

Comparación del desecho de un fluido de perforación base agua no disperso con la fertilización química en el cultivo de girasol (*Helianthus annuus* L.)

Comparison between water-based drilling fluid and chemical fertilization in sunflower (*Helianthus annuus* L.)

Jesús Rafael MÉNDEZ NATERA^{✉1}, Víctor Alejandro OTAHOLA GÓMEZ¹, Mirianel del Valle RODRÍGUEZ RENGEL¹, José Alejandro SIMOSA MALLÉ¹, Luis TELLIS² y Enrique ZABALA²

¹Departamento de Agronomía, Escuela de Ingeniería Agronómica, Universidad de Oriente, Maturín, edo. Monagas y ²NUTRISOIL, El Tigre, edo. Anzoátegui. E-mails: jmendezn@cantv.net; votahola@cantv.net, jasimosam@gmail.com y luistellis@cantv.net ✉ Autor para correspondencia

Recibido: 15/10/2007 Fin de primer arbitraje: 19/11/2007 Primera revisión recibida: 21/11/2007
Fin de segundo arbitraje: 12/12/2007 Segunda revisión recibida: 13/12/2007 Aceptado: 14/12/2007

RESUMEN

Los objetivos fueron evaluar el efecto del desecho de un fluido de perforación (DFP) base agua no disperso sobre la germinación de semillas y caracteres vegetativos en el cultivo de girasol tipo confitero y comparar este DFP con un fertilizante químico (FQ) para los caracteres anteriores. Se utilizaron dos tipos de suelos: sabana (textura arenofrancosa) y vega (textura francoarcillosa). Los tratamientos de fertilización consistieron en: a) Sin fertilizante; b) FQ equivalente a 300 kg de 15-15-15/ha y c) DFP base agua no disperso equivalente a la dosis del tratamiento b. Se utilizó un diseño de parcelas divididas con cuatro repeticiones, las parcelas principales estuvieron constituidas por los dos tipos de suelos y las subparcelas por los tres tratamientos de fertilización. No se encontraron diferencias significativas para los caracteres: germinación a los 3 días después de la siembra (DDS), altura de plántulas a los 8, 12 y 36 DDS, número de hojas, diámetro del tallo, longitud de raíces, peso fresco y seco de vástago y de raíces y volumen radical, mientras que a los 4, 8, 12 y 24, hubo mayor germinación en el suelo de vega. También la germinación fue más rápida en este último. El suelo de sabana produjo plantas más altas a los 20 y 28 DDS. Estos resultados indican que el DFP base agua no disperso no causó un efecto detrimental a las plántulas de girasol y que los tres tratamientos de fertilización se comportaron de manera similar para todos los caracteres evaluados.

Palabras clave: Girasol, *Helianthus annuus*, fluido de perforación, germinación y crecimiento de plántulas.

ABSTRACT

The objectives were to evaluate the effect of a waste of nondisperse water-based drilling fluid (WDF) on seed germination and vegetative traits in confectionary sunflower and to compare WDF with a chemical fertilizer (CF) for the above characters. Two soil types were used: savanna (sand lime texture) and "vega" (lime clay texture). Soils were put in aluminum trays where cowpea cv. Tejero Criollo was sowed. Fertilization treatment were: a) without fertilizer; b) CF equivalent to 300 kg 15-15-15/ha and c) WDF equivalent to dosage of treatment b. A split-plot design was used with four replications, the two soil types were main plots and the three fertilization treatments were subplots. The Least Significant Difference Test was used and the probability level was 0.05. The WDF was characterized chemically to approximate it to CF used; WDF did not have heavy metals. There were not significant differences for germination at 3 days after sowing (DAS), neither for seedling height at 8, 12 and 36 DAS, leaves/plant, stem diameter, root length, fresh and dry weight of shoot and root and root volume, while at 4, 8, 12 and 16 DAS the was a bigger seed germination in the Vega soil. Also, the germination was faster in the latter. The savanna soil yielded taller plants at 20 and 28 DAS. These results indicated that WDF did not cause a detrimental effect on sunflower seedling and the three fertilizer treatments had a similar performance for all traits evaluated.

Key words: Sunflower, *Helianthus annuus*, drilling fluids, seed germination, seedling growth

INTRODUCCIÓN

La producción petrolera de Venezuela se ubica en alrededor de 2.365.000 barriles de petróleo

por día de la producción de petróleo de la OPEP basado en fuentes secundarias (OPEP, 2007), tal volumen de producción genera una gran cantidad de desechos petroleros dentro de los cuales se encuentran

los fluidos de perforación. Básicamente existen tres tipos de fluidos de perforación: 1) Base aire o gas, 2) Base espuma y 3) Base agua (Driscoll, 1986). En el primer caso, aunque el estado físico no es líquido, el aire o gas cumplen las funciones de enfriar, lubricar y limpiar el barreno. Pueden incluirse en esta clasificación lodos con sólo aire y aire mezclado (con un poco de agua o surfactante); el segundo incluye lodos formados por agentes espumantes, cuya combinación puede ser: sólo espuma, espuma más surfactante y espuma más polímero o bentonita. En el tercer tipo, el fluido principal es agua, que por sí misma constituye un fluido de perforación al cual se adicionan aditivos, polímeros o simplemente bentonita para mejorar sus propiedades. La mezcla más difundida es agua-bentonita, esta mezcla forma un lodo con características específicas de viscosidad (que permiten acarrear los recortes generados por la acción de corte de la broca hacia la superficie) y densidad que proporcionan la presión necesaria para mantener la estabilidad del barreno, obteniendo con ello una perforación más efectiva (Sánchez Núñez, 2001).

