

Efectos de un fluido base agua con coque de petróleo como controlador de filtrado sobre suelos

Effects of a water-based fluid with petroleum coke as a filter controller on soils

Rubén Vega Mejía¹, Andreyana Martínez Morón¹, María Márquez Gutiérrez¹

¹Universidad de Oriente, Núcleo de Monagas. Escuela de Ingeniería y Ciencias Aplicadas, Departamento de Ingeniería de Petróleo, Campus Los Guaritos. Avenida Universidad Maturín Monagas-Venezuela.

*Autor de correspondencia: rvegas@udo.edu.ve

Este documento posee una [licencia Creative Commons Reconocimiento/No Comercial 4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/)



Recibido: 1 noviembre 2019 **Aceptado:** 17 agosto 2020 **Publicado:** 22 agosto 2020

Resumen

En el presente trabajo se realizó un estudio de las propiedades fisicoquímicas de los suelos de las áreas petroleras de Santa Barbará y Jusepín en el estado Monagas-Venezuela, para evaluar el efecto de un fluido de perforación base agua tipo lignosulfonato, usando coque de petróleo como controlador de filtrado y se empleó la semilla de caraota (*Phaseolus vulgaris*) como bioindicador. Dichos suelos de Santa Barbará y Jusepín resultaron ser arenoso y franco arenoso respectivamente y al ser contaminados se obtuvieron mínimas alteraciones en las propiedades físicas (densidad real y aparente, porosidad y humedad). Debido a ello en el suelo arenoso las variaciones de las propiedades químicas generaron un incremento en el crecimiento de las plantas más representativo que en el suelo franco arenoso. Sin embargo, los cambios analizados mediante la prueba estadística de medidas repetidas, fueron significativos al compararlo con un suelo virgen, pero no entre las variaciones de concentración de fluido agregado. A pesar de los cambios en las propiedades, los suelos son aptos para ser sometidos a técnicas de confinamiento y esparcimiento.

Palabras clave: bioindicador, coque de petróleo, fluido base agua, suelo arenoso, suelo franco arenoso.

Abstract

A study of the physico-chemical properties of the soils of Santa Barbara and Jusepin oil areas in the Monagas-Venezuela State was in this work developed, to assess the effect of a drilling fluid type lignosulphonate using petcoke as controller of filtering water based, and using the seed of bean (*Phaseolus vulgaris*) as a biomarker. These soils of Santa Barbara and Jusepin turned out to be sandy and sandy loam respectively and to be contaminated were minimal changes in physical properties (real and apparent density, porosity and moisture), result in the sandy soil variations in chemical properties generated an increase in the growth of the plants most representative in the sandy loam soil. However, these changes analyzed by repeated measures statistical test, were significant compared to a virgin soil, but not between the variations of concentration of added fluid. Despite the changes in properties, soils are suitable to be subjected to techniques of confinement and relaxation.

Keywords: bioindicator, petcoke, base water fluid, sandy soil, sandy loam soil.

1. Introducción

La actividad petrolera a nivel mundial está entre las más susceptibles a producir daños al ambiente tanto natural como social, debido a la naturaleza de los hidrocarburos y otros productos químicos que se manejan en las operaciones propias de esta industria [1]. El impacto al medio ambiente generado por la industria es elevado. No se conoce con exactitud la magnitud del daño que la industria del petróleo ha causado al ambiente a lo largo de su existencia [2], pero actualmente dicha industria tiene entre sus principales preocupaciones el cuidado del medio ambiente, ya que los medios de comunicación y ciertas organizaciones ecologistas critican a este sector constantemente [3].

La contaminación por petróleo se produce por su liberación en el ambiente, provocando efectos adversos sobre el hombre y el medio ambiente, directa o indirectamente. La contaminación involucra todas las operaciones relacionadas con la explotación y transporte de hidrocarburos, que conducen inevitablemente al deterioro gradual del ambiente, afectando en forma directa al suelo, agua, aire, la fauna y la flora [4]. No obstante, la actividad de la industria petrolera trae como consecuencia la producción de una gran cantidad de desechos petrolizados contaminantes que representan un alto riesgo operacional, ambiental y humano [5]. Una de las actividades de mayor importancia para la industria petrolera es la perforación, debido a que mediante ella se logra la comunicación entre la superficie y el subsuelo. Para tal fin se utilizan fluidos de perforación, los cuales por su composición probablemente puedan generar contaminación del área adyacente. Asimismo, la actividad de perforación, genera una serie de desechos sólidos y líquidos entre los cuales están los desechos de perforación, los fluidos de perforación gastados o fuera de especificación que ya no pueden ser reusados.

