

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.)

COMPARISON BETWEEN BASED-WATER PERFORATION FLUID AND CHEMICAL FERTILIZATION IN COWPEA (*VIGNA UNGUICULATA* (L.) WALP.)

Jesús Rafael Méndez-Natera¹; Víctor Alejandro Otahola-Gómez¹; Rubén E. Pereira-Garantón¹;
José A. Simosa-Mallé¹; Luis Tellis²; Enrique Zabala²

RESUMEN

Los objetivos del presente trabajo fueron evaluar el efecto del desecho de un fluido de perforación (DFP) base agua no disperso sobre la germinación de semillas, caracteres vegetativos y de la nodulación de plántulas en el cultivo de frijol y comparar este DFP con un fertilizante químico (FQ) para los caracteres anteriores. Se utilizaron dos tipos de suelos: sabana (textura franco-arenosa) y vega (textura franco-arcillosa). Los suelos se colocaron en bandejas de aluminio donde se sembró el cultivar de frijol Tejero Criollo. 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. Las diferencias entre tratamientos se detectaron mediante la prueba de la Mínima Diferencia Significativa. El nivel de probabilidad usado fue 0,05. Se caracterizó químicamente el DFP base agua no disperso para realizar la aproximación al FQ utilizado, el DFP no contenía elementos pesados. No se encontraron diferencias significativas para la germinación a los 3 y 4 días después de la siembra (d), 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 d se obtuvo con el DFP, siendo estadísticamente similar a aquel del FQ, pero superior al tratamiento sin fertilizar. La mayor altura a los 8, 20, 28 y 36 d se obtuvo para el suelo de sabana, mientras que para los 12 d el suelo de sabana con el DFP o FQ desarrollaron las plantas más altas. A los 28 y 36 d, la altura de las plantas fue mayor en el suelo con FQ y con el DFP 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 DFP. 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 ambos, DFP y FQ. 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. Estos resultados indican 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.

Palabras clave: Frijol, fluido de perforación, germinación y crecimiento de plántulas, nodulación.

ABSTRACT

The objectives of this work were to evaluate the effect of a waste of nondisperse water-based drilling fluid (WDF) on seed germination, vegetative traits and nodulation traits in the cowpea crop 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

¹ Departamento de Agronomía, Escuela de Ingeniería Agronómica, Universidad de Oriente, Venezuela.

² NUTRISOIL E-mail: jmendezn@cantv.net

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 found neither for germination at 3 and 4 days after sowing (DAS), with averages of 86.17 and 95.17%, respectively, nor for average number of total germination days and germination velocity, with averages of 3.2 and 7.9, respectively. The biggest germination percentage at 8, 12, 24 and 26 DAS was obtained with WDF, being similar statistically to that of CF, but superior to treatment without fertilization. The biggest plant height at 8, 20, 28 and 36 DAS was obtained for the savanna soil, while for 12 DAS, savanna soil with WDF or CF produced the taller plants. At 28 and 36 DAS, the plants were taller in the soil with CF and WDF in comparison with the soils without fertilization. The biggest number of leaves and stem diameter were obtained with savanna soil and WDF. Root length, root volume and root dry weight were not affected by treatments. The heaviest shoot were found in the savanna soil with WDF and CF. The fertilization treatments and the soil types did not affect the nodulation characters. The general means were for fresh and dry nodule weight, 0.41 and 0.14 g, respectively, and number of total, pink and white nodules, 47.4, 32.3 and 15.0 nodules/plant, respectively. These results indicate the potential use of waste of nondisperse water-based drilling fluid as possible fertilizer in the cowpea crop because it stimulated the seed germination, improved the growth and development of the seedlings and did not have a negative effect on nodulation characters.

Key words: Cowpea, drilling fluid, seed germination, seedling growth, nodulation.

INTRODUCCIÓN

La producción petrolera de Venezuela se ubica en alrededor de 2.543.000 barriles de petróleo por día de la producción de petróleo de la OPEP basado en fuentes secundarias (OPEP, 2006), volumen de producción que genera una gran cantidad de desechos petroleros, dentro de los cuales se encuentran los fluidos de perforación. Los desechos de perforación son cualquier sólido o líquido generado por los procesos de perforación. Hay diversas categorías de desechos asociados a la perforación: 1) Los rípios de perforación, 2) los fluidos de perforación gastados o fuera de especificación que ya no pueden ser reusados. Así surge la naturaleza del problema; existen tecnologías las cuales fácilmente transportan sólidos en forma seca (transportadoras de taladros, sistemas de transporte neumático, sistema de transporte de vacuums). Por otra parte, los fluidos son fácilmente movidos mediante diferentes tipos de bombas tales como bombas centrífugas, bombas de pistón y bombas de cavidades progresivas. Sin embargo, los desechos de perforación son usualmente una combinación de sólidos y líquidos, y existen diversos factores que pueden influenciar la composición y cantidad de los desechos de perforación como son el tamaño del hueco, la tasa de penetración, el tipo de fluido de perforación, etc. (Richards y Love, 2002).

Aunque el tratamiento de landfarming es considerado entre los métodos más aceptables de tratamiento y disposición de desechos, tiene sus desventajas, una de las más importantes es el límite permisible sobre los aceites y grasas totales, sales (conductividad eléctrica) y metales pesados. Para que el tratamiento de landfarming continúe siendo una opción viable de disposición, los residuos de

lodos base aceite o sintéticos necesitan ser pre-tratados para remover los constituyentes nocivos, la biorremediación está ganando preferencias al respecto. Sin embargo, ésta es considerada a ser un proceso lento y las sales y metales pesados no son generalmente fáciles para la biodegradación; no obstante, la biorremediación ha sido usada en varias áreas, incluyendo el oeste de Canadá, Venezuela y sureste de los Estados Unidos (Curtis *et al.* 2001).

