

Efecto del Derrame Petrolero Simulado y la Aplicación de un Remediador sobre la Germinación de Semillas y Desarrollo de Plántulas en Algodón (*Gossypium hirsutum* L.) y Quinchoncho (*Cajanus Cajan* (L.) Millsp.)

J. Méndez-Natera, R. Salazar-Garantón, A. Velásquez

Departamento de Agronomía. Escuela de Ingeniería Agronómica. Núcleo de Monagas. Universidad de Oriente
Avenida Universidad, Campus Los Guaritos, 6201, Maturín, estado Monagas, Venezuela.
jmendezn@cantv.net

Resumen

El objetivo del presente trabajo fue determinar el efecto del derrame petrolero simulado y la aplicación de un remediador sobre la germinación de las semillas y desarrollo de las plántulas en algodón y quinchoncho. El suelo utilizado para el experimento correspondió a un Ultisol de sabana. Cada bolsa contenía 1 kilogramo de suelo, el cual fue contaminado de forma artificial (simulando una contaminación de 20%). Se aplicaron 50 g del producto remediador. Se realizó el análisis de varianza no paramétrico de Friedman y la prueba de la Mínima Diferencia Significativa. Los tratamientos fueron: 1) control: sin contaminación por petróleo y sin el remediador, sólo siembra; 2) aplicación del producto inmediatamente después de haber aplicado el petróleo (APIDAP) y se sembró el mismo día; 3) APIDAP, se sembró después de 15 días; 4) después de 15 días de haber aplicado el petróleo se le suministró el producto (HAPSR) e inmediatamente se sembró y 5) después de 15 días HAPSR y después de 15 días se sembró. En quinchoncho, los tratamientos 4 y 5 parecieron más efectivos que 2 y 3, mientras que en el algodón, el tratamiento control superó al tratamiento 5 en ocho de los once caracteres evaluados y fue similar a los tratamientos 2, 3 y 4 en todos los caracteres, a pesar de esto, ninguno de los tratamientos donde se aplicó el remediador pareció promisorio para recuperar un suelo afectado por petróleo utilizando al cultivo de algodón como material vegetal.

Palabras Clave: Impacto ambiental, biorremediación, derrame petrolero.

Abstract

The objective of the present work was to determine the effect of the simulated oil spill and the application of the remediator on the germination and growth of two crops of economic importance in Venezuela: cotton and pigeon pea. Each bag contained 1 kilogram of soil, which was contaminated in an artificial way (simulating a contamination for oil of approximately 20%). After the contamination, the remediator was applied to the soil, adding 50 g in each one of the bags. The experiment consisted of five treatments: 1) control: without contamination for oil and without the remediator, only sowing; 2) application of the product immediately after having applied the oil (APIHAO) and sowing the same day; 3) APIHAO, sowing after 15 days; 4) after 15 days of having applied the oil the product was applied (HAOPWA) and sowing immediately and 5) after 15 days of HAOPWA and sowing after 15 days. In the pigeon pea crop, although the four treatments were statistically similar to control, treatments 4 and 5 seemed to be more effective than 2 and 3, while in cotton crop, the control overcame to treatment 5 in eight of eleven characters evaluated and it was statistically similar to treatments 2, 3 and 4 in all characters, in spite of this, none of the treatments where remediator was applied seemed to be promissory to recover a soil affected by oil using cotton crop as a plant.

Keywords: Environmental impact, contamination, bioremediation, oil spill

1. Introducción

Los derrames petroleros ya sean en ríos, lagos, océanos, así como en los suelos producen un gran daño ecológico, causando la muerte de la mayoría de los animales y vegetales silvestres, además estos derrames en suelos agrícolas ocasionan un daño económico debido a la inutilización de éstos suelos para la producción de cultivos ó ganadería.

Según Infante [8] la aplicación en la industria petrolera es amplia, gran cantidad de desechos orgánicos han sido tratados empleando diferentes técnicas de biorremediación y aproximadamente unos 50.000 m³ de suelos impactados han sido recuperados cumpliendo con parámetros nacionales y estándar internacionales, adicionalmente, en la recuperación de ecosistemas impactados con derrames de crudo liviano y mediano, la aplicación de la biorremediación resulta la mejor opción.

