

# Toxicidad de un fluido de perforación base agua para su uso en la exploración petrolera en Cuba



<https://cu-id.com/2144/v15e17>

## Toxicity of a water-based Drilling Fluid for use in Oil Exploration in Cuba

Silvia Lilibet Acosta Díaz\*, Francisca González Hernández\*\*

**RESUMEN:** Para evaluar los daños de la exploración petrolera a los ecosistemas, los ensayos de ecotoxicológicos son una herramienta fundamental en los programas de riesgo ambiental. Los productos utilizados constituyen xenobióticos que pueden ser potencialmente tóxicos para la biota del suelo y ocasionar severas alteraciones metabólicas en los organismos. El objetivo de esta investigación fue realizar un diagnóstico toxicológico a un fluido de perforación base agua para su uso en la exploración petrolera en Cuba. Se utilizaron procedimientos toxicológicos recomendados por la Organización para la Cooperación Económica y el Desarrollo (OECD), con dos bioindicadores de contaminación terrestres, lombrices de tierra de la especie *Eisenia andrei* y semillas de lechuga (*Lactuca sativa*). El fluido se preparó realizando una dilución 1:9 (lodo: agua) (v/v), a partir de la fracción de sólidos suspendidos (FSS) se realizaron las diluciones a ensayar. Como criterio de toxicidad se calculó la concentración letal media (CL<sub>50</sub>), con el programa estadístico Statgraphics Centurion XV, según el método Probit. La CL<sub>50</sub> para el bioensayo con lombrices fue de 36.95 % y de 30.1 % para las semillas de lechuga; según los códigos federales (CFR) vigentes este fluido es no tóxico para la supervivencia de la biota terrestre. Estos resultados apoyan el uso de este fluido de perforación con la responsabilidad y respecto al medio ambiente.

**Palabras clave:** toxicidad, fluidos de perforación, bioindicadores, medio ambiente.

**ABSTRACT :** To evaluate the damage of oil exploration to ecosystems, ecotoxicological tests are a fundamental tool in environmental risk programs. The products used constitute xenobiotics that can be potentially toxic to soil biota and cause severe metabolic alterations in organisms. The objective of this research was to carry out a toxicological diagnosis of a water-based drilling fluid for use in oil exploration in Cuba. Toxicological procedures recommended by the Organization for Economic Cooperation and Development (OECD) were used, with two terrestrial contamination bioindicators, earthworms of the species *Eisenia andrei* and lettuce seeds (*Lactuca sativa*). The fluid was prepared by making a 1:9 dilution (sludge: water) (v/v), from the fraction of suspended solids (FSS) the dilutions to be tested were made. As a toxicity criterion, the mean lethal concentration (LC<sub>50</sub>) was calculated with the Statgraphics Centurion XV statistical program, according to the Probit method. The LC<sub>50</sub> for the bioassay with worms was 36.95% and 30.1% for lettuce seeds; According to current federal codes (CFR), this fluid is not toxic to the survival of terrestrial biota. These results support the use of this drilling fluid with responsibility and respect for the environment.

**Keywords:** Toxicity, drilling fluids, bioindicators, environment.

## INTRODUCCIÓN

Para perforar los pozos petroleros se requiere el uso de lodos de perforación formados a partir de diferentes formulaciones de productos químicos que son bombeados hacia el interior del pozo, para enfriar el trépano, presurizar y retornar hacia la superficie llevando consigo fragmentos de roca desprendidos

durante la acción de la barrena perforadora, denominados cortes de perforación. Los lodos pueden estar constituidos en base acuosa o en base aceite. Su manejo inadecuado puede ocasionar derrames al medio, afectando la vida y bienestar de muchas especies acuáticas y terrestres (Romero, 2021).

El grado de impacto que una descarga o vertimiento puede tener sobre el ambiente, depende de las cargas

Recibido: 11/02/2024

Aprobado en su forma original: 13/04/2024

Centro de Investigación del Petróleo (CEINPET). Calle Churruca No.481 e/Vía Blanca y Washington, Cerro, código postal 10600. La Habana Cuba.