Los fluidos de perforación son usados en la industria para construir los pozos petroleros y de gas. Ellos están clasificados típicamente en fluidos base agua y emulsiones base aceite. Otra clase ha sido desarrollada, la cual reemplaza a los aceites tradicionales con líquidos orgánicos sintéticos diseñados para un comportamiento ambiental superior. Los fluidos base agua contienen arcillas y otros químicos especiales en la fase acuosa, mientras los fluidos base aceite o sintéticos contienen una fase continua de hidrocarburos con una fase "salina" acuosa interna emulsificada en adición a las arcillas y otros aditivos (Drilling Fluids Engineering Manual, 1998). Tales fluidos cumplen una amplia variedad de funciones en las operaciones de perforación, incluyendo mantenimiento de la presión en las rocas de formación y ayuda a proteger y sostener las paredes del pozo previniendo el colapso. Ellos también son diseñados para proteger las zonas permeables del daño mientras se realiza la perforación, incrementando las tasas de recuperación de hidrocarburos. Los fluidos de perforación también ayudan a enfriar y lubricar el taladro y son esenciales para la remoción de la roca excavada o "cortes del taladro" de las paredes del pozo (McCosh y Getliff, 2003).

Otro enfoque para mejorar la aceptabilidad ambiental de los lodos invertidos se ha enfocado

en la modificación de la composición del fluido de perforación. Estos esfuerzos se han concentrado principalmente en el uso de fluidos sintéticos alternos o fases internas. Los lodos de emulsión inversa generalmente contienen algunos componentes, tales como exceso de cal y arcillas, que son intrínsecamente beneficiosas para muchos suelos. El bajo pH ($< 5,5$) es detrimental para la mayoría de los cultivos agrícolas y a menudo necesitan ser tratados con material alcalino como la cal para contrarrestar los efectos del pH bajo; las arcillas actúan como acondicionadores de suelos, especialmente en suelos arenosos, mejorando su textura e incrementando la capacidad de almacenamiento de agua. En adición, algunos orgánicos, especialmente aquellos similares al humus, sirven como nutrimentos y acondicionadores. Los componentes principales de los lodos de emulsión inversa, por otra parte, pueden no ser tan beneficiosos, éstos incluyen (a) fluido base; (b) emulsificadores/surfactantes; (c) fase interna (acuosa o polar) y (d) material de peso. Cualquiera de éstos puede afectar la germinación de las semillas, el crecimiento de las plantas y/o el ciclo de vida de la fauna nativa, por ejemplo, lombrices de tierra (Curtis *et al.* 2001).

El frijol representa la leguminosa de mayor producción en Venezuela. Para los años 2003 y 2004 la producción fue de 15.504 y 24.167 t, respectivamente, superando a la caraota cuya producción alcanzó los 12.654 y 18.758 t, para los mismos años. Aunque esto representó 3.516 y 5.481 millones de bolívares para el frijol en los años 2003 y 2004, respectivamente, comparado con 4.550 y 6.745 millones de bolívares para la caraota en los respectivos años, pero la superficie sembrada para el frijol fue de 19.268 y 30.113 hectáreas para los años 2003 y 2004, superando a la caraota de la cual se sembraron 15.575 y 21.158 hectáreas para los mismos años. En Venezuela existe un alto consumo de frijol. Para los años 2001 y 2002 la disponibilidad bruta para consumo humano fue de 19.860 y 16.598 t, respectivamente, aunque superada por el consumo de caraota para esos años que alcanzó las 74.961 y 60.715 t, respectivamente. En esos años la arveja alcanzó las 20.796 y 15.141 t, superando al quinchoncho con 1.366 y 1.814 t, respectivamente. Esto equivale a un consumo per cápita para el frijol de 0,8 y 0,7 kg/persona/año para 2001 y 2002 (FEDEAGRO, 2006). Todos

estos datos demuestran la importancia del frijol en la agricultura venezolana.

Por otra parte, el frijol por ser una leguminosa fija nitrógeno atmosférico, por lo que la aplicación de este elemento es relativamente bajo comparada con otros cultivos agrícolas no leguminosos (girasol, ajonjolí, algodón, etc.). Adicionalmente el frijol se considera un cultivo “promiscuo” debido a que la mayoría de las bacterias fijadoras de nitrógeno (*Rhizobium* sp.) nodulan en él. En un experimento sobre un suelo fluvisol en áreas de la Estación Experimental Agrícola del IIA Jorge Dimitrov en la provincia Granma, Cuba, con el objetivo de conocer el comportamiento de nueve variedades de frijol caupí en simbiosis con cepas nativas de *Rhizobium*, se encontró que existe nodulación natural en las variedades evaluadas y que las estirpes de *Rhizobium* presentes en los suelos varían en su capacidad de infectividad y eficiencia, ya que no siempre las variedades que presentaron un buen resultado en los parámetros de la nodulación fijaron las mayores cantidades de nitrógeno (Gómez-Padilla *et al.* 2004). En otro experimento se reportaron resultados similares al encontrar nodulación en 19 variedades de *Vigna*, afirmando que es una de las especies más promiscuas al compararse con otras leguminosas (Vasconcelos *et al.* 1998).