Recibido: Junio, 2007

Aceptado: Agosto, 2007

Por otra parte una nueva técnica es el uso de la fitorremediación o biorremediación mejorada por la vegetación de suelos contaminados con combustible, un enfoque potencial para el manejo a largo plazo de suelos contaminados con combustibles es el establecimiento de vegetación, porque la presencia de la vegetación puede mejorar la biodegradación de los contaminantes, como es el ejemplo de la vegetación que sobreacumula metales, la vegetación puede indirectamente mejorar la biodegradación de contaminantes a través de la acción de la microflora de la rizósfera y la fitorremediación puede ser especialmente apropiada para suelos ligeramente contaminados, especialmente si es usada como un método a largo plazo, de bajo mantenimiento y remedio de bajo costo [3].

Según Venosa y Haines [15] hoy en día es conocido que la microflora autóctona, presente en un medio marino o terrestre, resulta más eficiente en los procesos de biodegradación que introducir un producto y han sido numerosos los productos formulados, sin embargo, son escasos las evaluaciones en campo que demuestran su efectividad.

La contaminación por hidrocarburos de petróleo afecta el desarrollo de las plantas debido a diferentes efectos físicos y químicos. Por una parte, las películas de aceite pueden cubrir las raíces alterando la absorción de agua y nutrimentos, adicionalmente, si el petróleo logra penetrar el tejido de las plantas puede dañar la membrana de las células causando pérdida del contenido celular, bloqueo de los espacios intercelulares y reducción del transporte de metabolitos, así como de las tasas de respiración y fotosíntesis [7].

El objetivo del presente trabajo fue determinar el efecto del derrame petrolero simulado y la aplicación de un remediador sobre la germinación de las semillas y desarrollo de las plántulas en dos cultivos de importancia económica en Venezuela como lo son el algodón y el quinchoncho.

2. Materiales y Métodos

2.1 Ubicación del experimento

El presente trabajo se realizó en la población de El Corozo, a unos 15 km de la ciudad de Maturín, Capital del Estado Monagas, Venezuela. El trabajo se llevó a cabo bajo condiciones de invernadero.

2.2 Diseño del experimento

El suelo utilizado para el experimento correspondió a un Ultisol de sabana y la muestra se tomó en los primeros 25 centímetros del suelo. Se usaron bolsas de plástico de 2 kg de capacidad y se utilizaron los cultivos de algodón (*Gossypium hirsutum* L.) y quinchoncho (*Cajanus cajan* (L.) Millsp.) como

indicadores de la recuperación agrícola del suelo. Cada bolsa contenía 1 kg de suelo, el cual fue contaminado de forma artificial. Se agregaron 200 ml de petróleo por cada 1000 g de suelo (simulando una contaminación petrolera de aproximadamente 20 %). Después de la contaminación, a todo el suelo se le aplicó el producto recuperador o remediador (se omitió voluntariamente su nombre comercial), agregando 50 gramos de dicho producto en cada una de las bolsas de cada tratamiento, el producto se mezcló en forma manual con el suelo, de tal forma que todo el suelo quedara saturado del producto, como testigo se dejó 1 unidad experimental de cada cultivo; sin aplicar el remediador. Se aplicó una dosis de fertilizante equivalente a 500 kg de 12-24-12/ha. El diseño estadístico utilizado fue el de bloques al azar con tres repeticiones. Se realizó el análisis de varianza no paramétrico de Friedman y la diferencia entre rangos se detectó mediante la Prueba de la Mínima Diferencia Significativa [5], siendo el control el tratamiento sin contaminación por petróleo y sin el remediador. El nivel de probabilidad fue de 0,05.

2.3 Tratamientos evaluados

El ensayo constó de cinco tratamientos: 1) control: sin contaminación por petróleo y sin el remediador, sólo siembra; 2) aplicación del producto inmediatamente después de haber aplicado el petróleo y se sembró el mismo día; 3) aplicación del producto inmediatamente después de haber aplicado el petróleo, se sembró después de 15 días; 4) después de 15 días de haber aplicado el petróleo se le suministró el producto e inmediatamente se sembró y 5) después de 15 días de haber aplicado el petróleo se le suministró el remediador y después de 15 días se sembró.