Entre las diversas funciones de los fluidos de perforación están: a) suspensión: el paso de los fluidos de perforación a través de la tubería y luego hacia la superficie, algunas veces se interrumpe, ya sea por un problema o con el fin de extraer la tubería del pozo para poder cambiar la broca. Cuando se detiene la perforación, los detritos suspendidos en el fluido pueden hundirse al fondo del pozo, obstruyendo la perforación. El espesor o la viscosidad del fluido se incrementan a medida que el movimiento del fluido se hace más lento. Cuando el fluido se detiene, forma un gel espeso que mantiene en suspensión los fragmentos de las rocas y evita que se hundan y lleguen al fondo del pozo. Cuando el fluido comienza a moverse nuevamente, se torna cada vez menos espeso y vuelve a su estado anterior, es decir, se transforma en un fluido líquido y liviano; b) control de la presión: el lodo se fabrica para prevenir el derrame de petróleo en un pozo, debido a que contrarresta la presión natural de los fluidos en las formaciones rocosas. Se debe alcanzar un equilibrio justo, es decir un equilibrio tal en el que la presión ejercida por el fluido de perforación contra las paredes del pozo sea suficiente para contrarrestar la presión que ejercen las formaciones rocosas y el petróleo o gas, pero que no sea tan fuerte que dañe el pozo; c) estabilización de la formación rocosa expuesta: el proceso de perforación consta de dos fases. Al principio, la perforación se realiza a través

de las rocas que no contienen petróleo. Al mantener la presión del fluido de perforación por encima de la presión del fluido de los poros de la formación rocosa, existe una tendencia natural a que el fluido de perforación penetre la roca permeable de la formación; d) flotabilidad: un pozo puede encontrarse a miles de pies o metros de profundidad. Una tubería de perforación de acero de tanta longitud pesa muchas toneladas. La inmersión de la tubería de perforación en el fluido produce un efecto de flotación, lo cual reduce su peso y hace que se ejerza menos presión en el mecanismo de perforación y e) lubricación y enfriamiento: cuando el metal se mueve contra la roca, se produce fricción y calor. Los fluidos de perforación brindan lubricación y enfriamiento para que el proceso continúe sin problemas y se pueda prolongar la vida útil de la broca. La lubricación puede ser de especial importancia para los pozos de alcance extendido u horizontales, en los que la fricción entre la tubería de perforación, la broca y la superficie de la roca debe ser mínima (Schlumberger, 2005a).

El girasol permanece como una especie oleaginosa de poca importancia en Venezuela, superando sólo al maní o cacahuate. De allí que todas las prácticas agrícolas que conlleven a incrementar su producción son válidas para la recuperación del cultivo. El volumen de producción se ha reducido paulatinamente a través de los años. Para 1992 y 1993 se produjeron alrededor de 25.000 t, para luego caer drásticamente a 11.665 t para 1994. Ya para los años 2004 y 2005, la producción sólo alcanzó 970 y 439 t, respectivamente. Esto trajo como consecuencia el poco valor de la producción que de 3.286 millones de bolívares en 1992 pasó a sólo 125 y 57 millones de bolívares en 2004 y 2005, respectivamente. En el año 1992 se sembró la mayor área de este cultivo, alcanzando las 25.888 ha, pero ya para el año 1998, el área se redujo a 5.791 y para los años 2004 y 2005, sólo se sembraron 1200 y 715 ha, respectivamente. Los rendimientos se han mantenido más o menos uniformes alrededor de 800 a 1100 kg/ha entre 1992 y 2004, pero para el año 2005, el rendimiento se redujo a 614 kg/ha. (FEDEAGRO, 2006). Todos estos datos demuestran que deben llevarse a cabo prácticas agronómicas que permitan elevar la producción de girasol en la agricultura Venezolana.

En la agricultura suelen emplearse fertilizantes orgánicos y algunos residuos agroindustriales e industriales de manera de disminuir los costos de producción y reciclar los residuos.