En la agricultura suelen emplearse fertilizantes orgánicos y algunos residuos agroindustriales a los fines de abaratar costos. Los fertilizantes orgánicos son en su mayoría productos pecuarios e industriales que por leyes ambientales hay la necesidad de estudiar sus posibilidades de uso agrícola. En 1990 se aplicaron 140.000 t ha⁻¹ de estiércol en papa, cebolla, tomate, pimentón, melón, patilla, fresas, durazno y cítricas con un consumo promedio de 9 t ha. Las fuentes más comunes son estiércol de gallinaza, caprino, bovino y porcino. Igualmente, existe una producción de fuentes industriales como el lodo cervecero (800 t ha⁻¹), vinaza (1000 m³/día) y cachaza (320.000 t ha⁻¹). Estas diferentes fuentes de fertilizantes no tradicionales han generado necesidades de investigación industrial y tecnológica para definir las alternativas de producción más favorables técnica y económicamente factibles para Venezuela. En el futuro INTEVEP, filial de Petróleos de Venezuela, y el sector privado deben reforzar y ampliar su investigación en la producción de fertilizantes tradicionales y no tradicionales con el fin de hacer una agricultura con un uso más eficiente de los recursos nativos disponibles (Casanova *et al.* 1993).

En la actualidad se realizan numerosas investigaciones para la utilización de los residuos industriales como fertilizantes en la agricultura moderna, por ejemplo, la vinaza es un residuo líquido de la industria de la caña de azúcar. En un experimento se evaluó el efecto de la aplicación de diferentes dosis de vinaza, complementada con fertilización mineral, en la producción de caña de azúcar en el valle del río Turbio, Venezuela, durante tres años consecutivos (plantilla, soca I y soca II). Se utilizaron tres tratamientos de fertilizantes químicos en las parcelas principales (F0 = sin fertilizante, F1 = 180 kg ha⁻¹ de nitrógeno, 160 kg ha⁻¹ de P₂O₅ y 220 kg ha⁻¹ de K₂O y F2 = 80 kg/ha de nitrógeno y 45 kg ha⁻¹ de P₂O₅), y cinco dosis de vinaza en las subparcelas (V0 = sin vinaza, V1 = 25 m³/ha, V2 = 50 m³/ha, V3 = 75 m³/ha y V4 = 100 m³/ha de vinaza). Los resultados obtenidos revelaron que la vinaza incrementó la producción de la caña de azúcar y evidencian que podría sustituir hasta el 55% del nitrógeno, 72% del fósforo y 100% del potasio provenientes de la fertilización mineral. Los mejores rendimientos se obtuvieron cuando se incorporaron 50 m³/ha de vinaza en plantilla y 100 m³/ha en soca I y soca II (Gómez-Toro, 1995).

Por otra parte, en un trabajo se presentaron los resultados del efecto de adición de lodos provenientes de aguas servidas como mejoradores del proceso de biodegradación de lodos petrolizados, sobre las propiedades físicas de un suelo Calciorthids de la Península de Paraguaná, que permitió determinar la factibilidad de que estos desechos puedan o no ser usados como mejoradores de suelos que posean propiedades físicas marginales. El ensayo fue realizado en la Refinería de MARAVEN-Cardón, y se llevaron a cabo los siguientes análisis para el estudio de las propiedades físicas: densidad real, densidad aparente, plasticidad, textura, infiltración, porosidad y conductividad hidráulica. Adicionalmente, se evaluaron las siguientes propiedades químicas: materia orgánica, pH y conductividad eléctrica. Los resultados mostraron cambios estadísticamente significativos en las siguientes propiedades: materia orgánica, reacción del suelo (pH), conductividad eléctrica, densidad real, densidad aparente, límite inferior de plasticidad e índice de plasticidad; los resultados de esta investigación mostraron que el efecto de estos dos tipos de lodos (petrolizado y aguas servidas) mejoran algunas propiedades físicas y químicas del suelo ensayado (Acosta *et al.* 1995).

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 un lavado muy bajo y una baja disponibilidad para la vegetación (Vásquez *et al.* 1996).

Los objetivos del presente trabajo fueron evaluar el efecto de un fluido de perforación base agua no disperso sobre la germinación de semillas, caracteres vegetativos y caracteres de la nodulación de plántulas en el cultivo de frijol 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 tratamientos o factores estudiados:

1. Tipo de suelo:
 - a) Suelo de sabana (textura franco-arenosa)
 - 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).

Se colocaron los dos tipos de suelo en las bandejas, ordenadas de forma aleatoria; cada bandeja fue dividida por la mitad por una lámina de anime conteniendo los dos tipos de suelo. Se realizaron cuatro repeticiones de tres bandejas cada una, las cuales contenían 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⁻¹ 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 efectuó 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.

Se tomaron muestras del fluido de perforación base agua no disperso antes de las aplicaciones de los tratamientos para caracterizarlo física y químicamente (Tabla 1).

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; número de nódulos totales, activos (color rosado) e inactivos (color verde); peso fresco de los nódulos; peso seco de los nódulos.

Tabla 1

Características químicas del desecho de un fluido de perforación base agua no disperso utilizado en el ensayo†

Características	Unidad	Valor
pH		6,3
Al	%	0,027
Si	%	0,201
Ca	%	13,04
Mg	%	1,94
Na	%	0,126
Fe	%	0,028
Mn	%	0,001
Cu	%	0,001
Zn	%	0,003
P	%	0,16
K	%	0,22
Pb	%	trazas
Ni	%	trazas
Cd	%	trazas
Ba	%	trazas
Cr	%	trazas
Nitratos	%	0,12
Humedad	%	55,94

† Realizado en el Laboratorio de Suelos y Ambiente de la Universidad de Oriente.

El cultivar de frijol (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.) utilizado fue Tejero criollo.