2.4 Variables evaluadas

Se evaluaron los siguientes caracteres: porcentaje de germinación a los 5 y 30 días después de la siembra, número medio de días para total germinación, índice de germinación, altura de las plántulas, número de hojas, longitud de raíces, peso seco del vástago (parte aérea), peso seco de las raíces y las relaciones altura de la plántula/longitud de las raíces y peso seco del vástago/peso seco de las raíces.

3. Resultados

La tabla 1 muestra la prueba de Friedman y la prueba de la Mínima Diferencia Significativa para los caracteres evaluados en el cultivo de algodón. El tratamiento control fue similar al resto de los cuatro tratamientos para los caracteres porcentaje de germinación a los 5 días después de la siembra, longitud de raíces y peso seco de las raíces, mientras este tratamiento fue similar a los tratamientos 2, 3 y 4

pero superior al tratamiento 5 para los caracteres porcentaje de germinación a los 30 días después de la siembra, número medio de días para total germinación, índice de germinación, altura de las plántulas, número de hojas, peso seco de la parte aérea y las relaciones altura de la plántula/longitud de las raíces y peso seco del vástago/peso seco de las raíces.

La tabla 2 muestra la prueba de Friedman y la prueba de la Mínima Diferencia Significativa para los caracteres evaluados en el cultivo de quinchoncho. El tratamiento control fue similar al resto de los cuatro tratamientos para todos los caracteres evaluados en el ensayo: porcentaje de germinación a los 5 y 30 días después de la siembra, longitud de raíces, peso seco de las raíces, número medio de días para total germinación, índice de germinación, altura de las plántulas, número de hojas, peso seco de la parte aérea y las relaciones altura de la plántula/longitud de las raíces y peso seco del vástago/peso seco de las raíces.

4. Discusión

En general, en el cultivo de algodón, la mayoría de los tratamientos fueron similares al tratamiento control para la mayoría de los caracteres, mientras que en el cultivo de quinchoncho los cuatro tratamientos con aplicación de petróleo y remediador fueron similares al control para todos los caracteres. Resultados similares fueron reportados por Cermeño [4] quien trabajó con el producto comercial Eoicasorb en condiciones de campo y encontró que a los 14 días después de la siembra y con una dosis de 1875 kg del producto/ha se obtuvo el mayor porcentaje de germinación en frijol y maíz, es decir, la aplicación de un remediador aseguró la germinación de las semillas en estos cultivos.

Los caracteres de la germinación (porcentaje de germinación a los 5 y 30 días después de la siembra, número medio de días a total germinación e índice de la germinación) fueron similares en los cinco tratamientos para ambos cultivos, a excepción de los tres últimos en el cultivo de algodón donde el tratamiento 5 presentó los peores valores. Similares resultados fueron indicados por Hernández-Valencia y Mager [7] trabajando con las gramíneas *Panicum maximum* y *Brachiaria brizantha*, estos autores indicaron que no existieron diferencias significativas entre la cantidad de semillas que germinaron y el tiempo promedio de emergencia de las plántulas en los suelos con adición de hidrocarburos de petróleo, respecto al control y sugirieron que la contaminación con hidrocarburos de petróleo a una concentración del 3 % no afectó la capacidad germinativa de las semillas. En nuestro ensayo se utilizó una mayor concentración de petróleo (20 %), pero también se utilizó un remediador que pudo disminuir el efecto de esta concentración tan alta, en el caso de Hernández-Valencia y Mager no utilizaron ningún tipo de

remediador, mientras que Quiñones-Aguilar *et al.* [11] en un experimento con cuatro concentraciones de petróleo en el suelo (0, 15.000, 25.000 y 35.000 mg/kg de suelo) y once tipos de maíz, encontraron que las concentraciones de 25.000 y 35.000 mg/kg de suelo favorecieron una mayor emergencia del maíz, después del testigo e indicaron que a concentraciones mayores de 15.000 mg/kg de suelo, las plantas de maíz germinan y emergen sin graves problemas de toxicidad por petróleo.