Matheus (2004) evaluó agrónomicamente un compost elaborado con desechos sólidos de la industria azucarera (biofertilizante La Pastora) como alternativa para restaurar la fertilidad de un suelo degradado y suplir los requerimientos nutricionales del cultivo de maíz (híbrido Himeca 2000). La experiencia se realizó en el Núcleo Universitario Rafael Rangel en el estado Trujillo, Venezuela, mediante un diseño de bloques al azar con cuatro repeticiones se evaluaron los siguientes tratamientos: biofertilizante (4, 6 y 8 t/ha), fertilización química convencional (159 kg/ha N, 90 kg/ha P₂O₅ y 90 kg/ha K₂O) y una mezcla de 2 t/ha de biofertilizante + ½ dosis del fertilizante químico. Se evaluaron variables fitométricas y de rendimiento del cultivo. La mayor respuesta en altura de planta y diámetro del tallo correspondió a los tratamientos con fertilización química, la mezcla de fertilizante químico y biofertilizante y el nivel alto de producto biofertilizante; el mayor rendimiento en grano se obtuvo con la mezcla de fertilizante químico y biofertilizante. Los resultados reafirman los beneficios de los sistemas de fertilización integral y balanceada basada en el uso complementario de fertilizantes orgánicos y minerales.

Por otra parte, Méndez-Natera *et al.* (2007) evaluaron el efecto del desecho de un fluido de perforación base agua no disperso sobre la germinación de semillas, caracteres vegetativos y de la nodulación de plántulas en el cultivo de frijol y no encontraron diferencias significativas para la germinación a los 3 y 4 días después de la siembra, con promedios de 86,17 y 95,17%, respectivamente, ni para el número medio de días a germinación y la velocidad de germinación, cuyos promedios fueron 3,2 días y 7,9, respectivamente. El mayor porcentaje de germinación a los 8, 12, 24 y 36 días se obtuvo con el fluido de perforación, siendo similar a aquel del fertilizante químico, pero superior al tratamiento sin fertilizar. La mayor altura a los 8, 20, 28 y 36 días se obtuvo para el suelo de sabana, mientras que para los 12 días el suelo de sabana con el fluido o el fertilizante químico desarrollaron las plantas más altas. A los 28 y 36 días, la altura de las plantas fue mayor en el suelo con fertilizante y con el fluido de perforación en comparación con los suelos sin fertilizar. El mayor número de hojas y mayor diámetro de tallo se obtuvieron en el suelo de sabana con el fluido. La longitud, volumen y peso seco de las raíces no fueron afectados por los tratamientos. Los vástagos más pesados se encontraron en el suelo de sabana con el fluido y con el fertilizante. Los

tratamientos de fertilización y los tipos de suelos no afectaron los caracteres de la nodulación, los promedios generales fueron: peso fresco y seco de nódulos de 0,41 y 0,14 g, respectivamente, y número de nódulos totales, rosados y blancos de 47,4; 32,3 y 15,0 nódulos por planta, respectivamente. Los autores indicaron el uso potencial del desecho del fluido de perforación base agua no disperso como posible fertilizante en el cultivo de frijol debido a que estimuló la germinación de las semillas, favoreció el crecimiento y desarrollo de las plántulas y no tuvo un efecto negativo sobre los caracteres de la nodulación.

En 1996 la industria petrolera Venezolana comenzó un programa de exploración y perforación en el Delta del Orinoco y se ha ejecutado una investigación intensiva acerca de la factibilidad de esparcir en los suelos los desechos de perforación base agua como una opción de disposición para evitar la contaminación de los cuerpos de agua. Se realizaron experimentos de invernadero aplicando desechos de perforación equivalentes a dosis de 0, 200, 500, 1000 y 1500 m³/ha a un suelo sulfato ácido, usando como probador plantas de maíz (*Zea mays* L.) var. PB-8 y los resultados mostraron que el elevado pH del desecho de perforación (pH de 9,7) neutralizó la reacción ácida de los suelos sulfato ácidos (pH de 2,85) lo cual se reflejó en una producción más alta de biomasa obtenida con desechos de perforación a dosis equivalentes por encima de 500 m³/ha y el contenido de Ba en la biomasa aérea estuvo por debajo de 0,2 g/g en todos los tratamientos, mientras que los contenidos de Pb y Zn fueron agotados por la aplicación paralela de roca fosfórica, las concentraciones de estos elementos en la solución de equilibrio del suelo, mostraron y un lavado muy bajo y una baja disponibilidad para la vegetación (Vásquez *et al.* 1996).

Los objetivos fueron evaluar el efecto de un fluido de perforación base agua no disperso sobre la germinación de semillas y los caracteres vegetativos de plántulas en el cultivo de girasol y comparar este fluido con la fertilización química para los caracteres anteriores.

MATERIALES Y MÉTODOS

El ensayo se realizó en el Invernadero de Postgrado en Agricultura Tropical, ubicado en el *Campus* Juanico de la Universidad de Oriente en la ciudad de Maturín. Se utilizaron para ello bandejas

metálicas, en las cuales se colocó el suelo de acuerdo a los siguientes factores estudiados:

1. Tipo de Suelo:
 - a) Suelo de Sabana (textura areno franco)
 - b) Suelo de Vega (textura franco-arcillosa)
2. Fertilización:
 - a) Suelo sin fertilizar
 - b) Suelo fertilizado con fórmula completa
 - c) Suelo fertilizado con el fluido de perforación base agua no disperso

La primera labor que se realizó fue la recolección de los dos tipos de suelos que se utilizaron, los cuales fueron un suelo de vega con alto contenido de materia orgánica, (Suelo 1) y el otro fue un suelo de sabana (Suelo 2). La toma de muestras se realizó hasta una profundidad de 30 cm.

