incrementos de m.s. con las dosis 1 de las gallinazas en biomasa A.

El rendimiento medio equivalente (la maceta tenía una superficie 0.1 m<sup>2</sup>) en m.s. de biomasa por hectárea obtenido en este ensayo varió: para planta A (planta al final del ciclo de cultivo) con GP entre 6.35 (dosis 1) y 6.25 (dosis 2) t ha<sup>-1</sup>, con GAS osciló entre 6.5 (dosis 1) y 6 (dosis 2) t ha<sup>-1</sup>, para T (dosis 0) fue entre 5.6 y 5.95 t ha<sup>-1</sup>; para planta V (planta cortada en verde + rebrote al final del cultivo) con GP varió entre 1.41 (dosis 1) y 0.96 (dosis 2) t ha<sup>-1</sup>, con GAS osciló entre 1.08 (dosis 1) y 0.89 (dosis 2) t ha<sup>-1</sup>, para T (dosis 0) fue entre 1.54 y 1.44 t ha<sup>-1</sup>.

En la **figura 2** se muestran las gráficas de la interacción para las variables °Bx V (planta en verde) y °Bx A (planta madura). Los valores obtenidos para °Bx tanto en planta V como A, fueron mayores con el testigo que con las gallinazas. En planta verde (V) se alcanzaron los valores más altos de °Bx que con la planta madura A, estos °Bx A fueron del orden de la mitad de los obtenidos para la planta V. El descenso en el contenido de azúcares al final del cultivo es normal pues son productos que la planta consume en su crecimiento y para su desarrollo. Wall y Ross (1975) estimaron que los sorgos para producción de



**Fig. 2.** Interacción tratamiento: tipo de gallinaza (gallinaza con cama de paja= GP= ●; gallinaza con cama de aserrín= GAS= ■) y dosis (0, 1 y 2) para porcentaje (%) grado Brix en planta A (madura) y planta V (verde)

grano en sus etapas iniciales de crecimiento pueden tener mayor nivel de azúcar en tallos y disminuye durante la formación de la semilla. En este ensayo con sorgo forrajero el mayor nivel de azúcar medido por el °Bx en planta V (antes de la formación de la panícula) y el descenso del °Bx en planta A (madura) coinciden con lo estimado por estos autores para estos sorgos.

Thakare y Bongle (2007) en estudios realizados con sorgo azucarero determinaron el °Bx en jugos extraídos de sus tallos y obtuvieron como máximo 13.33 % de grado Brix al que le correspondió un contenido en etanol del 9.79 %. En este ensayo con sorgo forrajero los mayores % de grado Brix se obtuvieron en planta V (en verde) y para el testigo, el máximo °Bx fue de 12 % al que le correspondería (según el estudio de estos autores) un contenido en etanol del 7.94 % y en planta A (madura) el máximo °Bx se obtuvo también con el testigo y fue de 6.2 % al que le correspondería un contenido en etanol del 4.1 %.

El sorgo en este ensayo, si observamos la **figura 2**, podemos decir que no respondió al tratamiento con gallinaza en cuanto a mejorar su °Bx, pues se obtuvieron mejores resultados con T, pero sí respondió para el peso de biomasa A (planta madura) al tratamiento con GP y GAS en dosis 1, como se puede apreciar en la **figura 1**. La respuesta a la dosis 2 en ambas gallinazas fue mala para la planta V en cuanto a biomasa y °Bx. En planta A con dosis 2 la biomasa mejoró respecto a T para GP y para °Bx A los resultados obtenidos con dosis 1 y 2 de ambas gallinazas fueron similares e inferiores a los observados con T. Delgado *et al.* (2010) observaron efectos fitotóxicos con ensayos de berro (*Lepidium sativum* L.) en sustratos de cultivo con dosis altas de gallinazas. Miralles de Imperial *et al.* (2008b) en ensayos de adición de gallinazas en sustratos para cultivo de crisantemo en maceta obtuvieron los mejores resultados con la adición de 10 % de gallinaza de pollo de engorda con cama de aserrín a un sustrato con turba rubia, pero la adición de 50 % de gallinazas produjo la muerte de las plantas. Los autores anteriormente referenciados encontraron en sus estudios que las dosis altas de gallinazas, en general, fueron perjudiciales para el desarrollo de esos cultivos. En este experimento la dosis 2 de GP y GAS aplicada no tuvo un efecto positivo para el cultivo de sorgo en cuanto a biomasa y °Bx de la planta, excepto con GP en biomasa A.

