

Efectos de ripio de perforación petrolera de base agua sobre el crecimiento de la soya

Water-based drilling cutting effects on soybean growth

C.J. Rivero¹, J. Mayz^{2*} y M.C. Sánchez³

¹Universidad de Oriente, Núcleo de Monagas, Campus "Juanico", Postgrado en Agricultura Tropical, Maturín, estado Monagas, Venezuela. ²Universidad de Oriente, Núcleo de Monagas, Campus "Juanico", Laboratorio de Rizobiología, Maturín, estado Monagas, Venezuela. ³Universidad de Oriente, Núcleo de Monagas, Campus "Los Guaritos", Escuela de Ingeniería Agronómica, Departamento de Agronomía, Maturín, Estado Monagas, Venezuela.

Resumen

El vertido de fluidos de perforación petrolera sobre tierras agrícolas podría producir efectos negativos en el crecimiento y desarrollo de los cultivos y en las propiedades del suelo. En este contexto, se evaluó el efecto de concentraciones de un ripio de perforación de base agua (0, 2, 4, 6, 8 y 10%) sobre los contenidos de metales pesados de un suelo de sabana y en caracteres vegetativos de soya (*Glycine max* (L.) Merr.). Con respecto al suelo testigo, las concentraciones de Cd, Ni y Pb se mantuvieron como trazas y el Fe conservó valores similares a través de las combinaciones; mientras que las de Cr, Zn y Ba se incrementaron. El diámetro del cuello, número de hojas y altura de las plantas fueron mayores en las combinaciones de 8 y 10%, particularmente en la quinta y sexta semana.

Palabras clave: *Glycine max*, contaminación petrolera, suelo de sabana, ripio de perforación.

Abstract

The spill of petroleum drilling fluids on crop lands would produce negative effects on growth and development of crops and soil properties. In this context, water-based drilling cuttings concentrations (0, 2, 4, 6, 8 and 10%) effect on heavy metal concentrations of savannah soil and vegetative characters of

Recibido el 30-6-2010 • Aceptado el 5-9-2011

Autor de correspondencia e-mail: cesarjriveroq@hotmail.com; julianamayz@cantv.net; udomariaclaudia@yahoo.com

soybean (*Glycine max* (L.) Merr.) were evaluated. Respect to control soil, Cd, Ni and Pb concentrations, steady as traces and Fe conserved similar values through out the combinations, while increasing Cr, Zn and Ba concentrations. Stem diameter, leaves number and plant height were higher at 8 and 10% combinations, particularly at weeks five and six.

Key words: *Glycine max*, oil contamination, savannah soil, drilling cuttings.

Introducción

Un fluido de perforación es una mezcla de arcilla y productos químicos diluidos en agua o aceite, utilizado para enfriamiento, estabilización de las paredes, sellado de los poros y control de la presión del pozo petrolero, lubricación de las tuberías y como medio de acumulación y arrastre de la roca excavada o ripios de perforación (Kisic *et al.*, 2009). El fluido base agua ($\pm 90\%$) es considerado ambientalmente amigable, cuyo uso es generalmente en las primeras secciones de los pozos de perforación, el cual surgió por la necesidad de utilizar un fluido económico; sin embargo, presenta baja efectividad a altas temperaturas, en suelos inestables, en presencia de ángulos agudos de perforación y en suelos salinos. El fluido base aceite utiliza gasoil o aceites minerales y aparece en el año 1950 para solventar los problemas de los lodos base agua, siendo utilizado en sus inicios diesel o gasoil como la base aceitosa; producen menores cantidades de desecho, al permitir ser reciclados o reutilizados después de su tratamiento, siendo baja biodegradabilidad y alta toxicidad, por lo que su disposición es costosa. Es por ello que nació una segunda generación los llamados de baja toxicidad, en los cuales se han disminuido a un mínimo la cantidad de com-