La producción de biomasa seca (peso de vástago y peso de raíces) fue similar en los cinco tratamientos para ambos cultivos, a excepción del peso del vástago en el algodón donde el tratamiento 5 presentó el menor valor. En un experimento, Rivera-Cruz *et al.* [13] indicaron que la mayor producción de materia seca fue en el tratamiento control (98 mg/kg hidrocarburos totales del petróleo) y el petróleo adicionado al suelo restringió la producción de materia seca, las reducciones fueron 51 y 53 % cuando se evaluó el pasto alemán en suelo con 50.000 y 100.000 mg/kg, respectivamente.

Resultados satisfactorios de la aplicación de biorremediadores sobre los derrames petroleros han sido reportados en numerosas investigaciones. Adams y Rodríguez [1] evaluaron la efectividad de cinco productos comerciales formulados para la biorremediación de sitios contaminados con hidrocarburos de petróleo, en combinación de dichos productos y un fertilizante agrícola en una vegetación pantanosa contaminada con petróleo crudo a una concentración de aproximadamente 30% y encontraron que entre los diferentes tratamientos el mejor fue el fertilizante agrícola, pero también el producto surfactante ligero con nutrientes funcionó relativamente bien.

El remediador aplicado consistió en una formulación a base de biomasa vegetales que combina diferentes partes aéreas de plantas en proporciones específicas que suministran nutrientes, particularmente nitrógeno, a los procesos de biorremediación. Además del contenido de nitrógeno y otros nutrientes, las biomasa vegetales actúan mejorando la estructuración del desecho, al incrementar la porosidad en el desecho y por ello el intercambio de oxígeno. Todas estas características favorecen el proceso de biodegradación de los componentes saturados y aromáticos de un crudo, cuya dosis de aplicación del producto varía en función de la concentración del crudo en el desecho [9].

Este producto ha sido aplicado exitosamente en áreas sensibles, como en el parque Juan Manuel, La Solita, estado Zulia, para restaurar suelos altamente meteorizados que han sido afectados por derrames de crudo. En este caso particular, se recuperaron 20.000 m² de suelos, empleando el producto remediador usado al 12 % (en nuestro ensayo sólo se usó al 5 %). Además de la biodegradación de los componentes

saturados y aromáticos, el producto actuó como un mejorador orgánico, restaurando el equilibrio ecológico del suelo al favorecer el desarrollo de la cobertura vegetal. Una vez aplicado, el producto se mezcló por medio de maquinarias en los primeros horizontes del suelo, ajustando el porcentaje de humedad del suelo a un 60 % de la capacidad de campo [2].

La aplicación del producto remediador no sólo se limita a la recuperación de suelos impactados por crudo, al mejorar los procesos de biodegradación, sino que se aplica al manejo de desechos durante la perforación, conocidos como ripios base aceite, y a la recuperación de áreas, mediante el tratamiento orgánico, como es el caso de las arenas petrolizadas que se produjeron como consecuencia del derrame del tanquero Nissos Amorgos en el Sistema de Maracaibo, Venezuela en 1997. En este último caso, se produjo un derramamiento accidental de crudo, en la costa de Caimare Chico, estado Zulia, Venezuela. Después de intensas labores de recolección del crudo, quedó un remanente de arenas petrolizadas. Éstas fueron apiladas y tratadas con el remediador al 3%, previa evaluación, a nivel de laboratorio, de su efectividad. El producto remediador fue aplicado para mejorar la calidad orgánica de 60.000 m³ de desechos, consecuencia del derrame más severo que ha experimentado la industria petrolera nacional en toda su historia. La mejora de las arenas desde el punto de vista biológico permitió su disposición efectiva en áreas de dunas de Caimare Chico, estableciéndose una rápida cobertura vegetal propia del ecosistema característico de esa región [10].

Se han observado resultados del efecto positivo del uso del remediador sobre algunas propiedades químicas de las arenas petrolizadas, según las exigencias de la normativa ambiental vigente en materia de desechos sólidos [12]. Se observó un incremento del contenido de materia orgánica, nitrógeno y fósforo total; así como una disminución de la relación de adsorción de sodio, pH, y contenido de aceites y grasas. Estos cambios, generados por la adición del producto remediador permitieron la restauración efectiva de estas áreas y el cumplimiento de la normativa ambiental [10].