En aplicaciones en campo de gallinazas a los cultivos habrá que tenerse en cuenta para calcular la dosis idónea de gallinazas no solo que se cubran

las necesidades nutritivas de la planta de sorgo sino también el contenido en metales pesados de esas gallinazas con el fin de que con su adición al suelo no se sobrepasen los límites máximos de metales pesados que fija la legislación (BOE 2005).

## CONCLUSIONES

La mayor producción de biomasa se obtuvo en planta A (peso de planta madura con sus panículas y ahijamiento) y con las gallinazas: GP y GAS en dosis 1, con un máximo de 65 g con GAS. La producción de biomasa obtenida en planta V (peso de planta cortada en verde y su rebrote al final del cultivo) fue menor que en planta A, del orden entre tres y seis veces, el máximo se obtuvo con el testigo, sin fertilización, dosis 0 y fue de 15.5 g.

El mayor contenido en azúcares de los tallos de sorgo determinado por el grado Brix se obtuvo con el testigo (dosis 0) para la planta V (cortada en verde), el máximo obtenido fue de 12 % grado Brix equivalente a un contenido en etanol de 7.9 %. Para planta A (planta madura) el mayor contenido en azúcares en sus tallos en el momento de la recolección también se obtuvo con el testigo aunque los °Bx obtenidos fueron del orden de la mitad de los obtenidos en planta V, el valor máximo alcanzado fue 6.2 % grado Brix equivalente a un contenido en etanol de 4.1 %.

La aplicación de gallinazas al cultivo de sorgo forrajero en dosis 1 tuvo un efecto positivo sobre la producción de biomasa en planta madura, pero esta aplicación tuvo un efecto negativo en el contenido de azúcares en jugo de tallo de sorgo determinado por su grado Brix, los valores más altos de °Bx se obtuvieron con el testigo (sin fertilización, dosis 0) tanto en planta de sorgo cortada en verde como en planta madura cortada al final del cultivo en estadio de madurez.

Este ensayo con sorgo forrajero indica que si lo que se busca es mayor contenido en azúcares de los tallos se debe cortar la planta en verde y no fertilizarla, pero si lo que se busca es mayor peso de biomasa habrá que esperar a la plena madurez de la planta de sorgo para su recolección y aplicar gallinaza en dosis 1.

La aplicación de gallinazas como fertilizante órgano mineral a los cultivos puede ser una práctica agronómica y ambiental admisible. Para el cálculo de la dosis de gallinaza a aportar habrá que tener en cuenta las necesidades nutritivas del cultivo y el contenido en metales pesados.

## AGRADECIMIENTOS

Este estudio se realizó gracias al proyecto RTA2009-000474-00-00 financiado por INIA. Los autores agradecen la colaboración en las tareas de invernadero y laboratorio a Jesús García, María Isabel González y Ángela García.

