

EL TIPO DE BOQUILLA NO ALTERA LA EFECTIVIDAD DE LOS HERBICIDAS PROSULFURON, BROMOXINIL Y 2,4-D

NOZZLE TYPE DOES NOT CHANGE HERBICIDE EFFECTIVENESS OF PROSULFURON, BROMOXYNIL AND 2,4-D

Enrique Rosales-Robles*, Ricardo Sánchez-de la Cruz, L. Ángel Rodríguez-del Bosque

Campo Experimental Río Bravo, Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias (INIFAP). Carretera Matamoros-Reynosa Km 61. 88900 Río Bravo, Tamaulipas (enrique_77840@yahoo.com)

RESUMEN

Un problema común en el norte de Tamaulipas es la deriva de herbicidas aplicados en sorgo para grano [*Sorghum bicolor* (L.) Moench] hacia áreas no consideradas, por la aspersión a causa del viento. Esto reduce la calidad de la aspersión y ocasiona daños a cultivos susceptibles a esos herbicidas. En experimentos de campo conducidos de 2006 a 2008 se evaluó el efecto de los tipos de boquillas: abanico plano convencional, anti-deriva de pre-orificio y anti-deriva de inducción de aire, en la efectividad de los herbicidas prosulfuron, bromoxinil y 2,4-D, usados para controlar malezas de hoja ancha en sorgo para grano. No hubo efectos significativos en la acción de los herbicidas por el tipo de boquilla. El prosulfuron (17 g ha⁻¹) mostró control superior (97 %) de polocote (*Helianthus annuus* L.) que 2,4-D a (720 g ha⁻¹; 94 %) y bromoxinil (480 g ha⁻¹; 92 %). Con prosulfuron y 2,4-D se logró control suficiente (91 a 94 %) de quelite (*Amaranthus palmeri* S. Wats) y sólo 2,4-D controló suficientemente (90 %) el trompillo (*Solanum elaeagnifolium* Cav.). 2,4-D disminuyó ($p \leq 0.05$) el rendimiento (11 %) del sorgo, comparado con prosulfuron, que causó sólo daños ligeros al cultivo. Las boquillas anti-deriva son herramientas adecuadas para disminuir el arrastre físico de herbicidas post-emergentes aplicados en sorgo para grano, ya que no alteran su efectividad para controlar maleza.

Palabras clave: *Amaranthus palmeri*, boquillas anti-deriva, *Helianthus annuus*, herbicidas, *Solanum elaeagnifolium*, sorgo.

INTRODUCCIÓN

El sorgo para grano (*Sorghum bicolor* L. Moench.) es el cultivo principal en el norte de Tamaulipas, con una superficie de 620 000 ha

* Autor responsable ♦ Author for correspondence.

Recibido: mayo, 2012. Aprobado: febrero, 2013.

Publicado como ARTÍCULO en *Agrociencia* 47: 245-253. 2013.

ABSTRACT

A common problem in northern Tamaulipas is herbicide drift to non-target areas caused by wind while spraying on grain sorghum [*Sorghum bicolor* (L.) Moench]. Wind reduces the quality of spraying and drift causes damage to crops susceptible to applied herbicides. In field experiments conducted from 2006 to 2008 the effect of nozzle types was evaluated: conventional flat fan, anti-drift pre-orifice and anti-drift air induction, on the effectiveness of the herbicides prosulfuron, bromoxynil and 2,4-D, used for broadleaf weed control in grain sorghum. There were no significant effects in herbicide action due to nozzle type. Prosulfuron (17 g ha⁻¹) showed better control (97 %) of common sunflower (*Helianthus annuus* L.) than 2,4-D (720 g ha⁻¹; 94 %) and bromoxynil (480 g ha⁻¹; 92 %). With prosulfuron and 2,4-D, there was adequate control (91 to 94 %) of Palmer amaranth (*Amaranthus palmeri* S. Wats), while only 2,4-D adequately controlled (90 %) silverleaf nightshade (*Solanum elaeagnifolium* Cav.). 2,4-D decreased sorghum yield ($p \leq 0.05$) by 11 %, compared with prosulfuron, which caused only slight damage to the crop. Anti-drift nozzles are suitable tools for reducing physical drift of post-emergent herbicides applied on grain sorghum since they do not alter their weed control effectiveness.

Key words: *Amaranthus palmeri*, anti-drift nozzles, *Helianthus annuus*, herbicides, *Solanum elaeagnifolium*, sorghum.

INTRODUCTION

Grain sorghum (*Sorghum bicolor* L. Moench.) is the main crop in northern Tamaulipas, with an area of 620 000 ha and a production of 2.4 million t in 2010 (SAGARPA-SIAP, 2011). A factor that limits sorghum production in this region is ineffective control of broadleaf weeds, among