\*Correo electrónico: [sacosta@ceinpet.cupet.cu](mailto:sacosta@ceinpet.cupet.cu)

\*\* Correo electrónico: [francisca@ceinpet.cupet.cu](mailto:francisca@ceinpet.cupet.cu)

**Conflicto de Intereses:** Los autores de este trabajo declaran que no existe conflicto de intereses.

**Contribución de los autores:** **Conceptualización:** Silvia Lilibet Acosta Díaz. **Análisis formal de datos:** Silvia Lilibet Acosta Díaz y Francisca González Hernández. **Investigación:** Silvia Lilibet Acosta Díaz y Francisca González Hernández. **Metodología:** Silvia Lilibet Acosta Díaz. **Redacción-borrador original:** Silvia Lilibet Acosta Díaz. **Redacción-revisión y edición:** Silvia Lilibet Acosta Díaz.

Este artículo se encuentra bajo licencia [Creative Commons Reconocimiento-NoComercial 4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/) (CC BY-NC 4.0)

contaminantes contenidas en los residuos y del ambiente donde son descargados. Un claro ejemplo, son los altos niveles de cloruro de sodio contenidos en los fluidos de perforación, los cuales conllevan un impacto de grado menor si son descargados al mar por su condición natural. En el caso que esta misma descarga se realice sobre un cuerpo de agua dulce o en un suelo agrícola, tendrá un impacto negativo más significativo, porque la fauna y la flora se ven alteradas por la presencia de altas concentraciones de sales en su hábitat (Díaz, *et al*, 2022).

Las consideraciones principales a tener en cuenta relacionadas con la eliminación de fluidos y desechos asociados usados en tierra son los contenidos de metales, sales e hidrocarburos. Cuando se trata de determinar el mejor método de eliminación de dichos componentes del lodo se deben considerar los aspectos económicos, la operación de eliminación y el impacto sobre el medio ambiente del producto final o de cualquier residuo. En este sentido se exigen pruebas de análisis químicos y toxicidad para que los desechos sean eliminados en sitios seguros de tratamiento o relleno. Para evaluar la ecotoxicidad de este tipo de sustancias se utilizan ensayos de toxicidad aguda. La misma se analiza mediante bioensayos que involucran la inhibición, letalidad y reproducción de los bioindicadores. Tales pruebas se realizan para la protección de ambientes tanto marinos como terrestres (Infante y Morales, 2012).

Para determinar el efecto tóxico de una sustancia se calcula la  $CL_{50}$ , la cual representa la concentración letal media y se refiere a la concentración estimada de la sustancia que produce una mortalidad del 50 % de la población de los organismos expuestos durante el periodo de experimentación. El valor de  $CL_{50}$  calculado por un programa estadístico indica el potencial de peligrosidad de la sustancia pero no debe ser usado directamente para predecir los efectos de una descarga de la sustancia de prueba en ambientes naturales. El criterio de toxicidad se establecerá en dependencia de que fracción de la muestra se utilice (fracción sólida suspendida (FSS) o fracción sólida acomodada (FSA) (Díaz, *et al*, 2022).

El objetivo de este trabajo fue determinar el grado de toxicidad de un fluido de perforación base agua utilizando dos ensayos con lombrices de tierra y semillas de lechuga como especies terrestres indicadoras de contaminación.

## MATERIALES Y MÉTODOS

Para la evaluación de la toxicidad del fluido base agua se realizaron dos bioensayos agudos con biomodelos representativos del ecosistema terrestre: lombrices de tierra adultas de la especie *Eisenia andrei* (OECD 207, 1984) y semillas de lechuga (*Lactuca sativa*) (OECD 208, 2006) (figura 1).