Se utilizaron seis tratamientos con cuatro repeticiones, bajo un diseño de parcelas divididas, donde la parcela principal fue el tipo de suelo y la subparcela la fertilización. Los datos fueron analizados mediante análisis de varianza convencional y las diferencias entre los promedios se obtuvieron 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 subparcela, el análisis se realizó como un bloque al azar en arreglo factorial. 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 caracteres de la germinación. No se

encontraron diferencias significativas para ninguna de las fuentes de variación para los porcentajes a los 3 y 4 d, el promedio general fue de 86,17 y 95,17%, respectivamente, mientras que para los 8, 12, 24 y 36 d, sólo el nivel de fertilización afectó la germinación de las semillas de frijol. El número medio de días a total germinación y la velocidad de germinación tampoco fueron afectados por las diferentes fuentes de variación, siendo los promedios generales de 3,17 días y 7,85, respectivamente (Cuadro 2).

En el Cuadro 3 se observa el análisis de varianza para la altura de las plantas en distintas fechas de evaluación. Se encontraron diferencias significativas en todas las fechas de evaluación para el tipo de suelo, mientras esto ocurrió para el nivel de fertilización sólo a los 28 y 36 d, sólo se observó una interacción significativa entre los dos factores anteriores para la altura de las plantas a los 12 d.

Se encontraron diferencias significativas para el nivel de fertilización y la interacción tipo de suelo x nivel de fertilización para el número de hojas/planta a los 36 d, mientras que para el diámetro del tallo y el peso fresco del vástago fue significativo el tipo de suelo y el nivel de fertilización (Cuadro 4). Para el peso fresco de las raíces sólo fue significativa la fuente de variación de las repeticiones, siendo el promedio general de 17,46 g. No se encontraron diferencias significativas para ninguna de las fuentes de variación para la

longitud de las raíces y el volumen radical, siendo los promedios generales de 16,74 cm y 13,56 cm³, respectivamente (cuadro 4).

No se encontraron diferencias significativas para la relación altura de planta/longitud de raíces, siendo el promedio general de 2,77. La fuente de variación de las repeticiones fue la única significativa para el peso seco de las raíces y la relación peso seco de vástago/peso seco de raíces, siendo los promedios generales de 65,34 g y 3,23, respectivamente (Cuadro 5). El peso seco del vástago mostró diferencias significativas para el tipo de suelo y el nivel de fertilización y la tasa de crecimiento basada en la altura sólo para esta última fuente de variación (Cuadro 5).

En cuanto a los caracteres de la nodulación, se encontraron diferencias significativas para los diferentes tipos de suelos y la interacción tipo de suelo x nivel de fertilización para el peso fresco de nódulos totales, pero ninguna de las fuentes de variación afectó el peso seco de nódulos totales, siendo el promedio general 0,14 g. El número de nódulos totales, activos e inactivos sólo fue afectado por el tipo de suelo (Cuadro 6).

El mayor porcentaje de germinación a los 5, 12, 2 y 36 días se presentó en los tratamientos que recibieron el fluido de perforación, siendo similar a aquel de las parcelas que se fertilizaron con 15-15-15, pero superior al tratamiento sin fertilizar (Cuadro 7).

Cuadro 1

Análisis de varianza para el porcentaje de germinación de semillas de frijol (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.) 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	4,22 ns	6,00 ns	7,11 ns	7,11 ns	4,22 ns	4,22 ns
Suelo (S)	1	486,00 ns	16,67 ns	0,00 ns	0,00 ns	0,67 ns	0,67 ns
Fertilización (F)	2	8,67 ns	12,67 ns	34,67 *	34,67 *	42,00 *	42,00 *
S x F	2	38,00 ns	24,67 ns	8,00 ns	8,00 ns	8,67 ns	8,67 ns
Error (b)	12	342,36	9,73	9,24	9,24	9,02	9,02
Total	23						
C. V. (%)		21,47	3,28	3,12	3,12	3,08	3,08
Media general		86,17	95,17	97,33	97,33	97,5	97,5

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

Cuadro 2

Análisis de varianza para el número medio de días a total germinación (NMD) y el índice de la velocidad de germinación de semillas de frijol (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.) en dos tipos de suelos y tres niveles de fertilización

Fuente de variación	Grados de libertad	Cuadrados medios	
		NMD	IVG
Repetición	3	0,02437 ns	0,02204 ns
Suelo (S)	1	0,17854 ns	0,23404 ns
Error (a)		0,08700	0,24113
Fertilización (F)	2	0,03588 ns	0,17004 ns
S x F	2	0,07774 ns	0,05251 ns
Error (b)	12	0,04934	0,23175
Total	23		
CV (a) (%)		9,29	6,25
CV (b) (%)		7,00	6,13
Media general		3,17	7,85

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

Cuadro 3

Análisis de varianza para la altura de plantas (cm) de frijol (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.) 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	0,7255 ns	6,293 ns	1,753 ns	9,729 ns	38,712 ns
Suelo (S)	1	56,7645 *	244,737 *	271,690 *	188,272 *	141,669 *
Fertilización (F)	2	0,8760 ns	16,896 ns	12,970 ns	43,998 *	112,873 *
S x F	2	1,2147 ns	18,135 *	11,315 ns	17,450 ns	43,993 ns
Error (b)	15	0,9171	4,490	10,310	12,550	23,191
Total	23					
C. V. (%)		8,66	8,17	8,93	8,72	10,71
Media general		11,06	25,95	35,95	40,63	44,97

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

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 (VR) de las plantas de frijol (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.) 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	0,23167 ns	0,04963 ns	7,1295 ns	250,98 ns	449,516 *	56,2117 ns
Suelo (S)	1	0,01500 ns	0,27735 *	6,9445 ns	2154,61 *	44,010 ns	9,127 ns
Error (a)				13,8688			
Fertilización (F)	2	1,18625 *	0,10736 *	1,1019 ns	2108,27 *	24,534 ns	31,7504 ns
S x F	2	2,01125 *	0,00409 ns	9,3497 ns	471,35 ns	22,495 ns	3,0679 ns
Error (b)	15	0,30400	0,02344	6,2996	187,52	52,661	25,9267
Total	23						
CV (a) (%)				22,25			
CV (b) (%)		7,33	5,65	15,00	16,09	41,56	37,55
Media general		7,5	2,7	16,74	85,13	17,46	13,56

