

Evaluación ecotoxicológica de fluidos base agua formulados con polvo tánico de dividive (*Caesalpinia coriaria*)

Ecotoxicological evaluation of water-based drilling fluids formulated with tannic divi-divi powder (*Caesalpinia coriaria*)

Pérez-Cisneros, Miguel*; Pereira, Carlos

Intevep, S.A. Urb. Santa Rosa, sector El Tambor, Los Teques, Edo. Miranda,
Caracas, 1020-A, Venezuela.

[*miguelaperezcisneros@gmail.com](mailto:miguelaperezcisneros@gmail.com)

DOI: <https://doi.org/10.53766/CEI/2022.43.03.10>

Resumen

*En esta investigación se evaluó la toxicidad de formulaciones de fluidos de perforación base agua con polvo tánico de dividive no modificado como aditivo defloculante, como alternativa nacional a la importación de taninos modificados y lignosulfonatos que impactan negativamente al ambiente. Los bioensayos utilizando la microalga de agua dulce Scenedesmus dimorphus realizados a las formulaciones de fluidos de perforación base agua con polvo tánico de dividive, no mostraron efectos biológicos significativos sobre el crecimiento poblacional y el valor CE_{50} se halla por encima de 100.000 ppm, por lo cual se considera que estas formulaciones no son tóxicas a esta especie de microalga, considerada un bioindicador universal. En cuanto a los valores de concentración letal media ($CL_{50} \geq 100.000$ ppm) empleando el pez *Poecilia reticulata*, no mostraron un efecto de mortalidad significativo sobre estas poblaciones, considerándose no tóxicas para este indicador biológico.*

Palabras clave: ecotoxicidad, polvo tánico dividive, *scenedesmus dimorphus*, *poecilia reticulata*, Fluido de perforación base agua.

Abstract

*In this research, the toxicity of formulations of water-based drilling fluids with non-modified dividive tannic powder as a deflocculant additive was evaluated, as a national alternative to imported modified tannins and lignosulfonates that negatively impact the environment. The bioassays using the freshwater microalgae Scenedesmus dimorphus carried out on the formulations of water-based drilling fluids with divi-divi tannic powder did not show significant biological effects on population growth and the EC_{50} value is above 100,000 ppm, for which It is considered that these formulations are not toxic to this species of microalgae, considered a universal bioindicator. As for the median lethal concentration values ($LC_{50} \geq 100,000$ ppm) using the *Poecilia reticulata* fish, they did not show a significant mortality effect on these populations, being considered non-toxic for this biological indicator.*

Keyword: ecotoxicity, divi-divi tannic powder, *scenedesmus dimorphus*, *poecilia reticulata*, water-based drilling fluids.