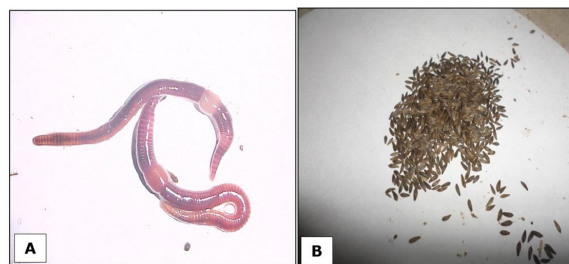


Figura 1. (A) Lombrices adultas, (B) Semillas de lechuga

### Preparación de la muestra

El fluido de perforación fue aportado por una compañía que realiza perforaciones en Cuba, se preparó para los ensayos realizando una dilución 1:9 (lodo: agua) (v/v), en un frasco de 1 L, se colocó en zaranda termostática con agitación de 130 rpm por 30 min, posteriormente se dejó reposar por 12 horas en refrigeración. El sobrenadante o fracción de sólidos suspendidos (FSS), se consideró como la muestra al 100 %, a partir de la cual se prepararon las concentraciones para los ensayos (EPA, 2011). Primero se probaron concentraciones de biobúsqueda (100; 50; 25; 10 y 1 %) y posteriormente se ajustaron las concentraciones finales a 45; 40; 35 y 30 %.

### Preparación del ensayo con la lombriz de tierra en papel de filtro

Las lombrices de la especie *Eisenia Andrei* se adquirieron de los receptáculos de cría de la Empresa de Suministros Agropecuarios (GELMA) y se trasladaron hasta el laboratorio en contenedores apropiados para ese fin. Las lombrices se mantuvieron durante una semana en adaptación bajo condiciones controladas de temperatura de  $22 \pm 2$  °C y humedad relativa del 57 %. Se alimentaron con estiércol vacuno.

Para el ensayo se prepararon recipientes de cristal de 250 mL con papel de filtro Whatman N° 1 en la base, se añadieron 4 ml de cada una de las concentraciones y agua destilada para los controles, se colocaron cuidadosamente 2 lombrices adultas con presencia de clitelo (abultamiento en el cuerpo que constituye la estructura reproductiva). Se incubaron en oscuridad por 72 h a  $22 \pm 2$  °C. Se prepararon 3 réplicas para cada concentración y el control, en la tabla 1 se resumen las condiciones del ensayo. El ensayo es válido si la mortalidad del control no excede el 10 % (figura 2).

### Preparación del ensayo con las semillas de lechuga

Las semillas de lechuga (figura 1, B) utilizadas presentan más de un 95 % de probabilidad de germinación, se adquirieron en una tienda estatal (Consultorio Agropecuario) que comercializa diferentes productos y materias primas para su uso en

**Tabla 1.** Resumen de las condiciones del bioensayo agudo en papel de filtro empleando la lombriz de tierra (*Eisenia andrei*)

| Parámetros                      | Condiciones                                                                                  |
|---------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------|
| Temperatura                     | 22 ( 1°C                                                                                     |
| Tipo de luz                     | Sin iluminación                                                                              |
| Fotoperiodo                     | 24 h de oscuridad                                                                            |
| Envases prueba                  | Frascos de vidrio de 250 ml con discos de papel Whatman N° 1                                 |
| Volumen de exposición           | 4 mL                                                                                         |
| N° de organismos por envase     | 2                                                                                            |
| N° de réplica por concentración | 3                                                                                            |
| Duración del bioensayo          | 72 horas                                                                                     |
| Tipo de ensayo                  | Estático sin renovación                                                                      |
| Efecto medido                   | Mortalidad (organismos en el fondo del envase sin evidencia de movimiento), CL <sub>50</sub> |
| Parámetros físico - químico     | Temperatura, pH                                                                              |

la agricultura y ganadería. Se prepararon placas Petri con papel de filtro Whatman N°1, se le añadieron 4 mL de cada dilución y para los controles agua destilada. El ensayo es válido si no se presentan anomalías graves dentro del control, las réplicas del blanco no deben presentar una inhibición mayor que el 10 % (Romero, 2014).