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

Cuadro 5

Análisis de varianza para el volumen radical (cm³) (VR), 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 frijol (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.) 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	1,948 ns	40,6238 *	0,34368 ns	11,3120 *	0,03858 ns
Suelo (S)	1	102,507 *	25,4204 ns	1,36804 ns	1,3254 ns	0,02470 ns
Error (a)				0,46924	1,8563	
Fertilización (F)	2	39,739 *	13,8217 ns	0,69729 ns	1,0352 ns	0,12204 *
S x F	2	4,933 ns	14,3267 ns	0,68424 ns	1,1110 ns	0,04143 ns
Error (b)	15	4,166	11,1954	0,31210	1,1434	0,02401
Total	23					
CV (a) (%)				24,74	42,25	
CV (b) (%)		16,20	65,34	20,18	33,16	12,79
Media general		12,60	5,12	2,77	3,23	1,21

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

Cuadro 6

Análisis de varianza para el peso fresco de nódulos totales (g) (PFN), peso seco de nódulos totales (g) (PSN), número de nódulos totales (NN), número de nódulos activos (NNA) y número de nódulos inactivos (NNI) en plantas de frijol (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.) 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				
		PFN	PSN	NN	NNA	NNI
Repetición	3	0,10424 ns	0,00598 ns	446,5 ns	198,15 ns	55,71 ns
Suelo (S)	1	1,49002 *	0,12013 ns	15759,4 *	73,85,04 *	1617,04 *
Error (a)		0,12113	0,01812			
Fertilización (F)	2	0,03759 ns	0,00126 ns	580,5 ns	279,29 ns	52,67 ns
S x F	2	0,21450 *	0,00792 ns	978,5 ns	490,54 ns	90,17 ns
Error (b)	12	0,04721	0,00541	543,5	239,05	64,61
Total	23					
CV (a) (%)		83,36	97,85			
CV (b) (%)		52,04	53,45	49,21	51,14	53,74
Media general		0,42	0,14	47,3	32,3	15,0

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

Cuadro 7

Promedios para el porcentaje de germinación de semillas de frijol (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.) a los 8, 12, 24 y 36 días después de la siembra (DdS), en dos tipos de suelos y tres niveles de fertilización

Nivel de fertilización	Porcentaje de germinación (DdS) †			
	8	12	24	36
Fluido de perforación	99,0 A	99,0 A	99,0 A	99,0 A
Fertilizante 15-15-15	98,0 AB	98,0 AB	98,0 AB	98,0 AB
Sin fertilización	95,0 B	95,0 B	95,0 B	95,0 B
MDS	3,24	3,24	3,20	3,20

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

En el suelo de sabana las plantas fueron más altas que en el suelo de vega a los 8, 20, 28 y 36 d (cuadro 8), mientras que los tratamientos de fertilización (fluido de perforación y fertilizante 15-15-15) produjeron plantas más altas que las parcelas sin fertilización a los 28 y 36 d (cuadro 9). En cuanto a la altura a los 12 d, el suelo de sabana produjo plantas más altas que el suelo de vega cuando se aplicó el fluido de perforación o el fertilizante 15-15-15, mientras que ambos suelos produjeron plantas de similar altura en las parcelas sin fertilización (Cuadro 10).

El fluido de perforación y el fertilizante 15-15-15 produjeron plantas con una mayor cantidad de hojas que el tratamiento sin fertilización en el suelo de sabana, mientras que en el suelo de vega, las plantas en los tres niveles de fertilización produjeron similares cantidades de hojas (Cuadro 11). Lo que evidencia que el suelo es deficitario en macronutrientes como N, P, K, Ca y que el aporte de cualquiera de ellos produce respuestas en el cultivo.

Cuadro 8

Promedios para la altura de plantas (cm) de frijol (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.) a los 8, 20, 28 y 36 días después de la siembra (d), en dos tipos de suelos y tres niveles de fertilización

Tipo de suelo	Altura de plantas (cm) (DdS) †			
	8	20	28	36
Sabana	12,60 A	39,31 A	43,43 A	47,40 A
Vega	9,53 B	32,58 B	37,83 B	42,54 B
MDS	0,83	2,79	3,08	4,19

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

Cuadro 9

Promedios para la altura de plantas (cm) de frijol (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.) a los 28 y 36 días después de la siembra (DdS), en dos tipos de suelos y tres niveles de fertilización

Nivel de fertilización	Altura de plantas (cm) (DdS) †	
	28	36
Fluido de perforación	42,16 A	47,52 A
Fertilizante 15-15-15	41,79 A	46,74 A
Sin fertilización	37,93 B	40,66 B
MDS	3,78	5,13

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

Cuadro 10

Promedios para la altura de plantas (cm) de frijol (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.) a los 12 días después de la siembra, en dos tipos de suelos y tres niveles de fertilización

Nivel de fertilización	Altura de plantas (cm) †	
	Suelo de sabana	Suelo de vega
Fluido de perforación	31,45 A	22,72 B
Fertilizante 15-15-15	30,16 A	22,73 B
Sin fertilización	25,81 B	22,82 B
MDS	3,19	

† Prueba de la Mínima Diferencia Significativa (MDS). Letras distintas indican promedios estadísticamente diferentes ($p \leq 0,05$).