1 Introducción

Los aditivos químicos y mineralógicos que se le agregan a los fluidos de perforación son considerados como una fuente potencial de polución a los ambientes acuáticos y terrestres (Falk y col., 1973; Logan y col., 1973). Otra fuente importante de sólidos suspendidos son las fibras, conchas, hojuelas, micras que se emplean como aditivos para controlar pérdidas de circulación hacia la formación geológica (Hetherington 1963). En correspondencia con la Comisión Asesora Europea sobre pesca continental (EIFAC por sus siglas en inglés) la concentración de los sólidos suspendidos entre 80 – 100 ppm tienen efectos dañinos en algunas especies acuáticas. En este intervalo, los sólidos suspendidos son tóxicos a las *daphnia* y otros miembros del zooplancton. Otros aditivos utilizados como defloculantes no menos tóxico que los sólidos suspendidos son los lignosulfonatos y los taninos modificados químicamente. Motivado a la importancia y uso extensivo de los aditivos defloculantes (lignosulfonatos, taninos y lignitos) en la industria de la perforación, Hollingsworth y col., (1975), estudiaron la toxicidad de estos aditivos en el indicador biológico *Mollienesis latipinna*. Los resultados mostraron que los taninos presentaron valores de toxicidad por debajo de la tolerancia media exhibida por lignitos y lignosulfonatos. El tipo de tanino más utilizado como aditivo defloculante es el quebracho (*Schinopsis balansae* y *lorentzii*) modificado con sales de metales pesados. Los investigadores infieren que la causa de la toxicidad del tanino quebracho proviene de la capacidad para secuestrar el oxígeno, por el alto contenido de taninos condensados y por otro lado a los metales pesados que contiene (Logan y col., 1973; Ferrante 1981). El uso de bioindicadores está señalado en la detección de sustancias contaminantes como: metales pesados, materia orgánica, nutrientes, hidrocarburos, pesticidas, ácidos, bases y gases disueltos. Así como parámetros biológicos que requieren de la medición de variables fisicoquímicas, como por ejemplo la saturación de oxígeno, condiciones de pH y anoxia, estratificación térmica, turbiedad del agua, sólidos suspendidos, eutrofización natural, grado de mineralización del agua, presencia de elementos tales como: Silicio, hierro, calcio, sodio, etc., y fenómenos de sedimentación (Laws 1981; Vásquez y col., 2006). Así pues, un bioindicador es un organismo o conjunto de organismos que tienen la propiedad de responder a cambios de los factores abióticos y bióticos del ecosistema (sensibilidad o tolerancia), de tal manera que estos cambios indiquen a través de las mediciones o índices (biótico, secuencial de comparación, Hilsenhoff, entre otros) que las especies se encuentran en los límites de tolerancia inferior o superior dentro de su hábitat (Odum 1972; Hellawell 1986; Washington 1984; Rosemberg y col., 1993; Pinilla 1998; Pulido y col., 2005; Gamboa y col., 2008; De Lanza y col., 2000). En la selección de los bioindicadores (Hellawell 1986), se deben seguir en lo posible los siguientes atributos: fáciles de identificar taxonómicamente; que no requieran de equipos costosos ni demasiados operarios para

la toma de muestras; distribuidos altamente en el hábitat; muy bien adaptados; económicamente importante y de interés intrínseco como recurso; capacidad de tolerancia ante los contaminantes; baja variabilidad genética y protagonismo en el nicho donde prospera. Las pruebas de toxicidad proporcionan información valiosa para una variedad de propósitos: a) condiciones ambientales adecuadas para sostener la vida; b) factores ambientales favorables y desfavorables; entre los cuales el oxígeno disuelto (OD), pH, temperatura, salinidad o turbiedad; c) efecto de los factores ambientales en la toxicidad residual; d) toxicidad de los residuos para una especie de prueba; e) sensibilidad relativa de los organismos acuáticos ante un tóxico; f) Tipo y cantidad de tratamiento para el seguimiento de la contaminación; g) eficiencia de los métodos de tratamiento; h) tasas de descarga para efluentes permisibles; i) Conformidad con los estándares de calidad de los cuerpos de aguas (US EPA Permit writer's guide 1987; US EPA-505/2-90-001 1991). Los índices de toxicidad tienen como objetivo estimar la concentración a la cual no se observa el efecto adverso validado por los resultados estadísticos. Por lo tanto, se miden las siguientes parámetros: concentración más alta a la cual no se aprecia efecto (NOEC), concentración más baja a la que se observa efecto (LOEC), concentración efectiva correspondiente a una estimación de la concentración del tóxico que puede causar un efecto adverso observable, mediante una respuesta discreta en un porcentaje dado de organismos (CE), concentración letal, la cual corresponde a la concentración del tóxico que causa la muerte a un determinado porcentaje de la población expuesta (CL) y concentración inhibitoria, correspondiente a la concentración de tóxico que puede producir una disminución de una respuesta biológica en una población expuesta (CI) (Stephan 1977; OSHA 2009).

En la actualidad la tendencia tecnológica mundial para minimizar el impacto ambiental en las operaciones de perforación petrolera, es contar con aditivos biodegradables, no tóxicos, no sólo para el ambiente, más bien para los trabajadores (Growcok y col., 2002; Getliff y col., 2000; Khodja y col., 2010b). Esta tendencia aspira a optimizar toda la operación de perforación desde el inicio, contando con excelente diseño del pozo, formulaciones de los fluidos menos tóxicas y la disposición adecuada de los residuos de la perforación, aprovechando de la mejor manera las facilidades de las instalaciones en la superficie (Pruitt y col., 1998; Hudson 1999a; Hudson y col., 1999b; Khodja y col., 2010a).