Se colocaron los dos tipos de suelos en las bandejas, ordenadas de forma aleatoria, cada bandeja fue dividida por la mitad por una lámina de anime conteniendo ambos suelos. Se realizaron cuatro repeticiones de tres bandejas cada una las cuales contenía Suelo 1 sin fertilizante, suelo 1 con fluido de perforación base agua no disperso, suelo 1 con fertilizante completo, suelo 2 sin fertilizante, suelo 2 con fluido de perforación y suelo 2 con fertilizante completo. El tratamiento con fertilizantes fue el equivalente a 300 kg/ha de 15-15-15. El tratamiento con fluido se aproximó al tratamiento con fertilizante con relación a los porcentajes de NPK.

Luego se procedió a la aplicación del fluido de perforación base agua no disperso a las bandejas seleccionadas de manera aleatoria para no favorecer ningún tratamiento. Se mezcló con el suelo y se esperó una semana, luego un día antes de la siembra se aplicó el fertilizante y se realizó una labor de riego. Al día siguiente se realizó la labor de la siembra en la cual se colocaron 25 semillas en cada uno de los seis tratamientos y cuatro repeticiones dando un total de 600 semillas sembradas. El riego se realizó a capacidad de campo, diariamente hasta el final del ensayo que tuvo una duración de 36 días.

Los caracteres que se evaluaron fueron: germinación a los 3, 4, 5, 6, 7, 8, 12, 16, 20, 24, y 32 días después de la siembra, número medio de días a total germinación, índice de la velocidad de germinación. A los 36 días después de la siembra se procedió a cosechar las plantas y los caracteres a determinar fueron: altura de planta a los 8, 12, 20, 28

y 36 días después de la siembra; número de hojas por planta; diámetro del tallo; longitud de las raíces; volumen radical; peso fresco del vástago y de las raíces; peso seco del vástago y de las raíces. Se utilizó una variedad confitera de girasol cultivada por los agricultores en el estado Monagas.

Se utilizaron seis tratamientos con cuatro repeticiones, bajo un diseño de parcelas divididas, donde la parcela principal fue el tipo de suelo y la sub-parcela la fertilización. Los datos fueron analizados mediante análisis de varianza y las diferencias entre los promedios se detectaron mediante la prueba de Mínima Diferencia Significativa (MDS) a un nivel de probabilidad de 0,05. En los casos donde el error de la parcela principal fue menor que el error experimental de la sub-parcela, el análisis se realizó como un bloques al azar en arreglo factorial (Steel y Torrie, 1980). Todos los análisis estadísticos se realizaron con el programa estadístico Statistix, versión 8.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En el cuadro 1 se observa el análisis de varianza para los porcentajes de germinación. No se encontraron diferencias significativas para ninguna de las fuentes de variación para el porcentaje a los 3 DDS, el promedio general fue 7,17%, mientras se encontraron diferencias significativas para las fuentes de variación repeticiones y tipo de suelo en los porcentajes de germinación a los 4, 8, 12, 24 y 36 DDS (cuadro 1).

El número medio de días a total germinación tampoco fue afectados por las diferentes fuentes de variación, siendo el promedio general 6,3 días (cuadro 2), mientras se encontraron diferencias significativas para las fuentes de variación repeticiones y tipo de suelo para el índice de la velocidad de germinación e índice de germinación (cuadro 2).

En el cuadro 3 se observa el análisis de varianza para la altura de las plantas en distintas fechas de evaluación. No se encontraron diferencias significativas para la altura de las plantas en ninguna de las fuentes de variación para las fechas de evaluación de 8, 12 y 36 DDS, siendo los promedios generales de 3,43; 10,26 y 33,43 cm, respectivamente, mientras se encontraron diferencias significativas para la altura de las plantas a los 20 y 28 DDS para la fuente de variación tipo de suelo (cuadro 3).

Cuadro 1. Análisis de varianza para el porcentaje de germinación de semillas de girasol (*Helianthus annuus* L.) a los 3, 4, 8, 12, 24 y 36 días después de la siembra (DDS), en dos tipos de suelos y tres niveles de fertilización.