y producción de 2.4 millones t en 2010 (SAGARPA-SIAP, 2011). Un factor que limita la producción de sorgo en esta región es el control deficiente de malezas de hoja ancha, entre las que destacan el polocote (*Helianthus annuus* L.), el quelite (*Amaranthus palmeri* S. Wats), la amargosa (*Parthenium hysterophorus* L.), el trompillo (*Solanum elaeagnifolium* Cav.) y la oreja de ratón (*Convolvulus arvensis* L.) (Rosales-Robles *et al.*, 2011). El uso de herbicidas es esencial en el manejo integrado de malezas en esta región, ya que reduce costos de producción y evita pérdidas de la producción de sorgo, en promedio 20 % del rendimiento, por la competencia con maleza (Rosales-Robles *et al.*, 2005). Los productores de sorgo de la región combinan el paso de escardas y el uso de herbicidas y en algunas ocasiones los deshierbes manuales para controlar las malezas. Entre los principales herbicidas para controlar las malezas de hoja ancha en post-emergencia (POST) de sorgo, están 2,4-D, dicamba, bromoxinil y prosulfuron (Regehr *et al.*, 2011). Un problema común en el norte de Tamaulipas es el arrastre físico o deriva de herbicidas POST a áreas ajenas a la aspersión, por el viento. Las aplicaciones de herbicidas se realizan en febrero y marzo, cuando hay viento con velocidades superiores a 16 km h⁻¹ y máximas para asperjar agroquímicos, entre 50 y 70 % de los días (Hofman y Solseng, 2001; Silva-Serna y Hess-Martínez, 2001). Para evitar la deriva se modifica el sistema de aspersión de los herbicidas, principalmente se reduce la presión de salida o aumenta el tamaño del orificio de salida de las boquillas para incrementar el tamaño de gota (Ramsdale y Messersmith, 2001). El tamaño de gota es el factor principal en la deriva de una aspersión y es referido a través de su VMD (mediana del diámetro del volumen), que en boquillas convencionales de abanico plano y presión de 275 kPa es entre 200 y 250 μm (Etheridge *et al.*, 1999). Las gotas menores a 150 μm son susceptibles a la deriva, por lo que se usan boquillas que producen gotas con VMD mayor sin incremento del volumen de aspersión (Yates *et al.*, 1985).

Las boquillas convencionales para la aspersión de herbicidas son las de abanico plano normal y producen gotas con tamaños de 5 a 1000 μm (Wolf, 2009). Estas boquillas se clasifican según al ángulo de aspersión y gasto, y se comercializan principalmente con ángulos de 80° y 110° y gasto de 0.75 a 1.5 L min⁻¹ (Hofman y Solseng, 2001). Las boquillas anti-deriva con pre-orificio y las de inducción de aire son

which common sunflower (*Helianthus annuus* L.), Palmer amaranth (*Amaranthus palmeri* S. Wats), parthenium ragweed (*Parthenium hysterophorus* L.), silverleaf nightshade (*Solanum elaeagnifolium* Cav.) and field bindweed (*Convolvulus arvensis* L.) (Rosales-Robles *et al.*, 2011) are the most troublesome. Use of herbicides is essential in integrated weed control in this region to reduce production costs and prevent production losses from weed competition, which is on average 20 % of the crop yield (Rosales-Robles *et al.*, 2005). Sorghum growers of this region combine the use of cultivation and herbicides, as well as occasional manual weeding, to control weeds. Among the main herbicides used in postemergence (POST) broadleaf weed control in sorghum are 2,4-D, dicamba, bromoxynil, and prosulfuron (Regehr *et al.*, 2011). A common problem in northern Tamaulipas is POST herbicide drift into non-target areas caused by wind during spraying. Herbicide applications are done in February and March when 50 to 70 % of the days winds blow above 16 km h⁻¹, maximum speed allowed for spraying agrochemicals (Hofman and Solseng, 2001; Silva-Serna and Hess-Martínez, 2001). To prevent drift, the system of herbicide spraying has been modified, mainly by reducing exit pressure or increasing exit orifice size of the nozzles to increase droplet size (Ramsdale and Messersmith, 2001). Droplet size is the main factor in drift during spraying and is referred to by its VMD (volume median diameter); in conventional flat fan nozzles with pressure of 275 kPa VMD is between 200 and 250 μm (Etheridge *et al.*, 1999). Droplets smaller than 150 μm are susceptible to drift, and so nozzles that produce droplets with larger VMD are used without increasing spray volume (Yates *et al.*, 1985).

Conventional nozzles for spraying herbicides are flat fan types that produce droplets in a size range of 5 to 1000 μm (Wolf, 2009). These nozzles are classified by their spray angle and flow; they are manufactured mainly with spray angles of 80° and 110° and flow of 0.75 to 1.5 L min⁻¹ (Hofman and Solseng, 2001). Anti-drift nozzles with pre-orifice and air induction are the most common. The former have an orifice anterior to the spray exit that reduces pressure and produces larger droplets than conventional nozzles. Pre-orifice nozzles can have spray angles of 80° and 110° and operate at a pressure between 207 and 414 k Pa, with an optimum at 275 kPa (Ramsdale

las principales. Las primeras tienen un orificio antes de la salida de la aspersión, que reduce la presión y produce gotas más grandes que las boquillas convencionales. Las boquillas con pre-orificio pueden tener ángulos de aspersión de 80° y 110° y se operan con presión entre 207 y 414 kPa, con óptimo de 275 kPa (Ramsdale y Messersmith, 2001). Las boquillas con pre-orificio pueden reducir 50 % la deriva respecto a las convencionales, pues su VMD es alrededor de 400 μm , pero requieren limpieza mayor debido al pre-orificio (Hofman y Solseng, 2001; Wolf, 2009). Las boquillas de inducción con aire o tipo venturi forman gotas más grandes que otras boquillas porque tienen un orificio que introduce aire al flujo del líquido asperjado en la cámara de la boquilla y crean gotas con burbujas de aire que precipitan rápidamente; esto favorece la penetración al follaje de herbicidas POST (Ramsdale y Messersmith, 2001). Estas boquillas se comercializan también con ángulos de aspersión de 80° y 110°, tienen VMD alrededor de 500 μm y permiten reducir la deriva de 70 a 90 %; deben operarse con presión de 275 a 415 kPa para incorporar aire a la boquilla (Wolf, 2009). Las boquillas anti-deriva producen gotas más grandes que las boquillas convencionales, pueden afectar la cobertura de aspersión y reducir la efectividad de los herbicidas (Etheridge *et al.*, 2001; Ramsdale y Messersmith, 2001). El objetivo de este estudio fue evaluar la efectividad de prosulfuron, 2,4-D y bromoxinil en el control de malezas de hoja ancha en sorgo, aplicados con boquillas convencionales, boquillas anti-deriva con pre-orificio y de inducción de aire.