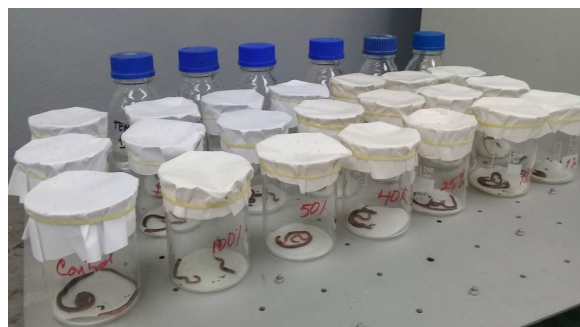
Con la ayuda de una pinza se colocaron cuidadosamente 20 semillas. En esta operación se aseguró espacio suficiente entre las semillas para permitir la elongación de las raíces (figura 3). Las placas se incubaron envueltas en papel metálico para evitar la pérdida de humedad y la entrada de la luz, por un período de 120 horas (5 días) a una temperatura de 22±2 °C y humedad del 57 %. En la tabla 2 se resumen las condiciones del ensayo.

La evaluación final de los efectos tóxicos para ambos ensayos se determinó por la mortalidad, en el caso de las lombrices se consideran muertas cuando hay ausencia de movimiento al estimularlas y para las semillas la no germinación (efecto letal). La CL<sub>50</sub> de la fase de sólidos suspendidos del fluido se calculó con el programa estadístico Statgraphics Centurion XV. versión 15.2.05 de uso libre, según el método Probit. Los valores obtenidos se compararon con el criterio de toxicidad establecido por CFR vigente, donde se considera una sustancia tóxica cuando el valor de CL<sub>50</sub> es inferior al 3 %.

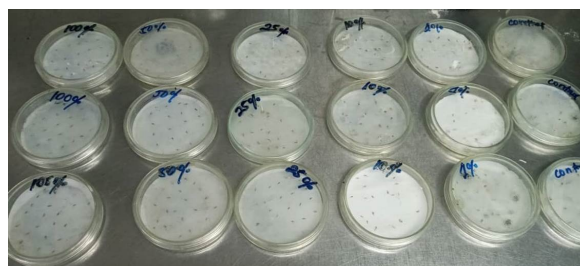
## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Bioensayo con la lombriz de tierra en papel de filtro

Se logró la supervivencia y adaptación a las condiciones del laboratorio de las lombrices colectadas. En el control no hubo mortalidad por lo que se considera válido el ensayo. A medida que las concentraciones aumentan el efecto letal aumenta proporcionalmente. Al 50 y 100 % de concentración del fluido la mortalidad fue general (tabla 3, figura 4).

**Figura 2.** Ensayo con la lombriz de tierra en papel de filtro**Tabla 2.** Resumen de condiciones de bioensayo agudo empleando las semillas de lechuga (*Lactuca sativa*)

| Parámetros                      | Condiciones                                    |
|---------------------------------|------------------------------------------------|
| Temperatura                     | 22 ( 2 °C                                      |
| Tipo de luz                     | Sin iluminación                                |
| Fotoperiodo                     | 24 h de oscuridad                              |
| Envases prueba                  | Placas con discos de papel Whatman N° 1        |
| Volumen de exposición           | 4 mL                                           |
| N° de semillas por réplica      | 20                                             |
| N° de réplica por concentración | 3                                              |
| Agua de dilución                | Agua destilada                                 |
| Duración del bioensayo          | 120 horas                                      |
| Tipo de ensayo                  | Estático sin renovación                        |
| Efecto medido                   | Inhibición de la germinación, CL <sub>50</sub> |