Fuente de Variación	Grados de Libertad	Cuadrados Medios											
		Porcentaje de Germinación (DDS)											
		3	4	8	12	24	36						
Repetición	3	361,56	ns	871,78	*	1297,78	*	1048,0	*	932,44	*	901,33	*
Suelo (S)	1	0,67	ns	240,67	*	682,67	*	864,0	*	962,67	*	1066,67	*
Error (a)	3 (0)	57,56											
Fertilización (F)	2	32,67	ns	78,00	ns	60,67	ns	104,7	ns	98,00	ns	80,67	ns
S x F	2	4,67	ns	52,67	ns	40,67	ns	38,0	ns	24,67	ns	12,67	ns
Error (b)	12 (15)	22,22		48,84		120,18		142,4		149,51		136,53	
Total	23												
C. V. (a) (%)		105,86		45,09		41,11		39,34		39,44		37,29	
C. V. (b) (%)		65,78											
Media General (%)		7,17		15,5		26,67		30,33		31,00		31,33	

ns : No Significativo ($p > 0,05$) * : Significativo ($p \leq 0,05$)

Valores entre paréntesis en los grados de libertad se refiera a un diseño de bloques al azar en arreglo factorial

Cuadro 2. Análisis de varianza para el número medio de días a total germinación (NMD), índice de la velocidad de germinación (IVG) e índice de germinación (IG) de semillas de girasol (*Helianthus annuus* L.) en dos tipos de suelos y tres niveles de fertilización.

Fuente de Variación	Grados de Libertad	Cuadrados Medios					
		NMD		IVG		IG	
Repetición	3	21,44	ns	5,98	*	61,55	*
Suelo (S)	1	5,69	ns	2,61	*	49,02	*
Fertilización (F)	2	1,18	ns	0,31	ns	4,53	ns
S x F	2	4,95	ns	0,07	ns	0,86	ns
Error Experimental	12	10,78		0,36		6,94	
Total	23						
C. V. (%)			52,21		34,87		37,51
Media General			6,28 días		1,73		7,03

ns : No Significativo ($p > 0,05$) * : Significativo ($p \leq 0,05$)Cuadro 3. Análisis de varianza para la altura de plantas (cm) de girasol (*Helianthus annuus* L.) a los 8, 12, 20, 28 y 36 días después de la siembra (DDS), en dos tipos de suelos y tres niveles de fertilización.

Fuente de Variación	Grados de Libertad	Cuadrados Medios									
		Altura de planta (cm) DDS									
		8	12	20	28	36					
Repetición	3	3,42	ns	12,20	ns	44,84	ns	27,07	ns	57,30	ns
Suelo (S)	1	0,70	ns	27,14	ns	171,57	*	325,53	*	300,97	ns
Fertilización (F)	2	0,45	ns	9,53	ns	4,65	ns	22,56	ns	43,02	ns
S x F	2	2,98	ns	14,72	ns	20,35	ns	74,51	ns	204,46	ns
Error Experimen.	15	1,52		8,44		32,84		67,34		124,01	
Total	23										
C. V. (%)		35,91		28,33		32,68		34,09		33,31	
Media General (cm)		3,43		19,26		17,54		24,08		33,43	

ns : No Significativo ($p > 0,05$) * : Significativo ($p \leq 0,05$)

No se encontraron diferencias significativas para ninguna de las fuentes de variación en los caracteres número de hojas, diámetro del tallo, longitud de raíz, peso fresco del vástago, peso fresco de la raíz y volumen radical. Los promedios generales fueron 12,11 hojas, 3,76 mm, 9,32 cm, 35,32 g, 7,66 g y 7,21 cm³, respectivamente (cuadro 4). Tampoco se se encontraron diferencias significativas para ninguna de las fuentes de variación en los caracteres peso seco del vástago, peso seco de la raíz, relación

altura de planta/longitud de raíz, relación peso seco de vástago (g)/peso seco de raíces (g) y tasa de crecimiento basada en la altura. Los promedios generales fueron 4,45 g; 1,63 g; 3,58 g/g, 3,92 g/g y 1,07 cm/semana (cuadro 5).

El mayor porcentaje de germinación a los 4, 8, 12, 24 y 36 DDS se presentó en las semillas sembradas en el suelo de vega (Cuadro 6). Iguales resultados se encontraron para el índice de la

Cuadro 4. Análisis de varianza para el número de hojas (NJ), diámetro del tallo (cm) (DT), longitud de la raíz (cm) (LR), peso fresco del vástago (g) (PFV), peso fresco de la raíz (g) (PFR) y volumen radical (cm³) (VR) de las plantas de girasol (*Helianthus annuus* L.) a los 36 días después de la siembra, en dos tipos de suelos y tres niveles de fertilización.

Fuente de Variación	Grados de Libertad	Cuadrados Medios											
		NH		DT		LR		PFV		PFR		VR	
Repetición	3	6,36	ns	0,58	ns	7,55	ns	428,46	ns	40,88	ns	23,37	ns
Suelo (S)	1	8,81	ns	0,67	ns	1,40	ns	153,52	ns	0,11	ns	7,04	ns
Error (a)	3 (0)					13,93				36,62		30,71	
Fertilización (F)	2	10,18	ns	0,54	ns	12,76	ns	298,77	ns	5,70	ns	6,79	ns
S x F	2	13,14	ns	1,40	ns	0,95	ns	191,41	ns	7,26	ns	3,29	ns
Error (b)	12 (15)	11,14		1,37		6,51		238,74		12,06		9,87	
Total	23												
C. V. (a) (%)						40,04				79,02		76,88	
C. V. (b) (%)		27,57		31,18		27,38		43,73		45,34		43,59	
Media General		12,11		3,76 mm		9,32 cm		35,32 g		7,66 g		7,21 ml	

ns : No Significativo ($p > 0,05$) * : Significativo ($p \leq 0,05$)