MATERIALES Y MÉTODOS

Los experimentos se establecieron en los ciclos otoño-invierno 2006, 2007 y 2008 en el Campo Experimental Río Bravo, Tamaulipas, del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (27° 57' N, 98° 10' O). Los lotes experimentales tienen suelo con textura arcillosa (24 % arena, 18 % limo y 58 % arcilla), pH 7.1 y 1.1 % de materia orgánica y se seleccionaron por su población alta de maleza, principalmente polocote, que es la especie más común y problemática en el norte de Tamaulipas; además, hubo poblaciones de quelite y trompillo los tres años (Cuadro 1). El suelo se aró una vez, dos pasos de rastra y surcado de 80 cm. Se sembró el híbrido de sorgo Pioneer 82G63 para obtener 250 000 plantas ha^{-1} y se fertilizó en pre-siembra (120N-40P-00K). Se aplicó un riego con la siembra y dos de auxilio 40 y 60 d, después.

and Messersmith, 2001). Pre-orifice nozzles can reduce drift by 50 %, relative to conventional nozzles; their VMD is around 400 μm , but they require more cleaning because of the pre-orifice (Hofman and Solseng, 2001; Wolf, 2009). Air induction or venturi type nozzles form larger drops than other nozzles because they have an orifice that introduces air into the liquid flow sprayed into the nozzle chamber and create drops with air bubbles that precipitate rapidly. This favors POST herbicide penetration into the foliage (Ramsdale and Messersmith, 2001). These nozzles are also available with spray angles of 80° and 110°. They have a VMD of around 500 μm and reduce drift by 70 to 90 % and must be operated at a pressure of 275 to 415 kPa to incorporate air into the nozzle (Wolf, 2009). Anti-drift nozzles produce larger drops than conventional nozzles but can affect spray coverage and reduce herbicide effectiveness (Etheridge *et al.*, 2001; Ramsdale and Messersmith, 2001). The objective of this study was to evaluate the effectiveness of prosulfuron, 2,4-D and bromoxynil applied with conventional nozzles and with anti-drift nozzles with pre-orifice and with air induction for broadleaf weed control in sorghum.

MATERIALS AND METHODS

The experiments were set up during the fall-winter growing season in 2006, 2007 and 2008 in the Río Bravo, Tamaulipas Experimental Station of the Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas and Pecuarias (27° 57' N, 98° 10' W). The experimental plots had a clay soil (24 % sand, 18 % silt and 58 % clay), pH 7.1 and 1.1 % organic matter. Plots were selected because of their dense weed population, mainly common sunflower, which is the most common and troublesome weed species in northern Tamaulipas. There were also populations of Palmer amaranth and silverleaf nightshade during the three years (Table 1). Soil was plowed once, harrowed twice and furrowed at 80 cm between rows. Pioneer 82G63 hybrid sorghum was sown at a density of 250 000 plants ha^{-1} and fertilized before planting (120N-40P-00K). The crop was irrigated at planting, and auxiliary irrigations were applied 40 and 60 d later.

Experimental design was factorial in complete randomized blocks. Factor A was nozzles: conventional flat fan TJ-11003, pre-orifice anti-drift DG-11003 and air induction anti-drift AI-11003 (Spraying Systems, México). Factor B was herbicides: prosulfuron 17 g ha^{-1} ; 2,4-D amine 720 g ha^{-1} (hereafter referred to as 2,4-D) and bromoxynil 480 g ha^{-1} . Experimental units were four rows 10 m long. Treatments were replicated four times. A

El diseño experimental fue un factorial en bloques completos al azar con: 1) factor A boquillas: abanico plano convencional TJ-11003, anti-deriva con pre-orificio DG-11003 y anti-deriva con inducción de aire AI-11003 (Spraying Systems, México); 2) factor B herbicidas: prosulfuron 17 g ha⁻¹, 2,4-D amina 720 g ha⁻¹ (referido como 2,4-D en adelante) y bromoxinil 480 g ha⁻¹. Hubo cuatro repeticiones y unidades experimentales de cuatro surcos (10 m longitud), y un testigo sin herbicida. Los herbicidas se aplicaron con un aspersor de mochila motorizado (modelo Forza 25; Swissmex Rapid, México), con presión de salida 275 kPa para las boquillas convencionales y de pre-orificio y 345 kPa para las boquillas de inducción de aire. En todos los casos el volumen de aspersión fue 250 L ha⁻¹.