Introduction

A perforation fluids is a mixture of clay and chemical products water or oil diluted, used for freezing or heating, walls stabilization, pores sealed and control of petroleum pressure, pipes lubrication and as accumulation and dragging of dig rock or drilling cutting (Kisic *et al.*, 2009). The water-based fluid ($\pm 90\%$) is considered like friendly from the environmental point of view, generally used in first sections of oil wells, which comes by the necessity of using an economic fluid; however, shows low effectiveness to high temperatures, on instable soils, in presence of drilling acute angles and en saline soils. The oil-based fluid use diesel or mineral oils and appears at 1950 year to solvent problems of water-base muds, being used in its diesel beginnings like the oil base; produce lower waste quantities, by permitting to be recycled or re used after its treatment, being low biodegradability and high toxicity, thus, its disposition is expensive. Therefore, a second generation was emerged, those called low toxicity, where the quantity of aromatic polycycle compound and olefinic chains have been reduced to a minimum that gave diesel its toxicity characteristics (Berry, 2009). Once drilling of a well finished, frequently

puestos policíclicos aromáticos y cadenas olefinicas que le dan las características de toxicidad al diesel (Berry, 2009). Una vez completada la perforación de un pozo, a menudo los rípios son vertidos sobre el suelo, muchas veces sobre tierras de vocación agrícola, produciendo cambios en las propiedades físicas, químicas y microbiológicas, de tal manera, que solventar adecuadamente el impacto ambiental, se encuentra dentro de las prioridades fundamentales de la industria petrolera, tanto en el ámbito nacional como internacional (Venezuela, 1998; Kisic *et al.*, 2009).

Son muchos los estudios que muestran el impacto negativo de los rípios de perforación sobre el crecimiento y el desarrollo de las plantas y en las propiedades del suelo (Zvomuya *et al.*, 2008); sin embargo existen discrepancias entre los estudios, explicadas por las variaciones en los contenidos de metales pesados en los tipos de rípios de perforación y a las concentraciones usadas (Bauder *et al.*, 2005).

Los propósitos del presente estudio incluyen: determinar el efecto de la aplicación de rípio petrolero base agua sobre la concentración de metales pesados en un suelo de sabana y evaluar los caracteres vegetativos en soya cultivada en diferentes concentraciones de este rípio.

Materiales y métodos

El experimento se instaló en invernadero (Universidad de Oriente, Campus "Juanico", Maturín: 10°44' LN y 63°23' LO, 90 msnm, Estado Monagas, Venezuela), bajo el diseño

the cuttings are spilled on soil, many times on agricultural lands, producing changes in physical, chemical and microbiological properties, such a way that to solve the environmental impact properly, is taken as a part of essential priorities of oil industry, both national and international (Venezuela, 1998; Kisic *et al.*, 2009).

There are a lot of studies that shows the negative impact of drilling cuttings on behavior and development of plants and on soil properties (Zvomuya *et al.*, 2008); nevertheless, there are discrepancies between the studies explained by the variations in contents of heavy metals in types of drilling cuttings and to the concentrations used (Bauder *et al.*, 2005).

The purposes of this research includes: to determine the effect of water-based petroleum cutting application on heavy metals concentration in a savanna soil and to evaluate the vegetative characters in soybean cultivated at different cutting concentrations.

Materials and methods

The experiment was carried out in glass house (Orient University, Campus "Juanico", Maturín: 10°44' NL and 63°23' WL, 90 masl, Monagas state, Venezuela), under at random design with four replications, with savanna soil, Oxiplinthustulf type, coming from Savanna Experimental Station, Orient University, Campus "Jusepín", Jusepín, Monagas state, where several water-based drilling cuttings concentrations were applied (0, 2, 4, 6, 8 and 10%), for a total of

de bloques al azar con cuatro repeticiones, con suelo de sabana de tipo Oxicplinthustulf proveniente de la Estación Experimental de Sabana de la Universidad de Oriente, Campus "Jusepín", Jusepín, Estado Monagas, al cual se le aplicaron varias concentraciones de ripio de perforación de base agua (0, 2, 4, 6, 8 y 10%), para un total de seis tratamientos. Tanto el suelo de sabana como el ripio petrolero de la empresa Venline (El Furrial, Estado Monagas) se analizaron para fertilidad, microelementos, salinidad y metales; además, se determinaron metales pesados en las mezclas y en el follaje de las plantas a los 47 días después de la siembra. Los análisis se realizaron en el Laboratorio de Servicios Agroambientales de la Universidad de Oriente (LABSEA, UDO).