Venezuela es un país que basa su economía en la explotación de hidrocarburos. Así la producción petrolera de Venezuela se ubicaba alrededor de 2.180.000 barriles de petróleo por día en 2016 [6], y se realiza a lo ancho y largo del país en las cuencas de Maracaibo-Falcón, Barinas-Apure, Tuy-Cariaco, Margarita y Oriente. Específicamente en la zona Oriental del país, ubicada al sur de los estados Guárico, Anzoátegui y Monagas está la Faja Petrolífera del Orinoco (FPO), la cual es la fuente de hidrocarburos más grande del mundo; la misma comprende una extensión de 55.314 km² y básicamente contiene crudo pesados y extrapesados. Es decir, crudos de menos de 10°API [7].

Como consecuencia de la producción de petróleo pesado y extrapesado de la FPO, se genera en el Complejo Petroquímico General de División José Antonio Anzoátegui un subproducto denominado coque de petróleo. El coque de petróleo o petrocoque es un residuo de elevado contenido de carbono, resultante de la pirólisis de las fracciones pesadas obtenidas en la refinación del petróleo [8]. Venezuela produce en la actualidad unas 20.000 TPD (Toneladas por día) de coque retardado y se estima un incremento en aproximadamente 30.000 TPD a partir de 2018 por el mejoramiento y refinación de los crudos de la Faja Petrolífera del Orinoco. El alto contenido de azufre, metales y fracción de asfaltenos, son algunas de las características singulares de los crudos de la faja y debido a su procesamiento o mejoramiento, empleando esquemas convencionales, se produce un coque de petróleo con propiedades igualmente singulares; por lo que resulta importante el estudio del mismo como un material de carbono peculiar [9].

Ante lo expuesto y con base a una investigación previa que demostró que el coque de petróleo puede ser empleado como controlador de filtrado en fluidos base agua tipo lignosulfonato [10], porque cumple a nivel de laboratorio con los parámetros físicos y químicos requeridos para un fluido de este tipo, y aunado a que todas las actividades susceptibles de generar daños a los ecosistemas deben ser previamente acompañadas de estudios de impacto ambiental y social, se hace relevante conocer el efecto sobre el suelo de un fluido base agua con coque como controlador de

filtrado, específicamente sobre dos suelos característicos de las áreas productoras de crudo del estado Monagas como lo son Santa Bárbara y Jusepín.

2. Materiales y Métodos

La investigación dio inicio con la captación de muestras de suelo, mediante la aplicación de la norma NTC-3656-2004 en las áreas de estudio de Santa Bárbara y Jusepín. Dichos suelos son típicos del ecosistema de sabana de los llanos orientales venezolanos y ellos son productores de petróleo liviano-mediano (24-32°API). A continuación, las muestras fueron llevadas al Laboratorio de Suelos del Postgrado de Agricultura Tropical, Campus Juanico de la Universidad de Oriente, Núcleo Monagas para su caracterización física. Así se determinaron las propiedades: densidad aparente, densidad real ASTM D2196-2015, porosidad calculada a partir de los valores de densidad aparente y real, humedad ASTM D854.2014 y textura.

Posteriormente se estudiaron los parámetros de pH, conductividad eléctrica, aluminio intercambiable y capacidad de intercambio catiónico Nom-021-2000, (suelo blanco o patrón). Seguidamente, se prepararon muestras de suelo en bolsas de polietileno y se contaminaron con un fluido de perforación base agua tipo lignosulfonato con coque como controlador de filtrado, en concentraciones de 2:1, 3:1 y 4:1 (Tabla 1). 24 horas después se sembraron 3 semillas de caraotas (*Phaseolus vulgaris*) en cada bolsa y durante 21 días se observó el crecimiento de las plantas (bioindicador) para finalmente medir: porcentaje de germinación, tamaño y color de las plantas en cada suelo.

Tabla 1. Distribución de la concentración de fluido de perforación con coque como controlador de filtrado

Concentración(Fluido: Suelo) Santa Bárbara-Jusepín	Fluido (mL)	Masa de Suelo (kg)	Repeticiones (r)
Blanco	0	2	4
2:1	20	2	4
3:1	30	2	4
4:1	40	2	4

Finalizado el tiempo de observación, las muestras de los suelos contaminados fueron llevadas al laboratorio de suelos, donde se les determinaron nuevamente las propiedades de pH, conductividad eléctrica, capacidad de intercambio catiónico y aluminio intercambiable (Nom-021-2000) y se compararon con los valores máximos permitidos por las leyes que rigen la materia en Venezuela.