2 Parte Experimental

2.1 Materiales y equipos

Bentonita grado API, NaOH p.a marca Merck, yeso grado técnico, Barita grado técnico y polvo tánico de dividive con granulometría de 200 mesh extraído de frutos silvestres. Los equipos utilizados en la preparación de los fluidos de

perforación se hallan señalados en las normas API 13B-1 2009 e ISO 10414-1:2008.

2.2 Formulaciones de los fluidos de perforación base agua con polvo tánico de dividive

En la Tabla 1, se muestran las formulaciones de los fluidos con tanino dividive como aditivo defloculante. Se prepararon cuatro (4) formulaciones de fluidos que contienen tanino dividive que van desde la formulación (F1) hasta la formulación (F4), variando progresivamente la cantidad del aditivo.

Tabla 1. Formulaciones de los fluidos de perforación base agua con tanino dividive.

Componentes	UN	F1	F2	F3	F4
Agua	mL	150	150	150	150
Bentonita Prehidratada(*)	lb	200,0	200,0	200,0	200,0
Polvo tánico dividive	lb	0,5	1,0	1,5	3,0
NaOH (Ajuste a pH= 9,5)	pH	9,5	9,5	9,5	9,5
Yeso (CaSO ₄ ·2H ₂ O)	lb	0,0	1,0	1,0	1,0
Barita (D _F = 10 lb/gal)	lb	55,0	55,0	55,0	55,0

2.3 Evaluación ecotoxicológica de las formulaciones de fluidos de perforación base agua con polvo tánico de dividive

La evaluación ecotoxicológica de los fluidos de perforación base agua con polvo tánico de dividive previamente envejecidos (16 horas a 150 °F) se realizó utilizando dos bioindicadores que permiten estimar el grado de toxicidad aguda y crónica de los fluidos en el ambiente, aplicando los bioensayos correspondientes. Como bioindicadores se seleccionaron organismos representativos y característicos de dos niveles de la trama trófica de los ecosistemas acuáticos dulce-acuícolas. Para el nivel 1, se utilizó la microalga *Scenedesmus dimorphus* y para el nivel 2, el pez de agua dulce *Poecilia reticulata* (OECD 203 1992).

2.3.1 Preparación de la muestra

Se tomó una alícuota representativa de cada fluido de perforación envejecido con y sin polvo tánico de dividive. La muestra fue conservada a temperatura ambiente hasta su posterior análisis. Luego, se realizaron las diluciones seriadas usando como agua de dilución el medio mineral propuesto por la OECD 201 (1984) para el bioensayo con la microalga *Scenedesmus dimorphus* y para el pez *Poecilia reticulata* se utilizó agua potable filtrada con carbón activado, aireada y ajustada a una conductividad de 150 μ S/cm (US EPA-505/2-90-001 1995; US EPA-660/3-75-009 1975).

2.3.2 Ensayos de toxicidad

La toxicidad crónica de la muestra se evaluó con la microalga dulce acuícola *Scenedesmus dimorphus* según el método propuesto por la OECD 201 (1984), el cual se fundamenta en someter a una población estimada de microalgas con crecimiento exponencial a un intervalo de concentraciones de la fracción soluble de cada fluido de perforación diluido con un medio de cultivo durante un periodo de tiempo de 72 h \pm 2 h, bajo condiciones controladas de temperatura y luz. Al culminar el tiempo de exposición, se estimó la inhibición del crecimiento para cada concentración y a partir de éstos, se calcula la concentración que causa una disminución del crecimiento al 50% de la población (CE₅₀) (EPA-821-R-02-013 2002; ISO 8692 2004) (Fig 1.) Para la estimación de la toxicidad aguda del pez *Poecilia reticulata* se empleó la metodología propuesta en la norma de la USEPA (US EPA-660/3-75-009, 1975).