Las semillas de soya de la variedad Samba (Empresa GROSOSCA, Estado Monagas) se desinfectaron con una solución de cloro al 10%, durante 3 min, luego se lavaron siete veces con agua destilada estéril, dejándolas remojar por una hora en el agua de lavado final. Se sembraron a razón de tres semillas por bolsa de polietileno de 3 kg de capacidad, cargadas con el suelo previamente mezclado con la concentración de ripio de perforación al tratamiento correspondiente, inoculándose justo antes de la siembra con *Bradyrhizobium japonicum* (BIOAGRO 10), el cual se preparó e incorporó a las semillas de acuerdo con las recomendaciones. La fertilización se aplicó al momento de la siembra: 95,2 mg de $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$, 93,1 mg de KH_2PO_4 y 20,9 mg de KCl por bolsa. El riego se realizó cada 3 días (300-

six treatments. Both savanna soil and petroleum cutting, were supplied by "Venline" enterprise ("El Furrial", Monagas state), they were assessed for fertility, micro elements, salinity and metals; also, heavy metals were determined on mixtures and on plants foliage at 47 days after sowing. The analyses were accomplished in the Agro Environmental Services Laboratory of the Orient University (LABSEA, UDO).

Soybean seeds of 'Samba' variety (GROSOSCA enterprise, Monagas state) were disinfected with a chloride solution to 10%, during 3 min, after that, they were seven times washed with sterile distilled water, leaving them soaked during one hour in water of final wash. Three seeds were sowed by each polyethylene bag with capacity of 3 kg, charged with soil previously mixed with drilling cutting concentration to the correspondent treatment, being inoculated just before sowing with *Bradyrhizobium japonicum* (BIOAGRO 10), which was prepared and added to seeds according to recommendations. Fertilization was applied to the treatment at the moment of sowing: 95.2 mg of $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$, 93.1 mg de KH_2PO_4 and 20.9 mg of KCl by bag. Irrigation was done each 3 days (300-400 mL of running water by bag) to cover plants requirement and control of samples was manually accomplished.

The height, neck diameter and number of leaves by sprout, were weekly evaluated from second until sixth week (flowering beginning) after sowing. The analysis of variance was done to the design and means were compared through the minimum significant difference ($P \leq 0.05$).

400 mL de agua corriente por bolsa) para cubrir los requerimientos de las plantas y el control de malezas se efectuó de forma manual.

Se evaluaron altura, diámetro del cuello y número de hojas del vástago, semanalmente a partir de la segunda semana y hasta la sexta semana (inicio de la floración) después de la siembra. Se realizó el análisis de varianza correspondiente al diseño y se compararon las medias mediante la mínima diferencia significativa ($P \leq 0,05$).

Resultados y discusión

Características físico-químicas de los sustratos

El suelo de sabana (testigo) presentó clase textural areno-francosa, pH ligeramente ácido, muy baja concentración de fósforo, potasio y materia orgánica; niveles medios de calcio, magnesio, capacidad de intercambio catiónico efectiva (CICE) y trazas de aluminio. Los microelementos zinc, cobre y manganeso se encontraron por debajo de los valores de referencia y los metales pesados en trazas, exceptuando el hierro total. El análisis de salinidad mostró valores para la conductividad eléctrica (CE) y la relación de absorción de sodio (RAS) por debajo de los niveles normales (cuadro 1).

El ripio de perforación base agua mostró clase textural franco-arcillo-arenosa, probablemente por la cantidad de arcilla que se adiciona durante el proceso de perforación del pozo petrolero, pH muy alcalino, bajas concentraciones de fósforo y materia orgánica, y sodio no detectable, en con-

Results and dicussion

Physical-chemical characteristics of substrates

The savanna soil (control) showed textural sandy loam class, lightly acid pH, very low phosphorous, potassium and organic matter concentration; medium levels of calcium, magnesium, effective cationic exchange capacity (ECEC) and aluminum traces. The micro elements zinc, copper and manganese were below reference values and heavy metals in traces, except the total iron. The salinity analysis showed values for electrical conductivity (EC) and sodium absorption relation (SAR) below normal levels (table 1).