Estos resultados sugieren que la flora bacteriana autóctona contribuyó con el mejoramiento de las condiciones del suelo y ayudó a la germinación de las semillas en ambos cultivos. Gómez y Castillo [6] indicaron que los suelos petrolizados pueden ser biotratados con colonias bacterianas autóctonas, aprovechando las condiciones climáticas de la zona (ambientes de sabana) como fue el suelo donde se realizó este experimento. Soto *et al* [14] presentaron un estudio que mostró el comportamiento de la flora microbiana aislada de un suelo contaminado con hidrocarburo, la cual fue capaz de biodegradar las distintas fracciones del crudo presente (saturados,

aromáticos, resinas y asfáltenos), seleccionaron dos cepas bacterianas del género *Bacillus* y encontraron que las cepas aisladas realizaron una remoción del 66% en los hidrocarburos totales.

Estos resultados demuestran la posibilidad de usar el remediador para descontaminar suelos afectados por la contaminación petrolera, especialmente utilizando el cultivo de quinchoncho, el cual por ser una leguminosa que fija nitrógeno atmosférico mediante la simbiosis con bacterias del género *Rhizobium*, podría contribuir adicionalmente a mejorar la fertilidad de estos suelos afectados por un derrame de petróleo.

5. Conclusiones

Los dos cultivos respondieron de forma diferente al derrame petrolero y a la aplicación del remediador. En el cultivo de quinchoncho, a pesar de que los cuatro tratamientos donde se aplicó el remediador fueron estadísticamente similares al tratamiento control, los tratamientos 4 y 5 parecieron más efectivos que los tratamientos 2 y 3, mientras que en el cultivo de algodón, el tratamiento control superó al tratamiento 5 en ocho de los once caracteres evaluados y fue estadísticamente similar a los tratamientos 2, 3 y 4 en todos los caracteres, a pesar de esto, ninguno de los tratamientos donde se aplicó el remediador pareció promisorio para recuperar un suelo afectado por petróleo utilizando al cultivo de algodón como material vegetal.

El remediador mostró sus propiedades recuperadoras del suelo con el cultivo de quinchoncho, prometiendo así un medio eficiente para descontaminar suelos con derrames petroleros.

6. Recomendaciones

Se recomienda realizar estudios utilizando este producto con otros factores: diferentes sistemas de labranza y dosis del fertilizante y encalado; evaluación de cultivares, posibilidad de riego, etc.

Por otra parte deben realizarse experimentos en un suelo donde ha ocurrido un derrame petrolero real.

Por ser este trabajo un estudio preliminar del remediador utilizado, se recomienda para futuras investigaciones un riguroso control de la biodegradación, basado en la disminución de crudo y sus componentes, respirometría y determinación del número de bacterias como ha sido sugerido por Infante [8].

Por otra parte, para futuras investigaciones con el cultivo de quinchoncho u otra leguminosa sería importante determinar la efectividad de la nodulación de las bacterias del género *Rhizobium* en los suelos afectados por petróleo.

7. Agradecimientos

Al Consejo de Investigación de la Universidad de Oriente por el soporte dado al Proyecto C.I.-3-0601-1135/03 a cargo del primer autor.