Cuadro 11

Promedios para el número de hojas/planta de frijol (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.) a los 36 días después de la siembra, en dos tipos de suelos y tres niveles de fertilización

Nivel de fertilización	Número de hojas/planta †	
	Suelo de sabana	Suelo de vega
Fluido de perforación	8,1 A	7,3 BC
Fertilizante 15-15-15	8,0 AB	7,6 AB
Sin fertilización	6,6 C	7,6 AB
MDS	0,83	

† Prueba de la Mínima Diferencia Significativa (MDS). Letras distintas indican promedios estadísticamente diferentes ($p \leq 0,05$).

En el suelo de sabana se presentaron plantas con tallos más gruesos y vástagos más pesados tanto frescos como secos que en el suelo de vega (Cuadro 12). Por otra parte, el fluido de perforación y el fertilizante 15-15-15 produjeron plantas con vástagos más pesados tanto frescos como secos y plantas con una mayor tasa de crecimiento basada en la altura de la planta, mientras que el fluido de perforación produjo plantas de similar diámetro del tallo que plantas en las parcelas fertilizadas con 15-15-15, pero más gruesos que las plantas que crecieron en las parcelas sin fertilizar (Cuadro 13).

En cuanto al peso fresco de los nódulos, no se encontraron diferencias significativas entre los dos tipos de suelos a un mismo nivel de fertilización, mientras que en el suelo de sabana los nódulos fueron más pesados en los dos tratamientos de fertilización (fluido de perforación y fertilizante 15-15-15) en comparación con el tratamiento sin fertilizar, en el suelo de vega, los tratamientos de fertilización produjeron nódulos con un peso similar (Cuadro 14). Esto implica que existen limitaciones de fertilidad en el suelo de sabana, en términos de NPK y de calcio que son o bien corregidas por el fertilizante y por el fluido.

Las plantas de frijol produjeron una mayor cantidad de nódulos totales, nódulos activos y nódulos inactivos en el suelo de sabana en comparación con el suelo de vega (Cuadro 15). Los tratamientos de fertilización no afectaron la cantidad de nódulos totales, activos e inactivos.

Los porcentajes de germinación fueron similares entre el fluido de perforación y el fertilizante 15-15-15, superando ligeramente a aquellos que no se les aplicó ningún tipo de fertilizante, es decir, la fertilización mejoró la germinación de las semillas;

estos datos también demuestran que el fluido no tiene un efecto deletéreo sobre la germinación, sino más bien un efecto beneficioso, es decir, la germinación de las semillas se incrementa ligeramente con la aplicación del fluido de perforación. La tasa de germinación representada por el número medio de días a total germinación y la velocidad de germinación no fue afectada por los diferentes tratamientos de fertilización, lo que indica que el fluido de perforación tampoco tiene un efecto deletéreo sobre la germinación a través del tiempo. Estos resultados son satisfactorios debido a que los componentes principales de los lodos invertidos de emulsión, por otra parte, pueden no ser tan beneficiosos al suelo, éstos incluyen (a) fluido base; (b) emulsificadores/surfactantes; (c) fase interna (acuosa o polar) y (d) material de peso, cualquiera de éstos puede afectar la germinación de las semillas, el crecimiento de las plantas y/o el ciclo de vida de la fauna nativa, por ejemplo, lombrices de tierra (Curtis *et al.* 2001).

En otro experimento evaluando ocho tipos de fluidos: a) olefina isomerizada C16-18; b) olefina alfa lineal C14-16; c) tetradecena isomerizada; d) parafina isomerizada; e) aceite mineral; f) diesel grado Winter; g) olefina alfa lineal tetradecena y h) parafina lineal se encontró que el cultivo de la cebada fue muy sensible a los fluidos sin tratar con poca o ninguna germinación en cualquiera de los tratamientos siguiendo inmediatamente la aplicación. Aunque la biorremediación significativamente mejoró la respuesta de la cebada con casi 100% de germinación en los tratamientos de olefina isomerizada, alfa olefina y tetradecena isomerizada y 60% en los tratamientos de aceite lineal y diesel, el cultivo de lechuga respondió diferentemente a

Cuadro 12

Promedios para el diámetro del tallo (cm) (DT), peso fresco del vástago (g) (PFV), y peso seco del vástago (g) (PSV) de las plantas de frijol (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.) a los 8, 20, 28 y 36 días después de la siembra (DdS), en dos tipos de suelos y tres niveles de fertilización

Tipo de suelo	DT †	PFV	PSV
Sabana	2,82 A	94,61 A	14,67 A
Vega	2,60 B	75,66 B	10,53 B
MDS	0,13	11,92	1,78

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

Cuadro 13

Promedios para el diámetro del tallo (cm) (DT), peso fresco del vástago (g) (PFV), peso seco del vástago (g) (PSV) y tasa de crecimiento basada en la altura (TCBA) de las plantas de frijol (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.) a los 8, 20, 28 y 36 días después de la siembra (DdS), en dos tipos de suelos y tres niveles de fertilización

Nivel de fertilización	DT †	PFV	PSV	TCBA
Fluido de perforación	2,82 A	95,08 A	14,09 A	1,29 A
Fertilizante 15-15-15	2,73 AB	93,93 A	13,68 A	1,28 A
Sin fertilización	2,59 B	66,40 B	10,04 B	1,07 B
MDS	0,16	14,59	2,18	0,17

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

Cuadro 14

Promedios para el peso fresco de nódulos totales (g) (PFN) en plantas de frijol (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.) a los 36 días después de la siembra en dos tipos de suelos y tres niveles de fertilización

Tipo de Suelo	Peso fresco de nódulos (g) †		
	Tipo de fertilización		
	Sin fertilización	Fluido de perforación	Fertilizante 15-15-15
Sabana	0,40 Ab	0,83 Aa	0,78 Aa
Vega	0,28 Aa	0,10 Aa	0,13 Aa