La toxicidad de los herbicidas en el sorgo y en la maleza se evaluó con estimaciones visuales y escala de 0 a 100 %, propuesta por la Sociedad Europea de Investigación en Maleza (Frans *et al.*, 1986; Silva-Flores *et al.*, 2005): 0 indicó falta de efecto y 100 % muerte de la planta (Cuadro 2). Las estimaciones se realizaron 15 y 30 d después de la aplicación (DDA). Las panojas de los dos surcos centrales de cada unidad experimental se cosecharon manualmente y se obtuvo el rendimiento de sorgo. Las panojas fueron trilladas y la humedad del grano se ajustó a 14 %. Con los datos de las variables se realizó un análisis de varianza y las medias se compararon con la prueba de Tukey ($p \leq 0.05$). El análisis combinado de los datos indicó que no hubo interacción entre los factores A y B, ni entre factores y años, para la fitotoxicidad, el control de maleza y el rendimiento, por lo que estas variables se presentan como el promedio de los tres años para los factores A y B. Los datos de toxicidad en el cultivo y de control de maleza se transformaron por arcoseno de la raíz cuadrada de X/100 antes del análisis para homogenizar sus varianzas (Lentner y Bishop, 1993). En los resultados se presentan los datos no transformados con las literales de las pruebas de Tukey de los datos transformados.

control without herbicide was included. Herbicides were applied with a motorized backpack sprayer (model Forza 25, Swissmex Rapid, México) with 275 kPa exit pressure for conventional and pre-orifice nozzles and 345 kPa for air induction nozzles. In all cases, the spray volume was 250 L ha⁻¹.

Herbicide toxicity on sorghum and weeds was assessed visually with estimations expressed on a 1 to 100 % scale proposed by the European Weed Research Society (Frans *et al.*, 1986; Silva-Flores *et al.*, 2005), in which 1 indicates lack of effect and 100 % is death of the plant (Table 2). Estimations were done 15 and 30 d after application (DDA). Panicles of the two central rows of each experimental unit were harvested manually and sorghum yield was obtained. Panicles were threshed and grain moisture content was adjusted to 14 %. Data of the variables were subjected to an analysis of variance and means were compared with the Tukey test ($p \leq 0.05$). Combined analysis of the data indicated that there was no interaction between factors A and B, nor between factors and years for phytotoxicity, weed control and yield. For this reason, these variables are presented as the average of three years for factors A and B. Data of toxicity on the crop and of weeds control were transformed by arcsine of the square root of X/100 before their analysis to make their variances uniform (Lentner and Bishop, 1993). In the results, non-transformed data are presented with the letters of the Tukey tests on transformed data.

RESULTS AND DISCUSSION

Phytotoxicity

2,4-D caused intermediate damage (19 %) to sorghum at 15 DDA, significantly more than the light symptoms caused by prosulfuron and bromoxynil (Table 3); at 30 DDA 2,4-D damage increased to 25 %,

Cuadro 1. Fecha de siembra de sorgo y aplicación de herbicidas post-emergentes y población y estado de desarrollo de malezas. Río Bravo, Tamaulipas.

Table 1. Dates of sorghum sowing and post-emergence herbicide application and growth stage of weeds. Rio Bravo, Tamaulipas.

Año	Siembra	Aplicación	Polocote [†]		Quelite		Trompillo	
			Núm. m ⁻²	Hojas	Núm. m ⁻²	Hojas	Núm. m ⁻²	Hojas
2006	febrero 26	marzo 28	36	6	8	4	8	6
2007	febrero 21	marzo 20	30	6	5	4	5	4
2008	febrero 25	marzo 24	67	6	10	6	7	6

[†]Polocote *Helianthus annuus* L.; Quelite *Amaranthus palmeri* S. Wats.; Trompillo *Solanum elaeagnifolium* Cav. ♦ Polocote (common sunflower) *Helianthus annuus* L.; Quelite (Palmer amaranth) *Amaranthus palmeri* S. Wats.; Trompillo (silverleaf nightshade) *Solanum elaeagnifolium* Cav.

Cuadro 2. Escala propuesta por la Sociedad Europea de Investigación en Maleza (EWRS) para evaluar el control de maleza y fitotoxicidad al cultivo causado por herbicidas.**Table 2. Scale proposed by the European Weed Research Society (EWRS) for evaluating herbicide weed control and crop injury caused by herbicides.**

Valor	Control de maleza %	Efecto en maleza	Toxicidad al cultivo %	Efecto en el cultivo
1	99.0 -100.0	Muerte	0.0 - 1.0	Sin efecto
2	96.5 - 99.0	Muy buen control	1.0 - 3.5	Síntomas muy ligeros
3	93.0 - 96.5	Buen control	3.5 - 7.0	Síntomas ligeros
4	87.5 - 93.0	Control suficiente	7.0 - 12.5	Síntomas evidentes sin efecto en rendimiento
5	80.0 - 87.5	Control medio	12.5 - 20.0	Daño medio
6	70.0 - 80.0	Control regular	20.0 - 30.0	Daño elevado
7	50.0 - 70.0	Control pobre	30.0 - 50.0	Daño muy elevado
8	1.0 - 50.0	Control muy pobre	50.0 - 99.0	Daño severo
9	0.0 - 1.0	Sin efecto	99.0 -100.0	Muerte