8. Referencias

- [1] Adams, R. y Rodríguez, A. "Evaluación comparativa de productos para la biorremediación de sitios impactados por hidrocarburos de petróleo en el trópico húmedo". In Resúmenes del IV Congreso Interamericano sobre el Medio Ambiente realizado en Caracas, Venezuela entre el 8 y 11 de diciembre de 1.997. Universidad Simón Bolívar, Caracas. 1997. pp. 147.
- [2] Arias, M.; Abreu, E.; Salcedo, M.; Briceño, M. y Nava, F. Saneamiento Ambiental La Solita. INT-7075, 2000.
- [3] Banks, M. K.; Schwab, A. P. and Govindaraju, R. S. "Phytoremediation of soil contaminated with hazardous organic chemicals". Fecha de la última actualización: 05 de octubre de 2006. Disponible en www.ruf.rice.edu/~aatd7pages/phyto.html. 1999.
- [4] Cermeño, J. "Biorremediación con el producto Eoicasorb en un suelo de sabana afectado por derrame de petróleo". In Resúmenes del IV Congreso Interamericano sobre el Medio Ambiente realizado en Caracas, Venezuela entre el 8 y 11 de diciembre de 1.997. Universidad Simón Bolívar, Caracas. 1997, pp. 150-151.
- [5] Chacín-Lugo, F. Avances recientes en el diseño y análisis de experimentos. Publicación de la Facultad de Agronomía. Universidad Central de Venezuela. Maracay, Venezuela. 1999, pp. 257.
- [6] Gómez, E. y Castillo, M. "Plan de saneamiento ambiental en áreas de producción petrolera en ambientes de sabana". In Resúmenes del IV Congreso Interamericano sobre el Medio Ambiente realizado en Caracas, Venezuela entre el 8 y 11 de diciembre de 1.997. Universidad Simón Bolívar, Caracas. 1997, pp. 151.
- [7] Hernández-Valencia, I. y Mager, D. "Uso de *Panicum maximum* y *Brachiaria brizantha* para fitorremediar suelos contaminados con un crudo de petróleo liviano". BIOAGRO 15 no 3, 2003, pp. 149-155.
- [8] Infante, C. "Biorremediación de derrames de hidrocarburo en ambientes naturales". Memorias del IV Congreso Interamericano sobre el Medio Ambiente realizado en Caracas, Venezuela entre el 8 y 11 de diciembre de 1.997. Colección Simposia, Volumen II. Compilador Roger J. Carrillo Castellanos. Editorial Equinoccio, Ediciones de la Universidad Simón Bolívar, Caracas. 1998 pp. 325-328.
- [9] Infante, C. "Biorrestauración de áreas impactadas por crudo por medio de Intebios® y Biorize®". Interciencia 26 no 10, 2001, pp. 504-507.
- [10] Infante, C.; Sánchez, G.; Alarcón, C.; Sánchez, L.; León, N. y Salcedo, M. Compendio de documentos ambientales generales para el manejo de las arenas petrolizadas del derrame B/T Nissan Amorgos. INT-6495, 1998.
- [11] Quiñones-Aguilar, E. E.; Ferrera-Cerrato, R.; Gavi-Reyes, F.; Fernández-Linares, L.; Rodríguez-Vásquez, R. y Alarcón, A. "Emergencia y crecimiento de maíz en un suelo contaminado con petróleo crudo". Agrociencia 37 no 6, 2003, pp. 585-594.
- [12] República de Venezuela. Reforma Parcial del Decreto 2289, contentivo de las Normas para el Control de la Recuperación de Materiales Peligrosos y el manejo de los Desechos Peligrosos. Decreto No. 2.635. Gaceta Oficial de la República de Venezuela No. 5.245 Extraordinaria. Caracas, 1998.
- [13] Rivera-Cruz, M. C.; Ferrera-Cerrato, R.; Sánchez-García, P.; Volke-Haller, V.; Fernández-Linares, L. y Rodríguez-Vásquez, R. "Descontaminación de suelos con petróleo crudo mediante microorganismos autóctonos y pasto alemán". Agrociencia 38 no 1, 2004, pp. 1-12.
- [14] Soto, G.; Borges, F.; Cárdenas, C.; Araujo, I. y Delgado, J. "Biorremediación de un suelo contaminado con hidrocarburo utilizando bacterias autóctonas, Maracaibo, estado Zulia, 1997. In Resúmenes del IV Congreso Interamericano sobre el medio ambiente realizado en Caracas, Venezuela entre el 8 y 11 de diciembre de 1.997. Universidad Simón Bolívar, Caracas. 1997, pp. 147-148.
- [15] Venosa, A. and Haines, J. R. Screening of commercial inocula for efficacy in stimulating oil biodegradation in closed laboratory system. Journal of Hazardous Materials 28 nos 1-2, 1991, pp.131-144.

Tabla 1. Prueba de Friedman para la suma de rangos de los caracteres evaluados en el ensayo con el cultivo de algodón (*Gossypium hirsutum* L.) en un suelo contaminado con petróleo y recuperado con un remediador a diferentes fechas de aplicación del remediador y de siembra.