The water-based drilling cutting showed sandy-clay-loam class, probable because the clay quantity added during oil well drilling process, very alkaline pH, low phosphorous and organic matter concentrations, and undetectable sodium, unlike high levels of calcium and potassium and of micro elements zinc, copper, iron and manganese, being greater than in soil. Heavy metals were found in very low concentrations, with exception of total iron, above the permissible limit. The salinity analysis revealed moderate EC and SAR very close to the low permitted limit (table 1). It is evident that both macro and micro elements, were found in higher concentrations in water-based drilling cutting than in savanna soil, which shows that drillin cutting could be used as fertilizer through the incorporation on soil in low concentrations and with frequent physical and chemical analysis;

Cuadro 1. Análisis de fertilidad, microelementos, salinidad y metales pesados realizado al suelo de sabana y al ripio de perforación de base agua, antes de la siembra.

Table 1. Analysis of fertility, micro-elements, salinity and heavy metals done in the soils of Savannah and perforation gravels of water basement before the sow.

Identificación	Unidad	Fertilidad				Determinación	
		Valores de referencia ¹				Suelo ²	Ripio ³
		Bajo	Medio	Alto			
pH					5,2	9,0	
P	mg kg ⁻¹	<11	>11-30	>30	1,97	2,30	
Ca	me 100g ⁻¹ de suelo	<0,50	>0,50-1	>1	0,88	3,16	
Mg		<0,25	>0,25-0,65	>0,65	0,43	1,12	
K		<0,13	>0,13-0,26	>0,26	0,02	0,70	
Al		<0,25	>0,25-0,50	>0,50	Trazas	Trazas	
H					0,13	0,13	
CICE					1,46	5,11	
Saturación de Al	%	<1,5	>1,5-3,0	>3,0	0,00	0,00	
Materia Orgánica					0,70	1,47	
Textura							
Arcilla	%				7,2	29,2	
Clase						Areno-francosa	
Microelementos							
Zn	mg kg ⁻¹	<1,5	>1,5-2,5	>2,5	0,88	8,64	
Cu		<0,8	>0,8-1,2	>1,2	Trazas	0,84	
Mn		>1,5	>1,5-2,5	>2,5	0,6	37,10	
Fe		<7,0	>7,0-11,0	>11,0	20,40	97,60	

¹Laboratorio de servicios agroambientales (LABSEA), Universidad de Oriente, Núcleo de Monagas, Maturín. ²Suelo de sabana tipo Oxiclethustulif. ³Ripio de perforación de base agua.

Cuadro 1. Análisis de fertilidad, microelementos, salinidad y metales pesados realizado al suelo de sabana y al ripio de perforación de base agua, antes de la siembra (Continuación).

Table 1. Analysis of fertility, micro-elements, salinity and heavy metals done in the soils of Savannah and perforation gravels of water basement before the sow (Continuation).

		Salinidad			
		Suelo ²		Ripio ³	
	me L ⁻¹	Niveles normales	Determinación	Límite	Determinación
Sulfatos		>5,2	0,106		1,83
Carbonatos		<5,0	Trazas		0,216
Bicarbonatos		<10,0	0,108		3,67
Cloruros		>2,5	Trazas	<2.500,0	2,27
Ca		>3,0	0,255		1,212
Mg		>1,0	0,175		0,192
K			0,136		0,508
Na			0,061		6,69
RAS		>15,0	0,13	<8,0	7,96
CE				<3,5	1,48

		Metales pesados			
		Suelo ²		Ripio ³	
	mg kg ⁻¹	Determinación	Límite	Determinación	
Pb		Trazas	150,0		13,0
Ni		Trazas			35,5
Ba		Trazas	20.000,0		395,5
Cd		Trazas	8,0		Trazas
Cr		Trazas	300,0		16,0
Zn		Trazas	300,0		108,5
Fe		4.415,0	23.405,0		38.225,0