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Fitotoxicidad

El 2,4-D causó daño medio (19 %) al sorgo 15 DDA, significativamente superior a los síntomas ligeros con prosulfuron y bromoxinil (Cuadro 3); a 30 DDA el daño por 2,4-D aumentó a 25 % considerado elevado, caracterizado por la curvatura de tallos y malformaciones de las hojas, daños típicos por herbicidas hormonales (Baumann *et al.*, 1999). En el mismo tiempo los daños al sorgo causados por prosulfurón fueron ligeros (4 %) y muy ligeros (1 %) por bromoxinil (Cuadro 3). Prosulfurón, herbicida del grupo de las sulfonilureas, basa su selectividad en sorgo y otros cultivos tolerantes en la degradación metabólica en las primeras horas después de su aplicación; por tanto, algunas veces causa daños ligeros, principalmente disminución temporal de la altura de planta (Brown, 1990). Bromoxinil es un herbicida de contacto del grupo de los inhibidores del fotosistema II, su selectividad es excelente en sorgo y sólo causa quemaduras leves en los bordes de las hojas (Baumann *et al.*, 1999).

No se detectaron diferencias significativas de la toxicidad en el sorgo por los herbicidas dependiente del tipo de boquilla entre los 15 y 30 DDA (Cuadro 3). En ambas fechas la toxicidad promedio fue ≤ 10 %. Esto confirma otros resultados que señalan la actividad biológica similar de los herbicidas sistémicos y de contacto con boquillas anti-deriva de pre-orificio y de inducción de aire (Wolf, 2000; Ramsdale y Messersmith, 2001).

which is considered heavy. Damage is characterized by stem curvature and leaf malformations, typical damage caused by hormonal herbicides (Baumann *et al.*, 1999). During the same time period, damage caused to sorghum by prosulfuron was slight (4 %) and by bromoxynil very slight (1 %) (Table 3). Prosulfuron is a herbicide belonging to the group of sulfonilureas; their selectivity is based on the tolerance of sorghum and other crops by metabolic degradation in the first hours after application. For this reason, it sometimes causes light damage, mainly temporal reduction of plant height (Brown, 1990). Bromoxynil is a contact herbicide of the group of photosystem II inhibitors; in sorghum its selectivity is excellent and only causes mild burns on leaves margins (Baumann *et al.*, 1999).

No significant differences were detected in sorghum toxicity of the herbicides dependent on nozzle type between 15 and 30 DDA (Table 3). On both dates, average toxicity was ≤ 10 %. This confirms other results that point out similar biological activity of systemic and contact herbicides applied with pre-orifice and air induction anti-drift nozzles (Wolf, 2000; Ramsdale and Messersmith, 2001).

Common sunflower control

Prosulfuron controlled common sunflower very well at 15 DDA (97 %) and it was significantly superior to bromoxynil and 2,4-D (Table 4). There are similar results obtained with prosulfuron control of common sunflower and other weeds of the Asteraceae family (Ma *et al.*, 1997; Rosales-Robles, *et al.*, 2005). 2,4-D

Control de polocote

Prosulfurón controló muy bien el polocote 15 DDA (97 %) y superó significativamente al bromoxinil y 2,4-D (Cuadro 4). Hay resultados similares con prosulfurón en el control de polocote y otras malezas de la familia Asteraceae (Ma *et al.*, 1997; Rosales-Robles, *et al.*, 2005). 2,4-D regularmente requiere más de 15 DDA para controlar adecuadamente las malezas (Baumann *et al.*, 1999). Los tres herbicidas generaron a los 30 DDA control suficiente del polocote, pero prosulfurón fue significativamente superior a 2,4-D y bromoxinil (Cuadro 4). No se detectaron diferencias significativas en el control de polocote entre los tipos de boquilla a los 15 DDA (89 a 90 %) o 30 DDA (94 a 95 %) (Cuadro 4). Esto concuerda con el control bueno de *Xanthium strumarium* L., maleza de la familia Asteraceae con glifosato, herbicida sistémico, y con paraquat, herbicida de contacto, aplicados con boquillas de abanico plano normal y anti-deriva con inducción de aire (Etheridge *et al.*, 2001),

Control de quelite

El control suficiente de quelite (88 %) se logró con prosulfurón 15 DDA y fue similar al obtenido con bromoxinil (Cuadro 5). El control de quelite y otras malezas de la familia Amaranthaceae es aceptable al usar prosulfurón (Grichar *et al.*, 2000; Rosales-Robles *et al.*, 2011) y bromoxinil (Fuerst *et al.*, 1986). Tanto prosulfurón (94 %) como 2,4-D (91 %) controlaron suficientemente el quelite 30 DDA y superaron al bromoxinil (84 %). No se detectaron efectos significativos en el control de quelite por el tipo de boquilla a 15 y 30 DDA (Cuadro 5). Hay resultados similares para el control de *Amaranthus retroflexus*, otra especie de quelite (Ramsdale y Messersmith, 2001).

Control de trompillo

El control (< 50 %) de trompillo fue muy pobre con prosulfurón y bromoxinil a 15 y 30 DDA (Cuadro 6). El prosulfurón y otros herbicidas del grupo de las sulfonilureas no controlan eficientemente las malezas de la familia Solanaceae (Prostko *et al.*, 1994; Carey *et al.*, 1997), por su transporte limitado y mayor metabolización. (Carey *et al.*, 1997; Buker *et al.*, 2004). El bromoxinil, por ser un producto de contacto,

Cuadro 3. Toxicidad (%) en sorgo causada por herbicidas aplicados con diferente tipo de boquilla. Río Bravo, Tamaulipas (2006-2008).