## REFERENCIAS

- AOAC (Association of Official Analytical Chemists) (1997). *Official Methods of Analysis of AOAC International* (Cunniff, Ed.) 16 ed. Gaithersburg. Capítulo 2. pp. 5-6.
- APHA, AWWA, WPCF. (1992). *Standard methods for the examination of water and waste*. American Public Health Association. Nueva York. 874 p.
- BOE (2005). Real Decreto 824/2005, del 8 de julio, sobre productos fertilizantes. Boletín Oficial del Estado. 171, 25 592-25 669.
- BOE (2010). Resolución de 7 de enero de 2010, referente al desarrollo de cultivos energéticos no alimentarios. Boletín Oficial del Estado. 34, 11 827-11 832.
- Bayu W., Rethman N.F.G. y Hammes P.S. (2005). Growth and yield compensation in sorghum (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) as a function of planting density and nitrogen fertilizer in semi-arid areas of northeastern Ethiopia. S. Afr. Tydskr. Plant Grond. 22, 76-83.
- Berenguer M.J. y Faci J.M. (2001). Sorghum (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) yield compensation processes under different plant densities and variable water supply. Eur. J. Agron. 15, 43-55.
- Bremmer J.M. y Edwards A.P. (1965). Determination and isotope-ratio analysis of different forms of nitrogen in soils: I. Apparatus and procedure for distillation and determination of ammonium. Soil Science Society Proceedings. 504-507.
- Delgado M.M., Miralles de Imperial R., Martín J.V., León C. y García M.C. (2007). Residuos avícolas procedentes de granjas de gallinas ponedoras y granjas de pollos de engorde. Tierras de Castilla y León - Agricultura. 135, 96-101.
- Delgado M.M., Martín J.V., Miralles de Imperial R., León C. y García M.C. (2010). Phytotoxicity of uncomposted and composted poultry manure. Afric. J. Plant Sci. 4, 154-162.
- García M.C., León C., Delgado M.M., Miralles de Imperial R. y Martín J.V. (2007). Caracterización, manejo y diferencias entre los residuos procedentes de granjas ponedoras y pollos broiler en explotaciones de Castilla y León. Tecnogadadería 5, 16-18.
- García Breijo F.J. y Primo Yúfera E. (1986). Alcohol de biomasa. I. Azúcares solubles fermentables en tallos de variedades de maíz y sorgo dulce. Rev. Agroquím. Tecnol. 26, 571-580.
- Guerrero A. (1990). *Cultivos Herbáceos Extensivos*. Ediciones Mundi-Prensa. Madrid, España, 751 p.
- Ibar L. (1984) *El Sorgo. Cultivo y Aprovechamiento*. Aedos, Barcelona, España, 161 p.
- Lloveras J., López Fernández A., Bagá M., Betbese J.A. y López Querol A. (2006). Producción de biomasa de sorgo forrajero en regadíos del Valle del Ebro. Agricultura 889, 804-807.
- Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. (1994). *Métodos oficiales de análisis*. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación, Madrid, España. Tomo III, 662 p.
- Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. (1998). *Métodos oficiales de análisis de la Unión Europea. Diario oficial de las Comunidades Europeas*. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación, Madrid, España. Tomo II. 767 p.
- Miralles de Imperial R., Martín J.V., García M.C., León C. y Delgado M.M. (2007). Ensayos con gallinaza en maíz. Tierras de Castilla y León - Agricultura 140, 76-78.
- Miralles de Imperial R., Martín J.V., García M.C., León C. y Delgado M.M. (2008a). Contenido en nitrógeno del maíz fertilizado con dos tipos de gallinaza. Tierras de Castilla y León - Agricultura 151, 18-24.
- Miralles de Imperial R., Martín J.V., García M.C., León C. y Delgado M.M. (2008b). Producción de crisantemo en macetas, comportamiento en sustratos con turbas y mezclas con gallinazas. Plantflor Cultivo& Comercio. 130, 101-103.
- Monti A., Ventura G. y Amaducci M.T. (2002). Confronto fra sorgo, kenaf e miscanto a diversi livelli di disponibilità hídrica e azotada per la produzione di energia. Riv. Agron. 36, 213-220.
- Navarro E. y Olalla L. (1983). *Análisis de laboratorio en caña de azúcar y sorgo dulce: metodología*. Ministerio de Agricultura y Pesca. Instituto Nacional de Investigaciones Agrarias, Madrid, España, 27 p.
- Olalla L., Muriel J.L., Morillo R., Navarro E. y Mira A. (1981). *Aportación al estudio de cultivos para producción energética en Andalucía. Sorgo dulce y caña de azúcar*. Ministerio de Agricultura y Pesca. Instituto Nacional de Investigaciones Agrarias, Madrid, España, 39 p.
- Ping Z., Wensheng S., Zhian L., Bin L., Jintian L. y Jingsong S. (2009). Removal of metals by sorghum plants from contaminated land. J. Environ. Sci. 21, 1432-1437.
- Serra Gironella J., Salvia Fuentes J. y Aragay Beneria M. (2002) Producción y valor nutritivo de una población

- local y de variedades comerciales de sorgo forrajero *Sorghum bicolor* (L.) Moench, en el nordeste de Cataluña. Pastos 32, 59-67.
- Simoneti J.S., Tiritan C.S., Calonego J.C. y Rodrigues L. (2008). Rebrotas de soqueiras de sorgo em função da altura de corte e da adubação nitrogenada. Ceres 55, 102-108.
- Thakare R. y Bhongle S.A. (2007) Biochemical composition of sweet sorghum stalk's juice, grain and its ethanol content. J. Soils Crops 17, 326-328.
- Wall J.S. y Ross W.M. (1975). *Producción y usos del sorgo*. Editorial Hemisferio Sur. Buenos Aires, Argentina. 399 p.