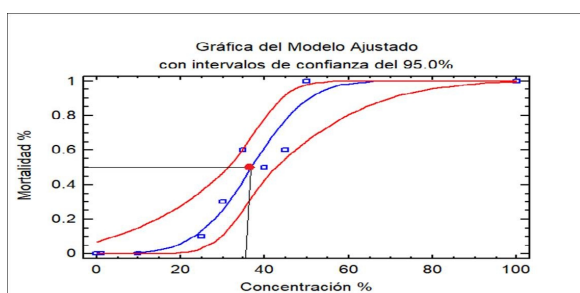
**Figura 3.** Ensayo con las semillas

**Tabla 3.** Efectos letales sobre las lombrices expuestas al fluido de perforación

| Concentración del fluido | Lombrices expuestas | muerres | % mortalidad |
|--------------------------|---------------------|---------|--------------|
| 100                      | 6                   | 6       | 100          |
| 50                       | 6                   | 6       | 100          |
| 45                       | 6                   | 4       | 66           |
| 40                       | 6                   | 3       | 50           |
| 35                       | 6                   | 4       | 66           |
| 30                       | 6                   | 2       | 33           |
| 25                       | 6                   | 1       | 16           |
| 10                       | 6                   | 0       | 0            |
| 1                        | 6                   | 0       | 0            |
| 0                        | 6                   | 0       | 0            |



**Figura 4.** Ensayo con lombrices, controles y fluido al 100 %



**Figura 5.** Gráfico dosis-efecto para el fluido en el ensayo con lombrices

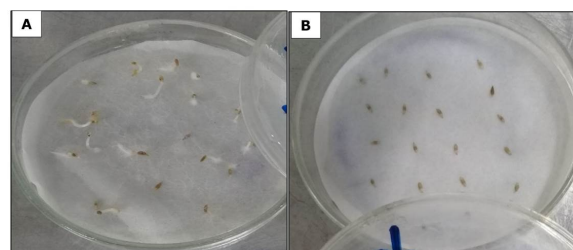
Según se muestra en el gráfico dosis-efecto, la  $CL_{50}$  calculada mediante el análisis estadístico según el método Probit es de 36.95 %. Este valor obtenido supera el 3 %, lo que se reporta como no tóxico para la biota terrestre según los códigos CFR vigentes (figura 5).

### Bioensayo con las semillas de lechuga

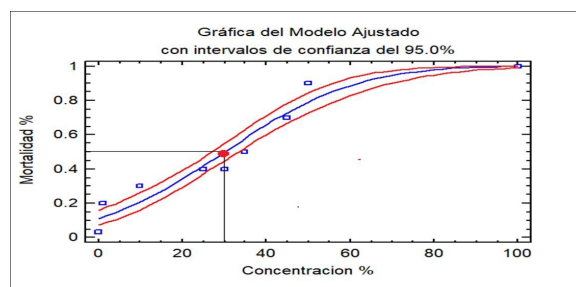
Al término de la incubación se realizó el conteo de las semillas no germinadas (efecto letal) para cada concentración. El control reportó una mortalidad menor que el 10 % por lo que el bioensayo se considera válido (Acosta y Romero, 2015). La mortalidad fue aumentando proporcionalmente con la concentración del fluido, al 100% la mortalidad fue completa (tabla 4, figura 6).

**Tabla 4.** Efectos letales sobre las semillas expuestas al fluido de perforación

| Concentración del fluido | semillas expuestas | Muerres (no germinación) | % mortalidad |
|--------------------------|--------------------|--------------------------|--------------|
| 100                      | 60                 | 60                       | 100          |
| 50                       | 60                 | 59                       | 98           |
| 45                       | 60                 | 42                       | 70           |
| 35                       | 60                 | 31                       | 51           |
| 30                       | 60                 | 29                       | 48           |
| 25                       | 60                 | 29                       | 48           |
| 10                       | 60                 | 22                       | 36           |
| 1                        | 60                 | 14                       | 23           |
| 0                        | 60                 | 2                        | 3            |



**Figura 6.** Ensayo con semillas (A) control y (B) fluido al 100%



**Figura 7.** Gráfico dosis-efecto para el fluido en el bioensayo con semillas

Según se muestra en el gráfico (figura 7), la  $CL_{50}$  calculada fue de 30.1 %, este valor supera el 3 %, lo que se reporta como no tóxico para la biota terrestre según los códigos CFR vigentes. Como el valor-P del análisis de desviaciones es menor que 0.05, existe una relación estadísticamente significativa entre las variables, con un nivel de confianza del 95.0 %.