Table 3. Toxicity (%) in sorghum caused by herbicides applied with different nozzle types. Río Bravo, Tamaulipas (2006-2008).

Factor	Días después de la aplicación	
Herbicida [†] :	15	30
Prosulfurón	5 b	4 b
2,4-D	19 a	25 a
Bromoxinil	3 b	1 b
Boquilla [‡] :		
Convencional	9 a	10 a
Pre-orificio	9 a	9 a
Inducción aire	9 a	10 a
CV (%)	2.9	9.1

[†]Promedio de boquillas ♦ Average of nozzles.

[‡]Promedio de herbicidas. Medias con distinta letra dentro de columnas por factor y fecha de evaluación son estadísticamente diferentes (Tukey, $p \leq 0.05$) ♦ Average of herbicides. Means with different letters within a column, by factor and date of evaluation, are statistically different (Tukey, $p \leq 0.05$).

normally needs more than 15 DDA for adequate weed control (Baumann *et al.*, 1999). The three herbicides sufficiently controlled common sunflower

Cuadro 4. Control (%) de polocote *Helianthus annuus* L. por herbicidas aplicados con diferente tipo de boquilla. Río Bravo, Tamaulipas (2006-2008).

Table 4. Control (%) of common sunflower *Helianthus annuus* L. by herbicides applied with different nozzle types. Río Bravo, Tamaulipas (2006-2008).

Factor	Días después de la aplicación	
Herbicida [†] :	15	30
Prosulfurón	97 a	97 a
2,4-D	79 c	94 b
Bromoxinil	93 b	92 b
Boquilla [‡] :		
Convencional	90 a	95 a
Pre-orificio	90 a	94 a
Inducción aire	89 a	94 a
CV (%)	2.9	2.5

[†]Promedio de boquillas ♦ Average of nozzles.

[‡]Promedio de herbicidas. Medias con distinta letra dentro de columnas por factor y fecha de evaluación son estadísticamente diferentes (Tukey, $p \leq 0.05$) ♦ Average of herbicides. Means with different letters within a column, by factor and date of evaluation, are statistically different (Tukey, $p \leq 0.05$).

Cuadro 5. Control (%) de quelite *Amaranthus palmeri* S. Wats por herbicidas aplicados con diferente tipo de boquilla. Río Bravo, Tamaulipas (2006-2008).
Table 5. Control (%) of Palmer amaranth *Amaranthus palmeri* S. Wats, by herbicides applied with different nozzle types. Río Bravo, Tamaulipas (2006-2008).

Factor	Días después de la aplicación	
Herbicida [†] :	15	30
Prosulfurón	88 a	94 a
2,4-D	81 b	91 a
Bromoxinil	85 a	84 b
Boquilla [‡] :		
Convencional	85 a	90 a
Pre-orificio	85 a	90 a
Inducción aire	84 a	90 a
CV (%)	3.8	4.2

[†]Promedio de boquillas ♦ Average of nozzles.

[‡]Promedio de herbicidas. Medias con distinta letra dentro de columnas por factor y fecha de evaluación son estadísticamente diferentes (Tukey, $p \leq 0.05$) ♦ Average of herbicides. Means with different letters within a column, by factor and date of evaluation, are statistically different (Tukey, $p \leq 0.05$).

presentó efectos limitados en el trompillo, que es una especie perenne con reproducción vegetativa.

El 2,4-D presentó control regular (78 %) del trompillo 15 DDA y aumentó a control suficiente 30 DDA (Cuadro 6). Rosales-Robles *et al.* (2011) obtuvieron resultados similares en esta región. Los herbicidas hormonales, como el 2,4-D, son eficientes en el control del trompillo (Eleftherohorinos *et al.*, 1993). Como en el caso de las otras malezas, no se observaron efectos significativos en el control de trompillo por el tipo de boquilla (Cuadro 6).

Rendimiento

El prosulfurón controló bien el polocote y el quelite y no causó daños al sorgo por lo que el rendimiento de grano fue 5200 kg ha⁻¹, similar al obtenido con bromoxinil (4920 kg ha⁻¹). El 2,4-D lo redujo significativamente (11 %) respecto a prosulfurón, debido a los daños por toxicidad al sorgo (Cuadro 7). No se observaron efectos significativos en el rendimiento de sorgo debidos al tipo de boquilla. El testigo tuvo reducción de 63 % con respecto a prosulfurón, debido a la competencia por luz, agua y nutrientes del sorgo con las malezas.

at 30 DDA; prosulfurón, however, was significantly more effective than 2,4-D and bromoxynil (Table 4). No significant differences in common sunflower control were detected among nozzle types 15 DDA (89 to 90 %) or 30 DDA (94 to 95 %) Table 4). This coincides with good control of *Xanthium strumarium* L., weed of the Asteraceae family, with both systemic herbicide glyphosate and contact herbicide paraquat, applied with conventional flat fan nozzles and air induction anti-drift nozzles (Etheridge *et al.*, 2001).