Valores entre paréntesis en los grados de libertad se refiera a un diseño de bloques al azar en arreglo factorial

Cuadro 5. Análisis de varianza para el peso seco del vástago (g) (PSV), peso seco de la raíz (g) (PSR), relación altura de planta(cm)/longitud de raíz (cm) (RAPLR), relación peso seco de vástago (g)/peso seco de raíces (g) (RPSVPSR) y tasa de crecimiento basada en la altura (cm/día) (TCBA) de plantas de girasol (*Helianthus annuus* L.) a los 36 días después de la siembra, en dos tipos de suelos y tres niveles de fertilización.

Fuente de Variación	Grados de Libertad	Cuadrados Medios									
		PSV		PSR		RAPLR		RPSVPSR		TCBA	
Repetición	3	8,56	ns	5,19	ns	0,36	ns	16,73	ns	0,06	ns
Suelo (S)	1	2,47	ns	0,28	ns	1,76	ns	2,33	ns	0,35	ns
Error (a)	3 (0)			4,36							
Fertilización (F)	2	5,18	ns	0,39	ns	0,26	ns	8,66	ns	0,05	ns
S x F	2	1,49	ns	1,63	ns	2,57	ns	0,21	ns	0,21	ns
Error (b)	12 (15)	3,85		1,28		1,60		5,95		0,13	
Total	23										
CV (a) (%)				128,57		35,36		62,22		34,29	
CV (b) (%)		44,13		69,63							
Media General		4,45 g		1,63 g		3,58 g/g		3,92 g/g		1,07 cm/sem	

ns : No Significativo ($p > 0,05$) * : Significativo ($p \leq 0,05$)

Valores entre paréntesis en los grados de libertad se refiera a un diseño de bloques al azar en arreglo factorial

velocidad de germinación e índice de la germinación (Cuadro 7), mientras que las plantas fueron más altas a los 20 y 28 DDS en el suelo de sabana (Cuadro 7).

Los tratamientos de fertilización no afectaron ninguno de los caracteres tanto a nivel de germinación como a nivel de crecimiento de plántulas. Estos datos sugieren que el fluido de perforación no tuvo un efecto detrimental. En este experimento se pudo observar que el suelo de sabana generalmente produjo plantas más altas que aquellas del suelo de vega. Resultados similares fueron reportados por Méndez-Natera *et al.*, (2007) trabajando con el cultivo de frijol.

En un experimento, muestras de suelos (desde la superficie hasta 90 cm) y muestras de plantas se colectaron en diez localidades en el oeste de los Estados Unidos donde los fluidos de perforación se aplicaron al suelo. Seis de las localidades recibieron desechos asociados con la perforación de pozos de gases, tres localidades fueron parcelas de investigación tratadas con varios tipos y cantidades de lodos de perforación y una localidad fue un campo comercial de trigo que fue tratado parcialmente con fluidos de perforación. Se comparó entre la composición de las plantas y suelos en áreas enmendadas con fluidos de perforación y en áreas no

enmendadas, se encontró que los rendimientos de materia seca de las plantas no parecieron ser afectados por la aplicación del lodo de perforación, aunque se observaron algunos cambios en las especies de plantas en desarrollo en las localidades, los autores concluyeron que la aplicación de fluidos de perforación al suelo no pareció presentar riesgos inaceptables para la integridad o utilidad del sistema suelo-planta para la producción de alimento (API, 1982).

Similitud estadística reportaron Méndez-Natera *et al.*, (2007) en relación a la no significación para las fuentes de variación suelo, fertilización y su interacción en el cultivo de frijol para los caracteres porcentaje de germinación a los 3 dds, número medio de días, longitud de la radícula, peso fresco y seco de radícula, volumen radicular y relación peso seco del vástago/peso seco de la radícula, confirmando en parte los resultados de este experimento. Méndez Natera *et al.*, (2007) también reportaron que la fertilización no influyó en los caracteres altura de plántula a los 8, 12 y 20 DDS, tal cual como sucedió en este experimento.

El desecho de un fluido de perforación debe ser evaluado para determinar si el mismo no es tóxico al ambiente. Por otra parte, la industria petrolera está

Cuadro 6. Promedios para el porcentaje de germinación de semillas de girasol (*Helianthus annuus* L.) a los 4, 8, 12, 24 y 36 días después de la siembra (DDS), en dos tipos de suelos y tres niveles de fertilización.

Tipo de Suelo	Porcentaje de Germinación (DDS) †				
	4	8	12	24	36
Vega	18,67 a	32,00 a	36,33 a	37,33 a	38,00 a
Sabana	12,33 b	21,33 b	24,33 b	24,67 b	24,67 b
MDS (%)	6,08	9,54	10,38	10,64	10,17

† Prueba de la Mínima Diferencia Significativa (MDS). Letras diferentes indican promedios estadísticamente diferentes ($p \leq 0,05$) sólo entre cada fecha de evaluación (columna).