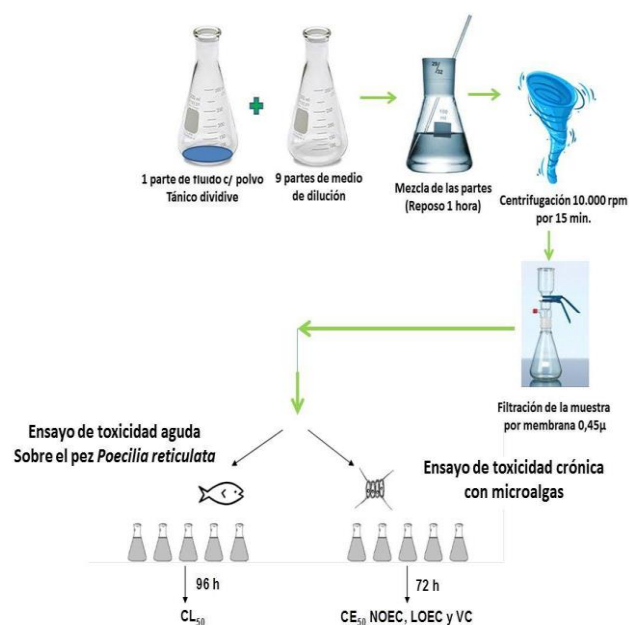


Fig. 1 Esquema metodológico para la preparación de la fracción soluble del fluido de perforación con polvo tánico de dividive para los ensayos de toxicidad aguda y crónica

Este método consiste en exponer alevines de 10 a 15 días de nacidos a concentraciones seriadas de la fracción soluble del fluido de perforación envejecido conteniendo tanino dividive bajo condiciones controladas de laboratorio durante 96 h \pm 2 h. Como resultado, se obtiene la concentración que causa una mortalidad del 50% de la población (CL₅₀) a las 96 h \pm 2 h (ASTM D 6401-99 2004). Los valores de CE₅₀ y CL₅₀ pueden indicar la peligrosidad potencial de un fluido de perforación; pero estos valores aislados no pueden ser usados directamente para predecir los efectos de una descarga del fluido de perforación en situaciones reales. Los valores obtenidos en los bioensayos fueron comparados con el

criterio de toxicidad establecido por el Grupo de Expertos para la Preservación del Ambiente Marino de las Naciones Unidas, donde se considera que una sustancia es tóxica cuando el valor de CE_{50} o CL_{50} es inferior a 1.000 mg/L (GESAMP 2002). A pesar de que este criterio es formulado para ambientes marinos, su escala es recomendada para reportar niveles de toxicidad para especies de microalgas de agua dulce tales como *Selenastrum*, *Scenedesmus* y peces dulceacuícolas.

2.3.1 Análisis estadístico

Los resultados obtenidos en la evaluación de la toxicidad crónica con la microalga se calcularon aplicando el método de ANOVA con ajuste de Dunnett, incluido en el programa Toxstat versión 3 (Gulley y col., 1989). Para los ensayos de toxicidad aguda con *Poecilia reticulata*, se estimaron las concentraciones letales a las cuales muere el 50% de la población analizada (CL_{50}) mediante los ajustes de Spearman-Kärber y Probit, incluidos en los programas TSK versión 1.5 y el LC_{50} versión 2.5 (Stephan 1977).

3 Resultados y Discusión

3.1 Determinación de los parámetros CL_{50} y CE_{50}

Los valores mostrados en la Tabla 2 referentes a la toxicidad aguda de las formulaciones con polvo tánico de dividive contenido en cuatro (4) formulaciones con concentraciones que van de 0,5 a 3,0 lb/barril y evaluadas toxicológicamente con el indicador pez *Poecilia reticulata*, muestran que las concentraciones ensayadas no son tóxicas para este tipo de organismo acuático. Este bioensayo indica que las formulaciones de los fluidos teniendo como polvo tánico de dividive en las concentraciones indicadas y en condiciones controladas de laboratorio, no tuvieron efectos tóxicos sobre alevines con edad entre 10 y 15 días. En cuanto a los bioensayos con la microalga de agua dulce *Scenedesmus dimorphus*, realizados a las formulaciones envejecidas 3, 4 y 6 conteniendo el polvo tánico de dividive, las mismas no mostraron efectos biológicos relevantes en el crecimiento poblacional para este indicador (véase Tabla 3), considerándose que no son tóxicas (GESAMP 2002). Este género perteneciente al grupo de las algas verdes está ampliamente distribuido en todo el mundo. Las microalgas del grupo de las *Chlorophyceae*, como la *Scenedesmus dimorphus* se encuentran en cuerpos de agua como lagos y ríos, es por ello que se consideran como indicadores biológicos universales (OECD 1984, Adams y col., 2000; US EPA 2002; ISO 8692 2004).