Palmer amaranth control

Adequate control of Palmer amaranth (88 %) was achieved with prosulfurón 15 DDA and was similar to that obtained with bromoxynil (Table 5). There is acceptable control of Palmer amaranth and other weeds of the Amaranthaceae family by prosulfurón (Grichar *et al.*, 2000; Rosales-Robles *et al.*, 2011) and by bromoxynil (Fuerst *et al.*, 1986) has been reported. Both prosulfurón (94 %) and 2,4-D (91 %) sufficiently controlled Palmer amaranth 30 DDA and were superior to bromoxynil (84 %). No significant effects on Palmer amaranth control were detected by nozzle type at 15 and 30 DDA (Table

Cuadro 6. Control (%) de trompillo *Solanum elaeagnifolium* Cav. por herbicidas aplicados con diferente tipo de boquilla. Río Bravo, Tamaulipas (2006-2008).
Table 6. Control (%) of silverleaf nightshade *Solanum elaeagnifolium* Cav. by herbicides applied with different nozzle types. Río Bravo, Tamaulipas (2006-2008).

Factor	Días después de la aplicación	
Herbicida [†] :	15	30
Prosulfurón	11 c	10 c
2,4-D	78 a	90 a
Bromoxinil	33 b	27 b
Boquilla [‡] :		
Convencional	41 a	43 a
Pre-orificio	41 a	42 a
Inducción aire	39 a	41 a
CV (%)	5.7	8.8

[†]Promedio de boquillas ♦ Average of nozzles.

[‡]Promedio de herbicidas. Medias con distinta letra dentro de columnas por factor y fecha de evaluación son estadísticamente diferentes (Tukey, $p \leq 0.05$) ♦ Average of herbicides. Means with different letters within a column, by factor and date of evaluation, are statistically different (Tukey, $p \leq 0.05$).

Cuadro 7. Rendimiento de grano de sorgo tratado con herbicidas aplicados con diferente tipo de boquilla. Río Bravo, Tamaulipas (2006-2008).

Table 7. Grain yield of sorghum treated with herbicides applied with different nozzle types. Rio Bravo, Tamaulipas (2006-2008).

Herbicidas [†]	kg ha ⁻¹	Boquillas [‡]	kg ha ⁻¹
Prosulfurón	5200 a	Convencional	4950 a
2,4-D	4590 b	Pre-orificio	4880 a
Bromoxinil	4920 ab	Inducción aire	4850 a
Testigo	1900		
CV (%)	8.0		

[†] Promedio de boquillas ♦ Average of nozzles.

[‡] Promedio de herbicidas. Medias con distinta letra dentro de columnas por factor son estadísticamente diferentes (Tukey, $p \leq 0.05$) ♦ Average of herbicides. Means with different letters within a column, by factor and date of evaluation, are statistically different (Tukey, $p \leq 0.05$).

CONCLUSIONES

El tipo de boquillas no modificó la acción herbicida de prosulfurón, 2, 4-D y bromoxinil en las malezas evaluadas. El prosulfurón mostró muy buen control de polocote y fue estadísticamente superior al de 2,4-D y bromoxinil. El prosulfurón y 2,4-D lograron control suficiente de quelite, y 2,4-D control aceptable de trompillo. Únicamente 2,4-D causó daños al sorgo, que afectaron significativamente su rendimiento. Las boquillas anti-deriva de orificio y de inducción son una alternativa para disminuir la deriva de herbicidas aplicados en post-emergencia aplicados en sorgo para grano.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a la Fundación Produce Tamaulipas, A.C. el apoyo financiero de este trabajo y a Esteban Robles Escariola por su apoyo técnico en la conducción de la investigación.

LITERATURA CITADA

- Baumann, P. A., P. A. Dotray, and E. P. Prostko. 1999. Herbicides: how they work and the symptoms they cause. Texas Agricultural Extension Service. Texas A&M Univ. B-6081. 12 p.
- Brown, H. M. 1990. Mode of action, crop selectivity, and soil relations of the sulfonylurea. *Pestic.Sci.* 29: 263-281.
- Buker, R. S., B. Rathinasapathi, W. M. Stall, G. MacDonald, and S. M. Olson. 2004. Physiological basis for differential

5). There are similar results for *Amaranthus retroflexus* control, another species of pigweed (Ramsdale and Messermith, 2001).

Silverleaf nightshade control

Silverleaf nightshade control (<50 %) provided by prosulfuron and bromoxynil was very poor (Table 6). Prosulfuron and other herbicides of the sulfonylureas are not effective in controlling weeds of the Solanaceae family (Prostko *et al.*, 1994; Carey *et al.*, 1997), which have limited transport and metabolize this group of herbicides (Carey *et al.*, 1997); Buker *et al.*, 2004). Bromoxynil, a contact product, had limited effects on silverleaf nightshade, which is a perennial species that reproduces vegetatively.

2,4-D showed an intermediate control (78 %) of silverleaf nightshade at 15 DDA, but by 30 DDA control increased to sufficient (Table 6). Rosales-Robles *et al.* (2011) obtained similar results in this region. Hormonal herbicides, such as 2,4-D, are effective to control of silverleaf nightshade (Eleftherohorinos *et al.*, 1993). As was the case of the other weeds, no significant effects were observed in silverleaf nightshade control due to nozzle type (Table 6).

Yield

Common sunflower and Palmer amaranth were well controlled by prosulfuron that did not cause damage to sorghum; thus, grain yield was 5200 kg h⁻¹, similar to that obtained with bromoxynil (4920 kg ha⁻¹). 2,4-D reduced yield significantly (11 %), relative to prosulfuron, because of toxicity damage to sorghum (Table 7). No significant effects in sorghum yield due to nozzle type were observed. The control had a yield 63 % lower than that of prosulfuron due to competition of sorghum with weeds for light, water and nutrients.