Cuadro 7. Promedios para el índice de la velocidad de germinación (IVG), índice de germinación (IG), y altura de plantas (AP) (cm) a los 20 y 28 días después de la siembra (DDS) de girasol (*Helianthus annuus* L.), en dos tipos de suelos y tres niveles de fertilización.

Tipo de Suelo	Caracteres †			
	IVG	IG	AP20 DDS	AP28 DDS
Vega	2,06 a	8,45 a	14,86 b	20,39 b
Sabana	1,40 b	5,60 b	20,21 a	27,76 a
MDS	0,52	2,29	4,99 cm	7,14 cm

† Prueba de la Mínima Diferencia Significativa (MDS). Letras diferentes indican promedios estadísticamente diferentes ($p \leq 0,05$) sólo entre cada fecha de evaluación (columna).

en la búsqueda de fluidos de perforación los cuales sean amigables tanto a las personas como al medio ambiente. Para ello se diseñan fluidos con diferentes componentes que no causen o minimicen los daños al ambiente. Rines (1991) registró la composición para fluidos base aceite (Patente No. H935) la cual contenía una fase aceite continua y una fase interna dispersa usando soluciones salinas acuosas. Para evaluar el impacto ambiental del desecho del fluido de perforación sobre la germinación de semillas y crecimiento de plántulas más allá de la etapa de dos hojas de desarrollo, para ello se prepararon cinco diferentes fluidos de perforación, los cuales se diseñaron de manera que tuviesen componentes y propiedades similares usando cinco diferentes fases internas. Se evaluó la germinación y crecimiento en sorgo granífero. La germinación y el crecimiento de las plántulas se redujeron considerablemente en los cinco tratamientos en comparación al control (suelos sin fluido de perforación). Growcock *et al.*, (2003) patentaron un fluido de perforación biodegradable. El uso del fluido mientras perfora permite la biorremediación de los residuos de perforación mediante la dispersión del suelo, bioreactores, compostaje convencional o compostaje de lombriz de tierra. El producto resultante, especialmente el proveniente de la lombricultura, es potencialmente útil como una enmienda del suelo o material de fertilizantes para cultivos. Los autores evaluaron seis sistemas con una tasa de carga del suelo de prueba de 6% w/w y encontraron que el sistema Formulación A presentó un porcentaje de supervivencia de 80 y 100% para *Folsomia candida* y lombriz de tierra, respectivamente, con respecto al control (100%) en el ensayo de toxicidad animal, mientras que en el ensayo de fitotoxicidad utilizando alfalfa los porcentajes de emergencia, elongación de la raíz y peso del vástago fueron 100, 149 y 97%, respectivamente, con respecto al control (100%), en el caso del sistema Formulación N, los porcentajes se redujeron en el cultivo de alfalfa con respecto al control. Los resultados para la Formulación A concuerda con los obtenidos en este ensayo donde tampoco se observaron efectos tóxicos al cultivo de girasol.

Sparkes y Lee (2004) desarrollaron un fluido a base de olefina sintética para perforaciones en las costas que tuviera un impacto menor sobre la salud de los trabajadores y tuviese un impacto ambiental menor que el fluido base aceite. En experimentos compararon ambos tipos de fluidos y encontraron que el fluido en base a olefina tuvo un 88% de germinación de semillas de lechuga, relativa al suelo

control después de la degradación a los 93 días del fluido en el suelo en comparación con sólo 4% para el fluido base aceite. Por otra parte, Lintott *et al.*, (2003) realizaron pruebas de toxicidad exponiendo semillas de ocho especies de plantas las cuales recibieron suelo tratado con tres fluidos de perforación usando seis concentraciones de exposición y dos suelos. La germinación de las semillas expuestas a una mezcla de 3:1 de un fluido con 3% de K_2SO_4 fue similar a las tasas de germinación en los tratamientos control.

A pesar de que no se encontraron diferencias significativas para ninguno de los caracteres de la germinación y crecimiento de plántulas, es decir, el tratamiento sin fertilización se comportó similar a aquel de la fertilización química o de la aplicación del fluido de perforación, es importante resaltar, que este último no tuvo un efecto detrimental en los caracteres, sugiriendo la posibilidad de seguir realizando investigaciones con el mismo para ver su comportamiento a nivel de campo. Los fluidos de perforación al comienzo eran lodo: sólo arcilla y agua. Ahora, lo único que se mantiene igual es el nombre. Actualmente los lodos se diseñan teniendo en cuenta múltiples y variadas condiciones de perforación. Entran en juego muchos factores y uno de los más importantes es la seguridad del medio ambiente (Schlumberger, 2005b). Ivan *et al.*, (2004) indicaron que la filosofía detrás de los fluidos de perforación compatibles con el ambiente no fue diseñar un sistema que meramente posea un impacto neutral o insignificante sobre el ambiente, sino uno que probaría ser beneficioso. Así, la meta es seleccionar cuidadosamente los componentes individuales del sistema de fluidos, incluyendo el fluido base, emulsificadores, fase interna (sal y agua), material de peso y aditivos para pérdida de fluidos, para permitir una perforación eficiente y la generación de residuos de perforación que puedan ser usados para mejorar activamente la calidad del suelo y subsecuentemente soportar un mejor crecimiento de plantas. De allí que el fluido de perforación base agua no disperso utilizado en este experimento puede representar un desecho con grandes posibilidades para su reutilización como fertilizante o como parte de un programa de fertilización en el cultivo de girasol, por supuesto, hay que seguir investigando al respecto.