El valor de la  $CL_{50}$  de este ensayo resultó menor que la reportada en el ensayo con las lombrices (*Eisenia andrei*) por lo que se infiere que las semillas de lechuga (*Lactuca sativa*) presentan ligeramente mayor sensibilidad al producto probado, lo cual evidencia su potencial como bioindicador de contaminación.

El fluido base agua analizado no resultó tóxico a los bioindicadores utilizados, según los valores calculados de la  $CL_{50}$  estos fueron superiores al 3 %, lo que constituye un dato importante en aras de tomar decisiones en cuanto al uso y disposición final de los



residuos. Los ensayos toxicológicos a productos y desechos de la industria petrolera utilizando especies terrestres proporcionan información sobre posibles peligros potenciales a los ecosistemas.

Desde la década de los 80, los lodos sintéticos base agua se tornaron cruciales para el éxito de las perforaciones, debido a su reducido impacto ambiental y al aumento de la eficiencia del proceso de perforación. A partir de la primera vez que estos fluidos fueron usados, a principios de la década de los 90, los investigadores se han dedicado a mejorar los sistemas no tóxicos, desarrollando así nuevos productos y sistemas de fluidos de perforación para regular los materiales tóxicos y no biodegradables, como polímeros, polímeros naturales y polímeros naturalmente modificados (Ortiz, 2016).

### CONCLUSIONES

1. El fluido de perforación base agua ensayado no es tóxico según los CFR vigentes.
2. Estos resultados apoyan el uso de este fluido en la exploración petrolera en Cuba sin daños al ecosistema terrestre.

### BIBLIOGRAFÍA

- Acosta Diaz, S., y Romero Silva, R. 2015. Ensayos Eco-toxicológicos utilizando lombrices y semillas de lechuga, Proyecto 7084. Etapa 03, Editorial Centro de Investigación del Petróleo (CEINPET), pp.1-32.
- Código Federal de Regulaciones de los Estados Unidos de Norteamérica (CFR) 2006. Protección del Medio Ambiente part. 435. Extracción de Petróleo y Gas. subpart a appendix 2. Pruebas de toxicidad para fluidos de perforación.
- Díaz Rodríguez, Y., Acosta Díaz S, Díaz Díaz M., Rivas Trasancos, Cañete C., Romero Silva R. 2022. "Evaluación de la toxicidad y biodegradabilidad de un fluido base agua para su disposición final". Rev. *Ing Hidráulica y Ambiental*: vol.43, no.1. La Habana, Cuba.
- EPA. 2011. Analytic methods for the oil and gas extraction point source category. Available:<<http://water.epa.gov/SciTech/methods/cwa/upload/oilandgas2012.pdf>>, [Consulted: Agust 15, 2023]
- Infante, C. y Morales, F. A. 2012. "Evaluación de la toxicidad en desechos y suelos petrolizados empleando semillas de *Lactuca sativa L*". *Interciencia* 37(10): 782-788, ISSN: 0378-1844. Venezuela.
- OECD 208: 2006. Seedling Emergence and Seeding Growth Tests.
- Ortiz Valbuena, M. 2016. Manejo ambiental de la disposición final de los fluidos base agua utilizados en la perforación de algunos pozos petroleros en Colombia. Fundación Universidad de América. Facultad de educación permanente y avanzada especialización en gestión ambiental Bogotá D.C. Monografía para optar por el título de especialista en gestión ambiental.
- Romero Silva, R., Acosta Díaz, S. 2014. Elaboración de procedimientos de trabajo para la realización de los bioensayos con larvas de camarones, algas marinas, semillas de lechugas y lombrices de tierra a productos y desechos peligrosos tratados, de la industria petrolera. Proyecto 7084. Etapa 02. Centro de Investigación del Petróleo.
- StatPoint Inc. 2007, "Statgraphics Centurion XV. Versión 15.2.05, Ed. Multilingue, USA. Available:<[www.statgraphics.com](http://www.statgraphics.com)>, [Consulted: Agust 15, 2023]