Tratamiento †	Germinación		Número medio Días a Germin.	Índice de Germinación	Altura de las Plántulas	Número de Hojas
	5 DDS ‡	30 DDS ‡				
1	15,0 A §	15,0 A	3,5 A	15,0 A	15,0 A	15,0 A
2	7,0 A	7,0 A	10,0 A	7,0 A	7,0 A	8,0 A
3	7,0 A	8,0 A	11,0 A	8,0 A	8,0 A	7,0 A
4	9,0 A	9,0 A	8,5 A	9,0 A	9,0 A	9,0 A
5	7,0 A	6,0 B	12,0 B	6,0 B	6,0 B	6,0 B
Friedman ¥	10,667	10,000	9,1282	10,000	10,000	10,000
Valor de X^2	0,0306	0,0404	0,0580	0,0404	0,0404	0,0404
g. l.	4	4	4	4	4	4

Tratamiento †	Longitud de Raíces	Peso Seco Parte Aérea	Peso Seco de Raíces	Relación Altura Plan/Longitud Raic	Relación Peso Parte Aérea/Peso Raíces
2	7,0 A	9,0 A	10,0 A	8,0 A	9,0 A
3	8,0 A	7,0 A	7,0 A	9,0 A	8,0 A
4	10,0 A	8,0 A	8,0 A	7,0 A	7,0 A
5	6,0 A	6,0 B	6,0 A	6,0 B	6,0 B
Friedman ¥	8,000	10,000	8,000	10,000	10,000
Valor de X^2	0,0916	0,0404	0,0916	0,0404	0,0404
g. l.	4	4	4	4	4

§ Letras iguales indican similitud estadística ($p < 0,05$) con el tratamiento 1 (testigo) según la prueba de la Mínima Diferencia Significativa.

† Tratamiento = Ver Materiales y Métodos ‡ DDS = Días Después de la Siembra

¥ Estadístico de Friedman. Todos los valores se obtuvieron por corrección por empates

Tabla 2. Prueba de Friedman para la suma de rangos de los caracteres evaluados en el ensayo en el cultivo de quinchoncho (*Cajanus cajan* (L.) Millsp.) en un suelo contaminado con petróleo y recuperado con un remediador a diferentes fechas de aplicación del remediador y de siembra.

Tratamiento †	Germinación		Número medio Días a Germin.	Índice de Germinación	Altura de las Plántulas	Número de Hojas
	5 DDS ‡	30 DDS ‡				
1	12,5 A §	12,0 A	5,0 A	12,5 A	11,0 A	12,0 A
2	5,0 A	5,0 A	13,0 A	4,5 A	5,5 A	5,5 A
3	5,0 A	5,0 A	13,0 A	4,5 A	5,5 A	5,5 A
4	8,0 A	9,0 A	10,0 A	9,0 A	9,0 A	10,0 A
5	14,5 A	14,0 A	4,0 A	14,5 A	14,0 A	12,0 A
Friedman ¥	11,396	10,154	11,385	11,857	8,3922	6,8235
Valor de X^2	0,0225	0,0379	0,0226	0,0184	0,0782	0,1455
g. l.	4	4	4	4	4	4

Tratamiento †	Longitud de Raíces	Peso Seco Parte Aérea	Peso Seco de Raíces	Relación Altura Plan/Longitud Raic	Relación Peso Parte Aérea/Peso Raíces
2	5,5 A	5,5 A	5,5 A	5,5 A	5,5 A
3	5,5 A	5,5 A	5,5 A	5,5 A	5,5 A
4	10,0 A	10,0 A	9,0 A	10,0 A	10,0 A
5	14,0 A	12,0 A	13,0 A	13,0 A	13,0 A
Friedman ¥	8,0784	6,8235	7,7647	7,1373	7,1373
Valor de X^2	0,0887	0,1455	0,1006	0,1288	0,1288
g. l.	4	4	4	4	4

§ Letras iguales indican similitud estadística ($p < 0,05$) con el tratamiento 1 (testigo) según la prueba de la Mínima Diferencia Significativa.

† Tratamiento = Ver Materiales y Métodos ‡ DDS = Días Después de la Siembra

¥ Estadístico de Friedman. Todos los valores se obtuvieron por corrección por empates