Finalmente, se realizó un análisis estadístico de medidas repetidas, que permitió comparar cada suelo como grupo y las concentraciones entre ellas buscando diferencias significativas. El modelo de medidas repetidas es igual al clásico de observaciones independientes, pero con un parámetro adicional t_j introducido para todos los efectos por el uso de la misma unidad experimental bajo diferentes condiciones [11]. Para ello, inicialmente se estableció un diseño experimental en el cual se dividió en dos grupos (Suelos de Santa Bárbara y Jusepín), los cuales poseen un blanco o fluido patrón (sin coque) y cada suelo se contaminó en concentraciones 2:1, 3:1 y 4:1 (mL: kg suelo). Para el análisis estadístico se empleó el software IBM SPSS Statistics 19.0.

3. Resultados y Discusión

Para poder conocer la calidad del suelo y saber el grado de contaminación debe conocerse la condición natural o inicial del suelo. Es decir, se debe conocer cómo estaba sin la actividad humana [12]. La forma para conocer la calidad del suelo es a través del uso de indicadores como

instrumentos de análisis que permiten simplificar, cuantificar y comunicar fenómenos complejos. Los indicadores de la calidad del suelo pueden ser las propiedades físicas, químicas y biológicas, o los procesos que ocurren en él. Al realizar las pruebas necesarias para el conocimiento de las propiedades físicas, químicas y la caracterización física de los suelos, se obtuvieron los resultados que se muestran en la Tabla 2. Los valores obtenidos de densidad real para las muestras de suelos de Santa Bárbara y Jusepín son próximos entre ellos y se infiere que ambos poseen cantidades similares de partículas sólidas en su composición. En general, la densidad real de los suelos que no poseen cantidades anormales de minerales pesados, está alrededor de 2,65 g/mL, si los contenidos de materia orgánica no superan el 1%.

Tabla 2. Características físicas promedio de las muestras de suelo de los Campos Santa Bárbara y Jusepín

	Santa Bárbara	Jusepín
Parámetro	Promedio	Promedio
Densidad real (g/mL)	2,81	2,94
Densidad aparente (g/mL)	2,10	2,08
Porosidad (%)	28,36	29,41
Humedad (%)	0,98	2,68
Arena (%)	88,2	70,66
Arcilla (%)	5,2	11,6
Limo (%)	6,6	17,8

Con respecto a la densidad aparente, los valores obtenidos indicaron que los suelos poseen poca compactación, lo que ayuda al crecimiento de las raíces y de esta manera generan un buen crecimiento de las plantas. La porosidad expresa el porcentaje del volumen del suelo ocupado por poros, o el porcentaje del volumen del suelo no ocupado por sólidos. Los valores confirman que los suelos Santa Bárbara y Jusepín cuentan con espacio suficiente para el crecimiento de las raíces de las plantas, considerándose esta característica como beneficiosa.

La humedad evidencia en términos generales que los suelos en estudio poseen baja capacidad de almacenar agua, en especial el suelo de Santa Bárbara, lo cual hace que requieran de constante riego para el crecimiento de las plantas. Finalmente, según los contenidos de arena, arcilla y limo presentes en los suelos, el suelo de Santa Bárbara, se define como un suelo de tipo arenoso, mientras que el de Jusepín es de tipo franco arenoso. Finalizada la caracterización de los suelos se procedió a la contaminación y siembra del indicador biótico, según la metodología planteada. Así, mediante la observación directa se llevó a cabo el monitoreo de la germinación de las semillas de caraotas (*Phaseolus vulgaris*). En tal sentido, en los primeros 7 días del experimento se visualiza en la Figura 1, que en el suelo de Santa Bárbara (a) hay un incremento en el porcentaje de germinación de las semillas, al comparar la muestra con mayor concentración de fluido (4) y la muestra de suelo virgen (1); la tendencia de germinación se igualan en la semana 2 y 3. Es decir, las líneas se superponen, alcanzándose el 100% en la muestras con concentraciones 1:1 y 4:1, observándose además que para la concentración 2:1 la germinación fue superior al 90% mientras que el menor valor corresponde a las semillas de la muestra con concentración 3:1.

Por otra parte, el comportamiento generado por el fluido en el suelo de Jusepín (b), en la semana 1 (7 días) resultó positivo para la muestra con mayor concentración (4), donde el porcentaje de germinación fue cercano a 30% mientras que para la muestra virgen el porcentaje fue aproximadamente de 10%. Este comportamiento se mantuvo a lo largo del tiempo y mientras se acercaba a los 21 días el porcentaje de germinación era mayor en la concentración 4 con respecto a las demás. De los resultados se puede inferir que el porcentaje de germinación estuvo influenciado

por la calidad de las semillas de caraotas (*Phaseolus vulgaris*), así como por la textura de los suelos y la concentración del fluido de perforación utilizado.