¹Laboratorio de servicios agroambientales (LABSEA), Universidad de Oriente, Núcleo de Monagas, Maturín. ²Suelo de sabana tipo Oxieplinthustulf. ³Ripio de perforación de base agua.

traposición con los niveles altos de calcio y potasio y de los microelementos zinc, cobre, manganeso y hierro, siendo mucho mayores que en el suelo. Los metales pesados se encontraron en concentraciones muy bajas, a excepción del hierro total, que se halló por encima del límite permisible. El análisis de salinidad reveló moderada CE y RAS muy cercana al límite menor permitido (cuadro 1). Es evidente que tanto los macro como los microelementos se encontraron en mayores concentraciones en el ripio de perforación de base agua que en el suelo de sabana, lo cual indica que el ripio de perforación pudiera ser utilizado como fertilizante a través de su incorporación en el suelo en bajas concentraciones y con análisis físico-químicos frecuentes; sin embargo, algunas características tales como el pH, la cantidad de arcilla y la CICE pudieran afectar negativa o positivamente la absorción de los nutrimentos. El ripio de perforación concretamente presenta pH muy alcalino, porcentaje de arcilla de 29% y CICE efectiva de 5,11, factores que podrían significar la fijación o el predominio de formas no disponibles e intercambiables de los elementos (Roca *et al.*, 2007), cuyos efectos negativos se trasladarían al suelo con el cual se combine, sin dejar de enfatizar que también lo serían los efectos favorables.

Evaluación de caracteres vegetativos en soya

Los análisis de varianza para el diámetro del cuello de las plantas de soya exhibieron para las dos semanas después de la siembra la ausencia de diferencias estadísticamente

however, some characteristics such as pH, clay quantity and ECEC could affect negatively or positively the absorption of nutrients. The drilling cutting shows very alkaline pH, clay percentage of 29% and effective ECEC of 5.11, factors signifying the fixation or predominance of unavailable and exchangeable ways elements (Roca *et al.*, 2007), with negative effects for soil in combination with, without leaving to emphasize the favorable effects.

Evaluation of vegetative characteristics in soybean

The analysis of variance for neck diameter of soybean plants showed for the two weeks after sowing, the absence of differences statistically significant ($F=1.63$) between concentrations of water-based drilling cuttings, unlike results of weeks three, four, five and six where differences were observed between treatments applied ($F_{2.90, 2.95, 7.50}$ and 6.38 respectively). The results of weeks three to six after sowing point at a favorable effect of all the water-based drilling cuttings concentrations on thickness of sprout, particularly of 8 and 10% concentrations, which not differs statistically from control to week five, and on week six where disparity with the rest of treatments was marked (0.221 cm, both mixtures) (table 2).

The analysis of variance for plant height showed significant differences between treatments, only for the fifth and sixth growing week ($F=4.71$ and 4.76); nevertheless, the positive effect of incorporation of water-based drilling cutting was observed from second week, with a tendency to increase from

significativas ($F=1,63$) entre las concentraciones de ripo de perforación de base agua usadas, contrastando con los resultados de las semanas tres, cuatro, cinco y seis donde se presentaron diferencias entre los tratamientos aplicados ($F=2,90$, $2,95$, $7,50$ y $6,38$ respectivamente). Los resultados de las semanas tres a seis después de la siembra apuntan hacia un efecto favorable de todas las concentraciones del ripo de perforación de base agua sobre el grosor del vástago, particularmente de las concentraciones de 8 y 10%, las cuales no se diferencian estadísticamente del testigo hasta la semana cinco, siendo en la semana seis donde la desigualdad con el resto de los tratamientos estuvo marcada (0,221 cm, para ambas mezclas) (cuadro 2).

Los análisis de varianza para la altura de las plantas mostraron diferencias significativas entre los tratamientos, sólo para la quinta y sexta semana de crecimiento ($F=4,71$ y $4,76$); sin embargo, el efecto positivo de la incorporación del ripo de perforación de base agua se observó a partir de la segunda semana, con una tendencia a incrementar a partir de la concentración de 4%, y con un marcado efecto favorable de la concentración de 8% en la quinta y sexta semana, con valores (15,550 y 25,558 cm de altura) significativamente iguales a los resultantes con la concentración de 10% (15,083 y 24,022 cm) pero diferentes a los valores encontrados en el testigo (9,902 y 15,839 cm) (cuadro 2).