† Prueba de la Mínima Diferencia Significativa ($p \leq 0,05$). Letras distintas indican promedios estadísticamente diferentes. Letras mayúsculas para las comparaciones entre suelos a un mismo nivel de fertilización. Letras minúsculas para las comparaciones entre niveles de fertilización en un mismo suelo

Cuadro 15

Promedios para el número de nódulos totales (NN), número de nódulos activos (NNA) y número de nódulos inactivos (NNI) en plantas de frijol (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.) a los 36 días después de la siembra en dos tipos de suelos y tres niveles de fertilización

Tipo de suelo	Número de nódulos/planta †		
	NN	NNA	NNI
Sabana	73,0 A	49,8 A	23,2 A
Vega	21,8 B	14,8 B	6,8 B
MDS	20,3		

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

aquel de la cebada, tanto para los fluidos sin tratar como los biorremediados. Inicialmente todos los fluidos inhibieron la germinación de las semillas de lechuga con la olefina isomerizada siendo la menos tóxica y la tetradecena isomerizada la más tóxica. Sin embargo, después de la biorremediación, no hubo toxicidad evidente en la germinación de las semillas de lechuga en los tratamientos de olefina isomerizada, olefina alfa y tetradecena isomerizada. En contraste, tanto la parafina isomerizada y el aceite mineral desarrollaron extrema toxicidad en lechuga (sin germinación) durante la biorremediación. La toxicidad del diesel en la germinación de semillas de lechuga también se incrementó después de la biorremediación. Los ensayos de germinación indicaron que sólo la olefina isomerizada, la olefina alfa y tetradecena isomerizada exhibieron poca o ninguna toxicidad siguiente a la biorremediación. Estos tres fluidos también demostraron el mayor potencial de descomposición y desaparecieron casi completamente del suelo cuando se condujeron los ensayos de fitotoxicidad (Lee *et al.* 2002). Al comparar estos resultados con los encontrados en nuestro ensayo se observa un efecto beneficioso del desecho del fluido de perforación base agua no disperso sobre la germinación de semillas de frijol, en contraposición a los resultados del experimento citado, donde se tuvo que esperar un proceso de biorremediación para disminuir la toxicidad.

En este experimento se pudo observar que el suelo de sabana generalmente produjo plantas con mayores valores para los caracteres evaluados que las del suelo de vega. Por otra parte, el fluido de perforación utilizado produjo plantas con similares características a aquellas que crecieron en las parcelas fertilizadas con 15-15-15, pero produjo plantas con mayores valores que aquellas que estaban en las parcelas sin fertilizar, estos resultados indican que el fluido de perforación evaluado produjo efectos equivalentes a los de la fertilización con NPK.

Resultados diferentes a los encontrados en este ensayo han sido reportados en otros experimentos. En un estudio para determinar el efecto de diferentes dosis de ripio petrolero base aceite sobre los caracteres de tres cultivos agrícolas (maíz, frijol y patilla) se encontró que con el aumento de dosis del ripio disminuyó la biomasa de los cultivos en 50,58; 29,67, 16,83 y 6,75% para las dosis de 67, 134, 268 y 536 m³/ha, respectivamente, siendo el testigo sin la aplicación de ripio (100%) superior al resto de

las dosis. En este mismo experimento, la longitud y diámetro del tallo fue menor con el aumento de las dosis de ripios de perforación, siendo el cultivo de frijol más tolerante que el maíz y éste a su vez que la patilla (Campos-Ruiz, 1999).

Lee *et al.* 2002 encontraron que en el cultivo de cebada, el desarrollo de las raíces fue significativamente inhibido por la parafina isomerizada, el aceite mineral y el diesel (20-25% del control) siguiendo la remediación, el crecimiento de la cebada en los tratamientos de la olefina isomerizada, la olefina alfa y tetradecena isomerizada fue mayor que en el suelo no tratado. El crecimiento de las raíces de lechuga fue inhibido en promedio 50% por los fluidos sin tratar. Sin embargo, siguiendo la biorremediación, no hubo toxicidad evidente en la elongación de las raíces en los tratamientos de olefina isomerizada, olefina alfa y tetradecena isomerizada, la toxicidad del diesel en el crecimiento de las raíces se incrementó después de la biorremediación.

Resultados similares a los encontrados en el presente trabajo se obtuvieron en experimentos de invernadero aplicando ripios 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 (Vásquez *et al.* 1996).

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).

Las diferencias y semejanzas entre este ensayo y los reportados en la literatura pueden deberse al amplio rango de componentes de los fluidos de perforación y las dosis usadas por varios investigadores como la ha apuntado Bauder *et al.* (2005).

No se encontraron diferencias para el peso seco de los nódulos para ninguna de las fuentes de variación, pero en cuanto al peso fresco de los mismos, los nódulos fueron más pesados cuando se realizó la fertilización con 15-15-15 o con el fluido de perforación en comparación con las parcelas no fertilizadas, es decir, el fluido de perforación produjo un efecto similar a aquel del fertilizante en relación al peso fresco de los nódulos. El número de nódulos totales, activos e inactivos no fue afectado por los niveles de fertilización, pero sí por el tipo de suelo, en el suelo de sabana se encontró una mayor cantidad de las tres clases de nódulos en comparación con el suelo de vega.