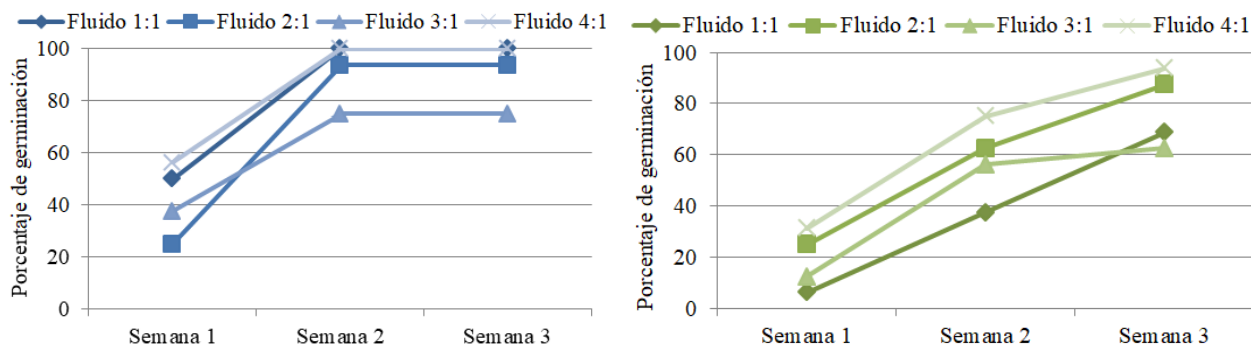


Fig.1 Porcentaje de germinación de las semillas de caraotas (*Phaseolus vulgaris*) en suelos de Santa Bárbara (a) y Jusepín (b) vs. Concentración de fluido

Concerniente al crecimiento de las plantas, para el suelo de Santa Bárbara el crecimiento fue mayor, teniendo alturas máximas superiores a 50 cm para las concentraciones 1:1 (suelo virgen) y 4:1. Esto muestra que la cantidad de coque utilizada para la formulación del fluido de perforación a mayor concentración afecta la fertilidad del suelo. Por el contrario, en las muestras con las concentraciones 2:1 y 3:1 el crecimiento observado fue inferior, indicando que la aplicación de 20 mL y 30 mL respectivamente no son beneficiosos para el desarrollo de dichas plantas.

Con respecto al suelo de Jusepín, para las concentraciones de 1:1 y 2:1 el crecimiento de las plantas se mantuvo dentro del mismo rango, evidenciándose además una alteración negativa para el suelo con concentración 3:1, donde estas presentaron el menor tamaño. Este comportamiento se repitió por los 21 días. El crecimiento máximo de las plantas se observó en la concentración 4:1, donde alcanzaron alturas aproximadamente de 45 cm, ratificando los beneficios de la utilización del coque en suelos agrícolas.

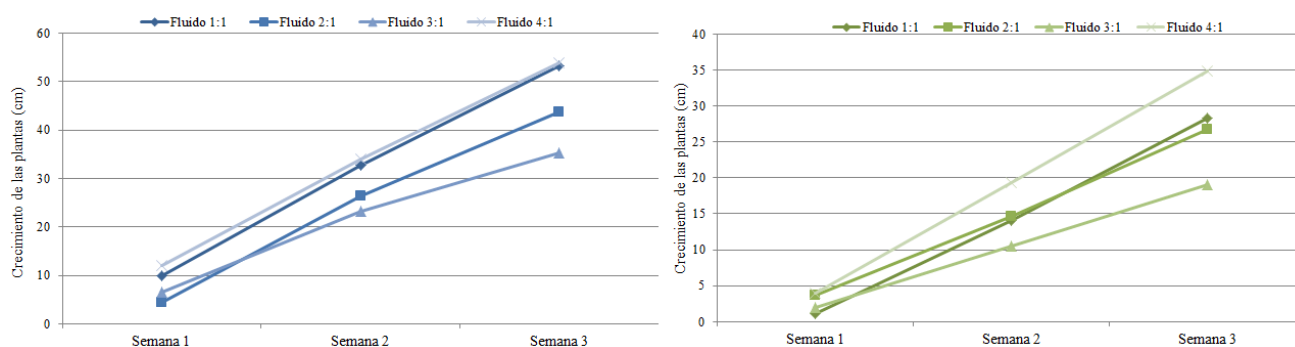


Fig.2 Crecimiento de las plantas de caraotas (*Phaseolus vulgaris*) en el suelo de Santa Bárbara (a) y Jusepín (b) vs. Concentración de fluido

Con el análisis de pH, conductividad eléctrica, aluminio intercambiable y capacidad de intercambio catiónico, se verificó si las distintas concentraciones del fluido base agua con coque como controlador de filtrado aplicadas a los suelos se podrán disponer conforme a las prácticas de confinamiento en el suelo y/o esparcimiento en suelos.