Similarmente a la altura de las plantas, el número de hojas por planta estuvo influenciado por las con-

centration of 4%, and with a strong favorable effect of concentration of 8% in fifth and sixth week, with values (15,550 and 25,558 cm height) significant equal to those resultant with concentration of 10% (15,083 and 24,022 cm) but different to values found in control (9,902 and 15,839 cm) (table 2).

Like plants height, the number of leaves was influenced by concentrations of water-based drilling cutting applied for the fifth and sixth growing week ($F=5.25$ and 3.44), with tendency to increase from concentration of 4% during periods evaluated, being the best response for the concentration of 8%, being obtained the higher values on fifth (11.029 leaves plant⁻¹) and sixth week (15.111 leaves plant⁻¹), similar to those resultant with concentration of 10% (9.889 and 13.945 leaves plant⁻¹) and different to control (5.750 and 10.250 leaves plant⁻¹) (table 2).

In general, the application of water-based drilling cutting to savanna soil improved the soybean growth 'Samba' variety, measured through the stem diameter, number of leaves and plants height. This consequence can be caused by any of components of drilling cutting or to the increase of micronutrients or macronutrients. The attributes of water-based drilling cuttings have been reported by Bauder *et al.* (1999), who found in sorghum cv. DeKalb STC-6 that from application of 15 g kg⁻¹ of soil, the dry matter yield increased. Bauder *et al.* (2005) found in wheat cv. TAM 107 that application of 17-94 Mg ha⁻¹ increased grains production in comparison to control.

Cuadro 2. Diámetro del cuello, altura y número de hojas de plantas de soya cultivadas en varias concentraciones de ripio de perforación de base agua.

Table 2. Diameter of neck, height and leaves number of soybean plants cultivated at several concentrations of water-based drilling cutting.

Concentración de ripio de perforación base agua (%)	Diámetro del cuello (cm) Semanas después de la siembra				
	2	3	4	5	6
	0	0,110	0,114 ^{ab}	0,125 ^{ab}	0,104 ^a
2	0,090	0,072 ^b	0,069 ^b	0,058 ^c	0,072 ^c
4	0,164	0,138 ^a	0,133 ^{ab}	0,161 ^{ab}	0,188 ^{ab}
6	0,139	0,135 ^{ab}	0,145 ^a	0,152 ^{ab}	0,175 ^{ab}
8	0,178	0,174 ^a	0,181 ^a	0,196 ^a	0,221 ^a
10	0,169	0,161 ^a	0,175 ^a	0,186 ^a	0,221 ^a

Concentración de ripio de perforación base agua (%)	Altura (cm) Semanas después de la siembra				
	2	3	4	5	6
	0	7,375	8,707	8,492	9,902 ^{bc}
2	4,832	5,116	6,616	4,966 ^c	8,730 ^c
4	8,739	9,409	12,308	13,731 ^{ab}	22,656 ^{ab}
6	7,672	8,784	11,319	13,183 ^{ab}	22,908 ^{abc}
8	0,579	10,639	13,522	15,550 ^a	25,558 ^a
10	9,575	10,636	13,459	15,083 ^{ab}	24,022 ^{ab}

Concentración de ripio de perforación base agua (%)	Número de hojas por planta Semanas después de la siembra				
	2	3	4	5	6
	0	2,919	5,083	6,750	5,750 ^{bc}
2	2,111	3,389	4,472	3,472 ^c	7,667 ^c
4	3,333	5,389	7,889	8,306 ^{ab}	12,750 ^{ab}
6	2,888	4,972	7,389	8,583 ^{ab}	10,834 ^{abc}
8	3,500	6,389	8,972	11,029 ^a	15,111 ^a
10	3,936	6,083	8,667	9,889 ^a	13,945 ^{ab}