Estos resultados son esperanzadores en el sentido de que podría utilizarse un desecho de la industria petrolera como lo es este desecho de un fluido de perforación base agua no disperso como fertilizante en un cultivo como el frijol, el cual es generalmente cultivado por pequeños agricultores o campesinos que no cuentan con altos recursos

financieros para la adquisición de fertilizantes completos como 15-15-15, 12-24-12, etc. Sin embargo, hay que determinar la concentración de N, P, K, S y Ca en tejidos en todos los tratamientos para asegurar que el fluido es un fertilizante y qué nutrimento está supliendo. Pero se evidencia un efecto positivo sobre la germinación de las semillas, el crecimiento y desarrollo de las plántulas de frijol en sus fases iniciales y sobre la producción de nódulos de las plántulas de frijol. La incorporación del desecho del fluido de perforación abarataría el precio de los fertilizantes y por ende disminuiría los costos de producción en el cultivo del frijol, incrementando así la relación costo-beneficio para los pequeños productores de frijol en Venezuela. Pero por supuesto más pruebas a nivel de invernadero y campo tanto experimental como semicomercial deben ser hechas para no poner en riesgo al cultivo de frijol ni a sus productores, de manera de desarrollar la tecnología para el incremento de la productividad basado en un plan de fertilización oportuno, adecuado y económico basado en una agricultura sustentable dada por su labor social, puesto que está encaminada hacia los pequeños productores de leguminosas de grano, económicamente rentable, ya que sin duda este desecho usado como fertilizante costaría menos que los fertilizantes completos y sin deteriorar el ambiente debido a que la contaminación de los fertilizantes químicos es muy alta sobre todo debido a la liberación de nitritos y nitratos presentes en ellos.

LITERATURA CITADA

- ACOSTA, I.; INFANTE, C.; LÓPEZ, W. 1995.** Efecto de Lodos Petrolizados y Lodos de Tratamientos de Aguas Servidas sobre un Suelo Calciorthids de la Península de Paraguana. *Agronomía Tropical* 45 (4): 527-537. 1995.
- AMERICAN PETROLEUM INSTITUTE (API). 1982.** Agronomic Impacts Resulting from Land Disposal of Used Drilling Fluids and Cuttings. REPORT 80-24. 1982.
- BAUDER, T. A.; BARBARICK, K. A.; IPPOLITO, J. A.; SHANAHAN, J. F.; AYRES, P. D. 2005.** Soil properties affecting wheat yields following drilling-fluid application. *Journal of Environmental Quality* 24 (5): 1687-1696.
- CAMPOS-RUIZ, N. K. 1999.** Efecto de la aplicación de ripo petrolero base aceite a un suelo de los llanos de Monagas sobre el comportamiento de varios cultivos. Trabajo de Grado para Ingeniero Agrónomo. Escuela de Ingeniería Agronómica. Núcleo de Monagas. Universidad de Oriente. Maturín. 134 p.
- CASANOVA, E.; GOITIA, R.; PEREIRA, P.; COMERMA, J.; AGUILAR, C. 1993.** Necesidades y Perspectivas Agronómicas de Fertilizantes y Enmiendas en Venezuela. *Venezuelas* 1 (1): 17-23.
- CURTIS, G. W.; GROWCOCK, F. B.; CANDLER, J. E.; RABKE, S. P.; GETLIFF, J. 2001.** Can Synthetic-Based Muds Be Designed to Enhance Soil Quality? AADE 2001 National Drilling Conference, "Drilling Technology - The Next 100 years", held at the Omni Houston Westside in Houston, Texas, March 27-29, 2001.
- DRILLING FLUIDS ENGINEERING MANUAL. 1998.** M-I L.L.C.
- FEDEAGRO. 2006.** Estadísticas de Producción. www.fedeagro.org. Última visita 13/02/2006.
- GÓMEZ PADILLA, E. J.; LÓPEZ-SÁNCHEZ, R.; ZAMORA-RODRÍGUEZ, A.; ÁVILA-MEDINA, U. 2004.** Evaluación de la Nodulación Natural de Variedades de Frijol Caupí (*Vigna Unguiculata* L.) en un Suelo Fluvisol de la Llanura del Río Cauto en la Provincia Granma, Cuba. *Alimentaria*, Enero-Febrero: 103-105.

- GÓMEZ-TORO, J. M. 1995.** Efecto de la vinaza sobre la producción de caña de azúcar bajo tres regímenes de fertilización mineral. *Bioagro* 7 (1): 22-28.
- LEE, B.; VISSER, S.; FLEECE, T.; KRIEGER, D. 2002.** Bioremediation and Ecotoxicity of Drilling Fluids Used for Land-based Drilling. AADE 2002 Technology Conference "Drilling & Completion Fluids and Waste Management", held at the Radisson Astrodome, Houston, Texas, April 2 - 3, 2002.
- McCOSH, K.; GETLIFF, J. 2003.** Drilling Fluid Chemicals and Earthworm Toxicity. 10th Annual International Petroleum Environmental Conference. November 10-14, 2003.
- ORGANIZATION OF THE PETROLEUM EXPORTING COUNTRIES (OPEP). 2006.** Monthly Oil Market Report. February 2006. 52 p. [http://www.opec.org/home/Monthly Oil Market Reports/2006/mr022006.htm](http://www.opec.org/home/Monthly%20Oil%20Market%20Reports/2006/mr022006.htm). Última visita 22/02/2006.
- RICHARDS, M. J.; LOVE, W. W. 2002.** Bulk Transportation of Drilling Waste. AADE 2002 Technology Conference "Drilling & Completion Fluids and Waste Management", held at the Radisson Astrodome Houston, Texas, April 2-3, 2002.
- VÁSQUEZ, P.; URICH, J.; GONZÁLEZ, V.; SILVA, P.; RODRÍGUEZ, A. 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.
- VASCONCELOS, I.; FURTADO-MÉNDEZ, P.; VARIA, F. 1998.** Variabilidad de la inoculación y fijación biológica del nitrógeno entre cultivares de frijol de corda (*Vigna unguiculata* L.). *Revista Ciencia Agronómica*. Brasil, 19 (1): pp. 179. 1998.