El pH influye en la absorción de los nutrientes de las plantas, por lo que en la Figura 3 se observa para la concentración 1:1 (suelo virgen) un valor de pH inferior a 4,5 lo que infiere una condición extremadamente ácida generando que los factores para el crecimiento de las plantas sean

desfavorables, debido a una combinación de elementos que incluyen la toxicidad causada por la acumulación de Aluminio, Manganeseo e Hidrógeno y la deficiencia de nutrientes esenciales, especialmente Calcio, Magnesio, Fósforo y Molibdeno, situación observada en los suelos de Santa Bárbara y Jusepín. No obstante, para las concentraciones 2:1, 3:1 y 4:1 se observa un incremento en el pH, lo que puede deberse a mayor cantidad de iones hidroxilos (OH^-) como consecuencia de la composición del fluido de perforación, ya que éste posee potasa caustica (KOH), generando así valores cercanos a 7, por lo que se clasificaría como un suelo neutro, teniendo la máxima disponibilidad de nutrientes con mínimos efectos tóxicos. El aumento de pH no influye en la selección de la técnica para su biorremediación, puesto que los valores obtenidos satisfacen aquellos para aplicar las técnicas de esparcimiento o confinamiento.

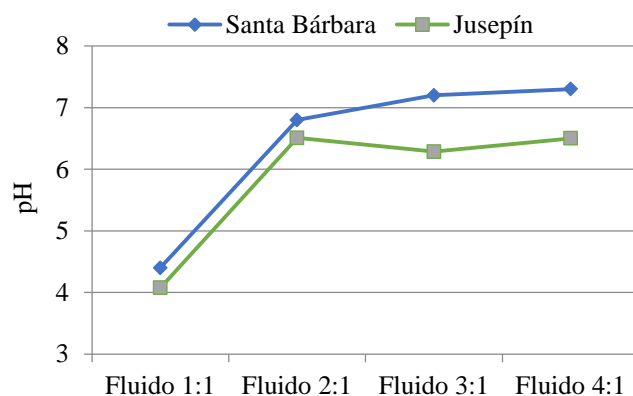


Fig.3 pH vs. Concentración de fluido

Una de los parámetros que determina la calidad y fertilidad de los suelos es el contenido de sales, el cual es medido a través de la conductividad eléctrica. Esta propiedad tuvo un aumento de su valor respecto al suelo virgen al incrementarse las concentraciones del fluido. Los mismos cumplen con los valores para su manejo con las prácticas de esparcimiento y/o confinamiento. Además, como se detalla en la Figura 4, el máximo obtenido fue de 0,19 mmhos/cm, por lo que los efectos de las sales sobre los cultivos son despreciables.

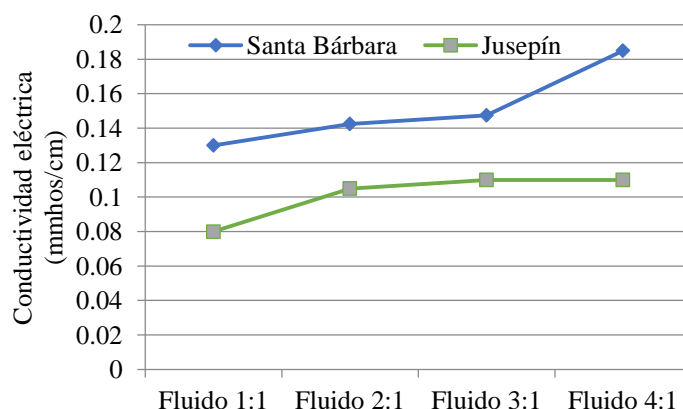


Fig.4 Conductividad eléctrica vs. Concentración de fluido

El aluminio intercambiable es una propiedad que está relacionada conjuntamente al pH, ya que mientras este valor sea menor a 5 el aluminio (Al^{3+}) se considera un problema severo para el crecimiento de las plantas debido a que limita la absorción de nutrientes. Esto es contrario a lo ocurrido en pH por encima de 5,5 donde la cantidad de aluminio no resulta desfavorable, debido a que para estos valores la liberación del ión hidrógeno disminuye. La Figura 5 muestra que en el suelo de Santa Bárbara los valores de Aluminio tienden a aumentar progresivamente, como consecuencia de las concentraciones de fluido, efecto negativo que se contrarresta por incrementar

de la misma manera los iones hidroxilos. Por otra parte, en el suelo de Jusepín los resultados reflejaron la disminución del aluminio, conjuntamente con el aumento de pH, generando efectos positivos en el crecimiento de las plantas, aspecto evidenciado en la concentración 4:1, contrario a lo ocurrido en la muestra de concentración 1:1 (suelo virgen), la cual posee un valor de pH bajo (extremadamente ácido) y un alto contenido de Aluminio, por lo que el crecimiento de las plantas fue menor, indicando que la aplicación del fluido de perforación resultó beneficioso para el suelo. Los valores obtenidos en ambos suelos se mantienen dentro del rango de aceptación.