Letras distintas indican promedios estadísticamente diferentes (Prueba de la mínima diferencia significativa, $P \leq 0,05$).

centraciones de ripio de perforación de base agua aplicadas para la quinta y sexta semana de crecimiento ($F=5,25$ y $3,44$), con tendencia a aumentar a partir de la concentración de 4% durante los períodos evaluados, siendo la mejor respuesta para la concentración de 8%, obteniéndose los mayores valores en la quinta ($11,029$ hojas planta⁻¹) y sexta semana ($15,111$ hojas planta⁻¹), similares a los resultantes con la concentración de 10% ($9,889$ y $13,945$ hojas planta⁻¹) y diferentes al testigo ($5,750$ y $10,250$ hojas planta⁻¹) (cuadro 2).

En general la aplicación del ripio de perforación base agua al suelo de sabana mejoró el crecimiento de la soya variedad Samba, medido a través del diámetro del tallo, número de hojas y altura de las plantas. Esta consecuencia puede deberse a alguno de los componentes del ripio de perforación o al incremento de los micronutrientes o de los macronutrientes. Los atributos del ripio de perforación de base agua han sido reportados por Bauder *et al.* (1999), quienes encontraron en sorgo cv. DeKalb STC-6 que a partir de la aplicación de 15 g kg^{-1} de suelo se maximizó el rendimiento en materia seca. Bauder *et al.* (2005) hallaron en el trigo cv. TAM 107 que la aplicación de $17-94 \text{ Mg ha}^{-1}$ incrementó la producción de granos en comparación con los testigos. El efecto beneficioso ha sido considerado por algunos investigadores como una consecuencia de la mayor disponibilidad de macro y micronutrientes, particularmente hierro y zinc (Nelson *et al.*, 1984; Bauder *et al.*, 1999; Kisic *et al.*, 2009).

The beneficial effect have been considered by some researchers as a consequence of higher availability of macro and micronutrients, especially iron and zinc (Nelson *et al.*, 1984; Bauder *et al.*, 1999; Kisic *et al.*, 2009).

Heavy metals in mixtures of water-based drilling cuttings and savanna soil-based, and in soybean foliage

In savanna soil type Oxicplinthustulf, the cadmium, nickel, iron and lead remained invariable through different water-based drilling cutting used, only increasing those of barium, when concentration increased from 2 to 10%; and chromium and zinc remained almost equal. It is possible to detach that when mixing savanna soil and water-based drilling cutting, an increase of barium, chromium and zinc occurred, but any case surpassing limits established or concentrations found in drilling cutting (tables 1 and 3). The increase of barium content in mixtures of 2 to 10% drilling cutting (78 until 268 mg kg^{-1}) did not reflect in foliage concentrations from fourth week. The chromium and zinc remained similar to the savanna soil, such a way that the increase produced with the addition of drilling cutting could not be available for absorption; unlike cadmium, nickel and lead did not how changes in concentration (traces), keeping values similar to those found in control and in mixtures (tables 1 and 3).

Conclusions

The content of heavy metals (Pb, Ni, Ba, Cd, Cr, Zn and Fe) in

Metales pesados en las mezclas de ripio de perforación de base agua y suelo de sabana, y en el follaje de soya

En el suelo de sabana tipo Oxicleplinthustulf los valores de cadmio, níquel, hierro y plomo se conservaron invariables a través de las diferentes concentraciones de ripio de perforación de base agua usadas, incrementándose sólo la de bario, a medida que se aumentó de la concentración de 2 a 10%; y el cromo y zinc se mantuvieron casi iguales. Es de hacer notar que al mezclar suelo de sabana y ripio de perforación de base agua se produjo un aumento de bario, cromo y zinc, pero en ningún caso llegaron a sobrepasar los límites establecidos o las concentraciones encontradas en el ripio de perforación (cuadros 1 y 3). El ascenso del conte-

combinations water-based drilling cutting and in savanna soil (2-10%) did not exceed concentrations in the original drilling cutting, nor limits established like permissible. The neck diameter, the number of leaves and plants height were higher in water-based drilling cutting concentrations of 8 and 10%, especially on fifth and six week.