Tabla 2. Concentración letal media (CL_{50}) de formulaciones seleccionadas de fluidos base agua con polvo tánico de dividive empleando como bioindicador el pez *Poecilia reticulata*.

Formulación	Cantidad polvo tánico dividive (lb/barril)	Cantidad polvo tánico dividive (g/barril)	CL_{50} (mg/L)	Condición
F1	0,5	226,5	>100.000	No tóxico
F2	1,0	453,0	>100.000	No tóxico
F3	1,5	679,5	>100.000	No tóxico
F4	3,0	1.359,0	>100.000	No tóxico

Tabla 3. Concentraciones del efecto medio (CE_{50}) de las formulaciones seleccionadas de fluidos base agua polvo tánico de dividive empleando como bioindicador la microalga de agua dulce *Scenedesmus dimorphus*.

Formulación	Cantidad polvo tánico dividive (lb/barril)	Cantidad polvo tánico dividive (g/barril)	CE_{50} (mg/L)	Condición
F1	0,5	226,5	>100.000	No tóxico
F2	1,0	453,0	>100.000	No tóxico
F3	1,5	679,5	>100.000	No tóxico
F4	3,0	1.359,0	>100.000	No tóxico

Los valores CE_{50} y CL_{50} hallados para las formulaciones con polvo tánico de dividive ensayadas, son superiores a 100.000 ppm, indicativo de que las formulaciones con el polvo tánico de dividive no tienen efectos adversos en el crecimiento poblacional de los bioindicadores seleccionados y puede considerarse no tóxico. Estos resultados concuerdan parcialmente con los hallados por Hollingsworth y col., (1975), los cuales estudiaron la toxicidad del tanino quebracho en el indicador biológico el pez *Mollienesia latipinna*. Los resultados obtenidos mostraron que los taninos tienen valores de toxicidad por debajo del límite de tolerancia media exhibida por los lignitos y lignosulfonatos. Los investigadores infieren que la causa de la toxicidad mostrada, aunque la menor entre los aditivos examinados, proviene de la capacidad para secuestrar el oxígeno que tienen estas sustancias tánicas; el cual se incrementa, si el contenido de taninos condensados es alto (Land 1974). Los resultados evidencian que las formulaciones con polvo tánico de dividive tienen un bajo impacto ambiental y por ende, el uso de esta sustancia natural en los fluidos de perforación base agua es viable ambientalmente. Dentro de este marco, es factible su tratamiento de acuerdo con la combinación de métodos para la disposición de los fluidos de perforación base agua y aceite que actualmente son utilizados en Venezuela y Latinoamérica, como por ejemplo la estabilización, biorremediación y desorción térmica (OGP 2003). El ensayo ecotoxicológico realizado, lo hace idóneo para uso extensivo en los fluidos de perforación base agua bajo el enfoque holístico (Getliff y col., 2000; Paulsen y col.,

2001; Khodja y col., 2010b) para perforar zonas ambientalmente sensibles como las operaciones en humedales y costa afuera.

4 Conclusiones

El valor CE₅₀ obtenido para las formulaciones con tanino dividive ensayadas, utilizando como bioindicador la microalga de agua dulce *Scenedesmus dimorphus*, es superior a 100.000 ppm indicativo de que la formulación con el aditivo defloculante polvo tánico de dividive no tiene efectos adversos sobre el crecimiento poblacional del indicador y puede considerarse no tóxico. Los valores de la concentración letal media (CL₅₀) hallados para las formulaciones con polvo tánico de dividive, utilizando como bioindicador el pez *Poecilia reticulata*, fueron iguales o mayores a 100.000 ppm, indicando la no toxicidad de la formulación con el tanino dividive.

Conflicto de intereses:

El autor declara que no hay conflicto de intereses.