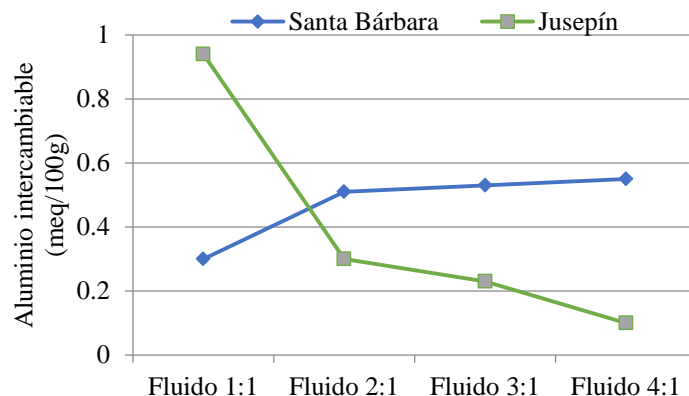


Fig.5 Aluminio intercambiable vs. Concentración de fluido

El intercambio de cationes representa el sistema natural mediante el cual las raíces de las plantas obtienen los elementos nutritivos como el calcio, el cual se encuentra absorbido por las superficies cargadas negativamente de los coloides del suelo. El comportamiento representado en la Figura 6 para los suelos de Santa Bárbara y Jusepín, representa un intercambio de cationes no ácido, debido a la composición del fluido, la cual genera menor liberación de hidrógeno, además de aumentar la cantidad de potasio presente en el suelo.

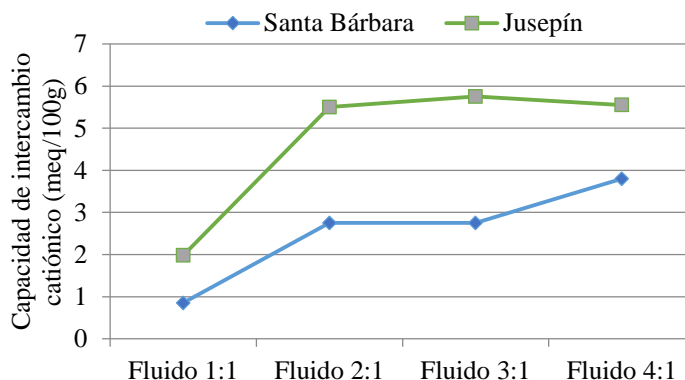


Fig.6 Capacidad de intercambio catiónico vs. Concentración de fluido

Estadísticamente, en las Tablas 3 y 4 se observa que ambos suelos mostraron un comportamiento similar. Es decir, las diferencias entre las medias ocurrió entre el suelo virgen (1) con los suelos con adición de coque (2, 3, 4) en sus distintas concentraciones (datos I-J con asterisco), lo que ocasionó valores de p-valor menores a 0,05, expresando ello diferencias estadísticas significativas. Esta diferencia estadística no se observó al comparar los suelos con adición de coque (2, 3, 4) entre sí (valores I-J sin asterisco), por lo que reflejaron valores de p-valor mayores a 0,05. Lo anteriormente expresado lleva a indicar que el comportamiento de pH, conductividad eléctrica, aluminio intercambiable y capacidad de intercambio catiónico, varían significativamente con la adición de coque en distintas concentraciones respecto a las mismas propiedades del suelo virgen. Sin

embargo, el cambio en las concentraciones no afecta de manera relevante las propiedades en estudio entre los fluidos 2, 3 y 4 por lo que es indiferente el empleo de una concentración de coque menor o mayor. De igual forma, los valores de error típico estuvieron cercanos a la diferencias de las medias obtenidas, lo cual conllevó a obtener límites inferiores y superiores con poca diferencia, demostrando que los datos se ajustan a la media teniendo representatividad y validez estadística. La no diferencia estadística entre las concentraciones con respecto a las propiedades en estudio contrasta con el comportamiento obtenido en la germinación y crecimientos de las plantas, donde se observó una mejor germinación y crecimiento con la mayor concentración de coque (relación 4:1).