CONCLUSIONS

Nozzle type did not modify the herbicide action of prosulfuron, 2,4-D or bromoxynil on evaluated weeds. Prosulfuron showed very good common sunflower control that it was statistically superior to that of 2,4-D and bromoxynil. Both prosulfuron and 2,4-D provided adequate control of Palmer

- tolerance of tomato and pepper to rimsulfuron and halosulfuron: site of action study. *Weed Sci.* 52: 201-205.
- Carey, J. D., D. Penner, and J. J. Kells. 1997. Physiological basis for nicosulfuron and primisulfuron selectivity in five plant species. *Weed Sci.* 45: 22-30.
- Eleftherohorinos, I. G., C. E. Bell, and E. Kotoula-Syka. 1993. Silverleaf nightshade (*Solanum elaeagnifolium*) control with foliar herbicides. *Weed Tech.* 7: 808-811.
- Etheridge, R. E., A. R. Womac, and T. C. Mueller. 1999. Characterization of the spray droplet spectra and patterns of four venture-type drift reduction nozzles. *Weed Tech.* 13: 765-770.
- Etheridge, R. E., W. E. Hart, R. M. Hayes, and T. C. Mueller. 2001. Effect of venturi-type nozzles and application volume on postemergence herbicide efficacy. *Weed Tech.* 15: 75-80.
- Frans, R., R. Talbert, D. Marx, and H. Crowley. 1986. Experimental design and techniques for measuring and analyzing plant response to weed control practices. *In: Camper, N. D.* (ed). *Research Methods in Weed Science*. 3rd Edition. Southern Weed Science Society, Champaign, Illinois. USA. pp: 20-46.
- Fuerst, E. P., M. Barret, and D. Penner. 1986. Control of triazine-resistant common lambsquarters (*Chenopodium album*) and two pigweed species (*Amaranthus* spp.) in corn (*Zea mays*). *Weed Sci.* 34: 440-443.
- Grichar, W. J., D. C. Sestak, K. Brewer, and B. Minton. 2000. Weed control with CGA 152005 and peanut (*Arachis ipogea*) response. *Weed Tech.* 14: 218-222.
- Hofman V., and E. Solseng. 2001. Reducing spray drift. North Dakota State University. Publication AE-1210. Fargo, North Dakota. USA. 8 p.
- Lentner, M., and T. Bishop. 1993. *Experimental Design and Analysis*. Valley Book Co. Blacksburg, VA. USA. 585 p.
- Ma, G., H. D. Coble, F. T. Corbin and J. D. Burton. 1997. Physiological mechanisms for differential responses of three weed species to prosulfuron. *Weed Sci.* 45: 642-647.
- Prostko, E. P., J. Ingerson-Mahar, and B. A. Majek. 1994. Post-emergence horsenettle (*Solanum carolinense*) control in field corn (*Zea mays*). *Weed Tech.* 8: 441-444.
- Ramsdale, B. K., and C. G. Messersmith. 2001. Drift-reducing nozzle effects on herbicide performance. *Weed Tech.* 15: 453-460.
- amaranth and 2,4-D achieved a sufficient control of silverleaf nightshade. Only 2,4-D caused injury to sorghum that significantly affected its yield. Pre-orifice and air-induction anti-drift nozzles are an alternative to reduce postemergence herbicides drift applied in grain sorghum.

—End of the English version—



- Regehr, D. L., D. E. Peterson, W. H. Fick, P. W. Stahlman, and R. E. Wolf. 2011. *Chemical Weed Control for Field Crops, Pastures, Rangeland, and Noncropland*. Report of Progress 1045. Manhattan, KS: Kansas State University. 123 p.
- Rosales-Robles E., R. Sánchez de-la-Cruz, J. Salinas-García, y V. Pecina-Quintero. 2005. Broadleaf weed management in grain sorghum with reduced rates of postemergence herbicides. *Weed Tech.* 19: 385-290.
- Rosales-Robles E., R. Sánchez de-la-Cruz., y P. A. Cerda-García. 2011. Control químico de maleza de hoja ancha en sorgo para grano. *Rev. Fitotec. Mex.* 34: 269-275.
- SAGARPA-SIAP (Sistema de Información Agroalimentaria y Pesquera). 2011. <http://www.siap.sagarpa.gob.mx>. Cierre de producción agrícola por estado. (Consultado: enero 2012).
- Silva-Flores, M. A., J. C. Rodríguez-Maciél, O. Díaz-Gómez, y N. Bautista-Martínez. 2005. Efectividad biológica de un derivado de ácido graso para el control de *Macrosiphum rosae* L. (Homoptera: Aphididae) y *Tetranychus urticae* Koch (Acari: Tetranychidae). *Agrociencia* 39: 319-325.
- Silva-Serna M., y L. Hess-Martínez. 2001. Caracterización del clima en el norte de Tamaulipas y su relación con la agricultura. INIFAP. Campo Experimental. Río Bravo Tamaulipas. Pub. Técnica No. 1. 52 p.
- Yates, W. E., R. E. Cowden, and N. B. Akesson. 1985. Drop size spectra from nozzles in high speed airstream. *Trans. Am. Soc. Agric. Eng.* 28: 405-410.
- Wolf, T. M. 2000. Low-drift nozzle efficacy with respect to herbicide mode of action. *Aspects Appl. Biol.* 57: 29-34.
- Wolf, T. 2009. Best management practices for herbicide application technology. *Prairie Soils and Crops* 2: 24-30