Referencias

- Adams, S. M., & Greeley, M. S. (2000). Ecotoxicological Indicators of Water Quality: Using Multi-response Indicators to Assess the Health of Aquatic Ecosystems. *Water Air and Soil Pollution*, 123, pp. 103-115. <https://www.academia.edu/1393934>.
- API 13B-1 ANSI/API 13B-1/ISO 10414-1. (2009). Recommended Practice for field testing water-based drilling fluids. 4th Ed, pp. 1-91. <https://www.chinajorson.cn.com>.
- ASTM D6401-99 (2004). Standard test method for determining non tannins and tannin in extracts of vegetable tanning materials, pp. 1-4.
- De la Lanza Espino, G. (2000). Criterios generales para la elección de bioindicadores. Organismos Indi-cadores de la Calidad del Agua y de la Contaminación (Bioindicadores). México, DF: Plaza y Valdés, SA de CV, pp. 17-41. <https://www.books.google.co.ve>.
- EIFAC (European Inland Fisheries Advisory Commission). (1965). Water quality criteria for European freshwater fish. Report on finely divided solids and inland fisheries. *Air water Pollut.* 9, pp. 151-168. <https://www.fao.org>
- Falk, M.R. and Lawrence, M.J. (1973). Acute toxicity of petrochemical drilling fluids components and wastes to fish. Canada, Dept. Environ., *Fish. Mar. Serv.*, Dir. Rep. No. CEN-73-1. <https://waves-vagues.dfo-mpo.gc.ca>
- Ferrate, J. G. (1981). Fate and effects of whole drilling fluids and fluid components in terrestrial and freshwater ecosystems: a literature review. U.S. Environmental Protection Agency, pp. 1-50. <https://www.napis.epa.gov>
- Gamboa, M., Reyes, R., Arrivillaga, J. (2008). Macroinvertebrados bentónicos como bioindicadores de salud ambiental. *Boletín de Malariología y salud ambiental*, XLVIII (2), pp. 109-120. <https://researchgate.net/publication/239586192>.
- GESAMP (2002). Group of experts on the scientific aspects of marine environmental protection (ed). Hazard evaluation procedure for chemical substances carried by ships. REPORTE No. 64, Londres, pp. 1-39. <https://gesamp.org>
- Getliff, J. M., Bradbury, A. J., Sawdon, C. A., Candler, J. E. and Loklingholm, G. (2000). Can advances in drilling fluid design further reduce the environmental effects of water and organic-phase drilling fluids? *SPE 61040*, pp. 1-6. <https://www.search.spe.org>.
- Growcock, F. B., Curtis, G. W., Hoxha, B., Brooks, W. S., & Candler, J. E. (2002, February). Designing invert drilling fluids to yield environmentally friendly drilled cuttings. In IADC/SPE Drilling Conference. OnePetro. <https://www.search.spe.org>.
- Hellawell, J. (1986). Biological indicators of freshwater pollution and environmental management. London and New York: *Elsevier Applied Science*, pp. 546. DOI: <https://doi.org/10.1017/S0376892900011747>.
- Hetherington, H. A. (1963). Drilling muds for mineral drilling and water-well construction, In: Grouts and drilling muds in engineering practice: Symposium. Butterworths, London, pp. 206-210. <https://www.books.google.co.ve>.
- Hollingsworth, J. W. and Lockhart, R. A. (1975). Fish toxicity of dispersed clay drilling mud defloculants. In: Environmental aspects of chemical use in welldrilling operations, pp. 113-123. EPA-560/1/75-004. <https://www.govinfo.gov>.
- Hudson, C. (1999). Evaluation of drilling rig fluids handling systems: an integrated fluids management approach. *Offshore Magazine*. <https://www.offshore-mag.com/business-briefs/equipment-engineering/article/16757485/evaluation-of-drilling-rig-fluids-handling-systems>.
- Hudson, C. and Nicholson, S. (1999). Integrated fluids approach cuts waste, costs in Texas wildlife refuge. *Petroleum Eng. International*, pp. 37-41.
- Khodja, M., Canselier, J. P., Bergaya, F., Fourar, K., Khodja-Saber, M., Cohaut, N. and Benmounah, A. (2010). Shale problems and water-based drilling fluid optimization in Hassi Messaoud Algerian oil field. *Appl. Clay Sci.* 49, pp. 383-393. https://oatao.univ-toulouse.fr/5843/1/Khodja_5843.pdf.
- Khodja, M., Khodja-Saber, M., Canselier, J. P., Cohaut, N. and Bergaya, F. (2010). Drilling fluid technology: Performances and environmental considerations. pp. 227-256. www.intechopen.com.