Tabla 3. Comparación por pares del suelo de Santa Bárbara

(I) suelo	(J) suelo	Dif. medias (I-J)	Error típ.	Sig. ^a	95% de intervalo de confianza para la diferencia ^a	
					Límite inferior	Límite superior
1	2	-0,979*	0,099	0,013	1,597	-0,362
	3	-1,238*	0,107	0,008	-1,908	-0,569
	4	-1,549*	0,212	0,032	-2,873	-0,225
2	1	0,979*	0,099	0,013	0,362	1,597
	3	-0,259	0,159	1,000	1,251	0,734
	4	-0,569	0,260	0,695	-2,187	1,048
3	1	1,238*	0,107	0,008	0,569	1,908
	2	0,259	0,159	1,000	-0,734	1,251
	4	-0,311	0,309	1,000	0,270	1,615
4	1	1,549*	0,212	0,032	0,225	2,873
	2	0,569	0,260	0,695	-1,048	2,187
	3	0,311	0,309	1,000	-1,615	2,237

Con respecto a los resultados obtenidos, estudios previos sobre el coque de petróleo señalan que debido a la presencia de azufre entre 2 y 7%, y metales como níquel y vanadio, limita sus aplicaciones industriales y ocasiona serios problemas de contaminación ambiental [13-14]. Sin embargo, éste aspecto no fue corroborado en la presente investigación, coincidiendo con investigaciones que indican que es posible generar una tierra cultivable (terra-preta-nova) en suelos arenosos con la adición de coque de petróleo [15].

Los valores de densidad aparente (2,1g/mL Santa Bárbara y 2,08 g/mL Jusepín) y porosidad (28,36% Santa Bárbara y 29,41% Jusepín) son coherentes entre ellos, porque un aumento de la densidad (>1,8 g/mL) viene acompañado de una disminución de la porosidad (< 31%) evidenciando problemas de compactación en ellos, además de afectar la disponibilidad de agua y de oxígeno. Asimismo, los valores de densidad aparente están por encima del límite superior para suelos de llanos (1,95 g/mL).

Los suelos en estudio presentaron un pH que demostró que se trata de suelos de características ácidas (pH menor a 5,5), lo que es característico de las sabanas venezolanas, sobre todo en los llanos orientales venezolanos. Con respecto a la conductividad eléctrica, las distintas concentraciones no impiden la solubilización de sales presentes en el suelo. El aluminio intercambiable presentó niveles medios de la propiedad (0,5-0,25 meq/100g) y la disminución de este parámetro en el suelo Jusepín se debió a la poca retención de nutrientes. En relación al intercambio catiónico, los resultados reflejados son consecuencia del alto contenido de arena de los suelos y la baja capacidad de almacenamiento de agua de ellos.

Tabla 4. Comparación por pares del suelo de Jusepín

(I) suelo	(J) suelo	Dif. medias (I-J)	Error típ.	Sig. ^a	95% de intervalo de confianza para la diferencia ^a	
					Límite inferior	Límite superior
1	2	-1,339*	0,076	0,002	-1,815	-0,864
	3	-1,324*	0,045	0,001	-1,604	-1,044
	4	-1,299*	0,088	0,004	-1,846	-0,752
2	1	1,339*	0,076	0,002	0,864	1,815
	3	0,016	0,114	1,000	-0,692	0,723
	4	0,040	0,013	0,308	-0,039	0,119
3	1	1,324*	0,045	0,001	1,044	1,604
	2	-0,016	0,114	1,000	-0,723	0,692
	4	0,024	0,123	1,000	-0,744	0,793
4	1	1,299*	0,088	0,004	0,752	1,846
	2	-0,040	0,013	0,308	-0,119	0,039
	3	-0,024	0,123	1,000	-0,793	0,744

Los valores obtenidos para los parámetros en estudio para los suelos vírgenes de Santa Bárbara: pH de 4,4; conductividad eléctrica 0,13 mmhos/cm; aluminio intercambiable 0,3 meq/100g suelo y capacidad de intercambio catiónico 0,85 meq/100g suelo. Para el caso de Jusepín: pH de 4,1; conductividad eléctrica 0,08 mmhos/cm; aluminio intercambiable 0,94 meq/100g suelo y capacidad de intercambio catiónico 1,98 meq/100g suelo, similares a los reportados en otros trabajos previos para Santa Bárbara y Jusepín [16-17]. Las variaciones encontradas son consecuencia de la época del año de la toma de suelo, debido a la presencia de lluvias, al uso agrícola dado al mismo o variaciones debido a posible contaminación previa por efectos de la industria petrolera para el caso de las muestras de este estudio.