End of english version

nido de bario en las mezclas de 2 a 10% de ripio de perforación (78 hasta 268 mg kg⁻¹) no se reflejó en las concentraciones del follaje a partir de la cuarta semana. El cromo y el zinc permanecieron similares al suelo de sabana, de manera que el incremento que se produjo con la adición de ripio

Cuadro 3. Concentraciones de metales pesados en las combinaciones de ripio de perforación de base agua-suelo (rs) y en el follaje (f) de plantas de soya cultivadas en estas mezclas durante seis semanas.

Table 3. Concentrations of heavy metals in combinations of water-soil based of drilling cuttings (rs) and on foliage (f) of soybean plants cultivated in these mixtures during six weeks.

ET	Concentración de ripio de perforación de base agua (%)											
	0		2		4		6		8		10	
	S	f	rs	f	rs	f	rs	f	rs	f	rs	f
Ba	T	45,0	78,0	192,0	162,5	150,0	163,0	168,0	271,5	198,0	268,0	170,0
Cd	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T
Cr	T	T	6,5	T	6,5	T	7,0	T	7,0	T	6,5	T
Fe	4.415,0	116,0	3.615,0	166,0	3.880,0	103,0	4.360,0	110,0	4.360,0	92,0	3.725,0	167,0
Ni	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T
Pb	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T
Zn	T	83,0	16,0	84,0	17,0	70,0	18,0	83,0	22,0	67,0	16,5	81,0

ET=Elemento total (mg kg⁻¹).

S=Suelo de sabana de tipo Oxicleplinthustulf.

T=Trazas.

de perforación podría no estar disponible para absorción; en contraste, el cadmio, el níquel y el plomo no mostraron cambios en la concentración (trazas), manteniendo valores semejantes a los encontrados en el testigo y en las mezclas (cuadros 1 y 3).

Conclusiones

Los contenidos de metales pesados (Pb, Ni, Ba, Cd, Cr, Zn y Fe) en las combinaciones ripio de perforación de base agua y en el suelo de sabana (2-10%) no excedieron las concentraciones en el ripio de perforación original, ni los límites establecidos como permisibles. El diámetro del cuello, el número de hojas y la altura de las plantas fueron mayores en las concentraciones de ripio de perforación de base agua de 8 y 10%, particularmente en la quinta y sexta semana.

Literatura citada

Bauder, T. A., K. A. Barbarick, J. A. Ippolito, J. F. Shanahan y P. D. Ayers. 2005. Soil properties affecting wheat yields following drilling-fluid application. *J. Environ. Qual.* 34(5):1687-1696.

Bauder, T.A., K.A. Barbarick, J.F. Shanahan P.D. Ayers y P.L. Chapman. 1999. Drilling fluid effects on crop growth and iron and zinc availability. *J. Environ. Qual.* 28(3):744-749.

Berry, J. 2009. Drilling fluid properties & functions. CETCO, USA. 7 p.

Kisic, I., S. Mesic, F. Basic, L. Brkic, M. Mesic, G. Durn, Z. Zgorelec y L. Bertovic. 2009. The effect of drilling fluids and crude oil on some chemical characteristics of soil and crops. *Geoderma.* 149(3-4):209-216.

Nelson, D.W., S.L. Liu y L.E. Sommers. 1984. Extractability and plant uptake of trace elements from drilling fluids. *J. Environ. Qual.* 13(4):562-566.

Roca, N., M.B. Pazos y J. Bech. 2007. Disponibilidad de cobre, hierro, manganeso, zinc en suelos del NO argentino. *Cien. Suelo* 25 (1):31-42.

Venezuela. 1998. Manejo de los desechos peligrosos de actividades de exploración y producción de petróleo. *Gaceta Oficial de la República de Venezuela No. 5.245 Extraordinaria.* Caracas.

Zvomuya, F., F.J. Larney, S.M. McGinn, A. F. Olson y W. D. Willms. 2008. Surface albedo and soil heat flux changes following drilling mud application to a semiarid, mixed-grass prairie. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 72:1217-1225.