CONCLUSIONES

Los tres tratamientos de fertilización se comportaron de manera similar en los caracteres germinación a los 3 días después de la siembra

(DDS), altura de plántulas a los 8, 12 y 36 DDS, número de hojas, diámetro del tallo, longitud de raíces, peso fresco y seco de vástago y de raíces y volumen radical. El suelo de vega promovió una mayor y más rápida germinación que el suelo de sabana, pero en este último se desarrollaron plántulas más altas. Estos resultados indican que el desecho del fluido de perforación base agua no disperso no causó un efecto detrimental a las plántulas de girasol.

LITERATURA CITADA

- American Petroleum Institute (API). 1982. Agronomic Impacts Resulting from Land Disposal of Used Drilling Fluids and Cuttings. REPORT 80-24.
- Driscoll, F. G. 1986. Ground Water Monitoring. General Electric Co. Johnson Division. St. Paul Minnesota.
- FEDEAGRO. 2006. Estadísticas de Producción. www.fedeagro.org. Última visita 15/08/2007.
- Growcock, F.; G. Wray Curtis, J. Candler, S. Rabke, S. Ross, J. Getliff and G. McEwan. 2003. Oleaginous drilling fluid that produces a useful soil amendment, method of use and bio-remediation of the same and resulting solids. United States Patent Application Publication. Pub. No US 2003/0098180 A1. 40 p.
- Ivan, C.; S. Young and B. Bloys. 2004. Drilling fluids waste management in terms of a sustainable environment. AADE-04-DF-HO-23. AADE 2004 Drilling Fluids Conference, Houston, Texas, April 6-7, 2004. 7 p.
- Lintott, D.; J. Robbins and A. Neumann. 2003. Environmental impact of potassium sulphate-based drilling mud systems: development of criteria for waste disposal in terrestrial ecosystems. AADE-03-NTCE-13. AADE 2003 National Technology Conference "Practical Solutions for Drilling Challenges", Houston, Texas, April 1 - 3, 2003. 12 p.
- Matheus, J. 2004. Evaluación agronómica del uso de compost de residuos de la industria azucarera (biofertilizante) en el cultivo de maíz (*Zea mays* L.). *Bioagro* 16 (3): 219-224.
- Méndez Natera, J. R.; V. A. Otahola Gómez, R. E. Pereira Garantón, J. A. Simosa Mallé; L. Tellis y E. Zabala. 2007. Comparación del desecho de un fluido de perforación base agua no disperso con la fertilización química en el cultivo de frijol (*Vigna unguiculata* (L.) WALP.). *Idesia* 25 (1): 7-20.
- Organization of the Petroleum Exporting Countries (OPEP). 2007. Monthly Oil Market Report. July 2007. 60 p. [http://www.opec.org/home/Monthly Oil Market Reports/2007/pdf/MR072007.pdf](http://www.opec.org/home/Monthly%20Oil%20Market%20Reports/2007/pdf/MR072007.pdf). Última visita 15/08/2007.
- Rines, S. P. 1991. Compositions for oil-based drilling fluids. United States Statutory Registration. Reg. Number H935. 11 p.
- Sánchez Núñez, J. M. 2001. Los fluidos de perforación y su impacto ambiental en el subsuelo. *Teorema Ambiental*. http://www.teorema.com.mx/articulos.php?id_sec=44&id_art=2403. Última visita 08/09/2007.
- Schlumberger. 2005a. Fluido de Perforación. Las diversas funciones de los fluidos de perforación. <http://www.seed.slb.com/es/scictr/watch/mud/char.htm>. Última visita 08/09/2007.
- Schlumberger. 2005b. Fluido de Perforación. Desafíos del medio ambiente. <http://www.seed.slb.com/es/scictr/watch/mud/env.htm>. Última visita 08/09/2007.
- Sparkes, Dan and B. Lee. 2004. Synthetic fluid increases ROP by as much as 117%. *Drilling Contractor*. May/June. p. 58-59.
- Steel, R. G. D. and Torrie, J. H. 1980. Principles and procedures of Statistics. A biometrical approach. Second Edition. McGraw-Hill Book Company. New York, USA. 633 p.
- Vásquez, P.; J. Urich, V. González, P. Silva and A. Rodríguez. 1996. The Use of Drilling Solid Waste as Amendment of Acid-Sulphate Soils of the Orinoco Delta. Paper Number 35880-MS. Society of Petroleum Engineers, Health, Safety and Environment in Oil and Gas Exploration and Production Conference, 9-12 June, New Orleans, Louisiana. 1996.