4. Conclusiones

Los efectos del fluido sobre el agente bioindicador y los suelos fueron positivos (concentración 4:1), al contribuir con el crecimiento de las plantas de caraota (*Phaseolus vulgaris*) y mantener los valores de pH, conductividad eléctrica, aluminio intercambiable y capacidad de intercambio catiónico dentro del rango permitido para las prácticas de esparcimiento y confinamiento, por lo que se puede emplear el coque de petróleo como controlador de filtrado en la formulación de fluidos de perforación base agua tipo lignosulfonato, ya que no afectó negativamente ni el crecimiento de las plantas ni los suelos en estudio. Estadísticamente se demostró que la variación de la concentración de coque no generó efectos sobre las propiedades químicas del suelo entre las diferentes concentraciones, pero sí con respecto al blanco.

Referencias

1. Marín, T.D. *Crecimiento de plantas de maíz (Zea mays) en un suelo contaminado con petróleo y remediado con extracto de cáscaras de naranja (Citrus sinensis)*. Enfoque UTE, 2016. **7**(3): p.1-13.
2. Vázquez, M., et al., *Impacto del petróleo crudo en suelo sobre la microbiota de vida libre fijadora de nitrógeno*. Tropical and Subtropical Agroeco systems, 2011. **13**(3): p.511-523.

3. Zamora, A., et al., *Las actividades de la industria petrolera y el marco ambiental legal en Venezuela. Una visión crítica de su efectividad*. Revista geográfica venezolana, 2010. **51**(1): p.125-144.
4. Scarpellini, S., et al. *Introducción a los mercados energéticos*. 2008. 1er Edición. Prensas de la Universidad de Zaragoza. ISBN 9788492521241.
5. León, Y., et al., *Identificación de biocatalizadores potenciales para la remediación de desechos petrolizados de la Faja Petrolífera del Orinoco*. RET Revista de Estudios Transdisciplinarios, 2009. **1**(2): p.12-25.
6. Chirinos, M. *Opacidad en materia de economía y petróleo en Venezuela*. Comunicación: estudios venezolanos de comunicación, 2018. 182: p.102-117.
7. Mommer, B., *La valorización del crudo extrapesado de la Faja Petrolífera del Orinoco*. Revista Venezolana de Economía y Ciencias Sociales, 2004. **10**(29): p.33-50.
8. Hassan Al-Haj, I., *Characterization and Thermal Treatment of Syrian Petcoke Fines Current*. Advances in Energy Research, 2014. **1**(2): p.62-66.
9. Valera et al., *Una visión emergente y estratégica de utilización de coque retardado venezolano*. Revista Visión Tecnológica, 2013. **16**(1): p.7-18.
10. Vega, R., et al., *Uso del coque del complejo petroquímico general de división José Antonio Anzoátegui como controlador de filtrado en fluidos base agua*. Revista Ciencia e Ingeniería, 2016. **37**(3): p.137-146.
11. Montgomery, D., *Diseño y análisis de experimentos*. 2da Edición. 2005. Wiley, Madrid. Grupo Editorial Iberoamérica. ISBN 9789681861568.
12. Heredia, O., et al., *Importancia de las propiedades de los suelos en la determinación del riesgo de contaminación de acuíferos*. Suelo, 2008. **26**(2): p.131-140.
13. Ramos, A., et al., *Analysis of Petroleum Coke Consumption in Some Industrial Sectors*. Journal of Petroleum Science Research, 2015. **4**(1): p.1-7.
14. Katz, R., *Efectos ambientales de la sustitución de carbón por petrocoque en la generación eléctrica y procesos industriales (Petrocoque (II))*. Ambiente y Desarrollo, 2001. **17**(1): p.22-29.
15. Lane, J., *Perspective of the preparation of agrichars using fossil hydrocarbon coke*. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 2012. **16**: p.5597-5602.
16. Zamora, E.; et al., *Efecto de la contaminación por hidrocarburos sobre algunas propiedades químicas y microbiológicas de un suelo de sabana*. Bioagro, 2012. **24**(1): p.5-12.
17. Hossne, A., et al., *Coherencia interpartículas de un suelo agrícola franco arenoso de sabana. Monagas, Venezuela*. Revista Científica UDO Agrícola, 2012. **12**(2): p.313-323.

Conflicto de Intereses

Los autores hacen constar que no existe ningún conflicto de intereses entre ellos o cualquier entidad externa al trabajo de investigación.

Contribución de los autores

Rubén Vega Mejía. ORCID: 0000-0002-6331-3851

Diseño y desarrollo de experimentos. Redacción del manuscrito.

Andreyne Martínez Moron. ORCID: 0000-0001-6018-7207

Desarrollo de experimentos. Redacción del manuscrito

María Márquez Gutiérrez. ORCID: 0000-0002-0344-573X

Desarrollo de experimentos. Redacción del manuscrito