- Land, B. (1974). The toxicity of drilling fluid components to aquatic biological systems. A literature review. *Mar. ser. Res. Dev. Tech. rep.* 487, pp. 33.
- Laws, A. E. (1981). *Aquatic Pollution. Wiley Interscience Publication*, EE.UU, pp. 482.
- Logan, W.J., Sprague, J.B., Hicks, B.D. (1973). Acute lethal toxicity to trout of drilling fluids and their constituent chemicals as used in the Northwest Territories, in: Falk, M.R. and Lawrence, M.J. 1973. Acute toxicity not petrochemical drilling fluids components and wastes to fish. Canada, Dept Environmental Fish. *Mar. Serv., op. Dir. Rep. No. CENT-73-1*.
- Odum, E. P. (1972). *Ecología. Nueva Edit. Interam. (3ra. Ed.)*, Ciudad de México, México, pp. 639.
- OECD Organization for Economic Cooperation and Development. (1984). Earthworm, acute toxicity test. Guideline for testing of chemicals No. 201, pp. 9.
- OECD Organization for Economic Cooperation and Development. (1992). Guideline for Testing of Chemicals. Fish, acute toxicity test. No. 203, pp. 9.
- OGP, 2003, "Environmental Aspects of the Use and Disposal of Non Aqueous Drilling Fluids Associated with Offshore Oil & Gas Operations," report no. 342, prepared by the Non-Aqueous Drilling Fluids Task Force for the International Association of Oil & Gas Producers. www.ogp.org.uk/pubs/342.pdf.
- OSHA) Occupational Safety and Health Administration. (2009). Safety and health topics, dermal exposure. www.osha.gov/SLTC/dermalexposure/index.
- Paulsen, J. E., Saasen, A., Jensen, B. and Grinred, M. (2001). Key environmental indicators in drilling operations. *SPE 71839*. <https://onepetro.org/search-SPE2071839>.
- Pinilla, G. (1998). Indicadores biológicos en ecosistemas acuáticos continentales de Colombia. Centro de investigaciones científicas. Fundación Universitaria de Bogotá Jorge Tadeo Lozano, pp. 1-66. <https://www.researchgate.net/publication/260186467>.
- Pruitt, J. and Hudson, C. (1998). Integrated approach optimizes results. *American Oil and Gas Report*, pp. 86-91.
- Rosemberg, D., & Resh, V. (1993). Freshwater biomonitoring and benthic macroinvertebrate. *Publication*, 420, pp. 330-354. <https://www.researchgate.net/publication/292130029>.
- Stephan, C.E. (1977). Methods for calculating an LC₅₀. In F.L. Mayer & J. L. Hamelink, eds. *Aquatic Toxicology and Hazard Evaluation*. ASTM STP 634.
- Stephan, C.E. (1977). Methods for calculating an LC₅₀. In F.L. Mayer & J. L. Hamelink, eds. *Aquatic Toxicology and Hazard Evaluation*. ASTM STP 634.
- U.S. Environmental Protection Agency (EPA). (1975). Methods for acute toxicity tests with fish, macroinvertebrates, and amphibians. EPA-660/3-75/-009, pp. 1-69. <https://nepis.epa.gov/Exe>.
- U.S. Environmental Protection Agency (EPA). (1987). Permit writer's guide to water quality-based permitting for toxic pollutants. Office water, US Environmental Protection Agency, Washington, D.C., pp. 1-64. <https://nepis.epa.gov/Exe/ZyNET.exe/10004N39.TXT>.
- U.S. Environmental Protection Agency (EPA). (1991). Technical support document for water quality-based control. EPA-505/2-90-001 (PB91-127415). Office water, US Environmental Protection Agency, Washington, D.C, pp. 1-335. <https://www3.epa.gov/npdes/pubs/owm0264.pdf>.
- U.S. Environmental Protection Agency (EPA). (2002). Short-term methods for estimating the chronic toxicity of effluents and receiving waters to freshwater organisms. 4th ed. Pennsylvania, Washington D.C. : EPA – 821-R-02-013, pp. 1-335. https://www.epa.gov/sites/default/files/2015-08/documents/short-term-chronic-freshwater-wet-manual_2002.pdf.
- Vásquez, G., Castro, G., González, I., Pérez, R., & Castro, G. (2006). Departamento: El Hombre y su Ambiente, UAM-X. Bioindicadores como herramientas para determinar la calidad del agua, pp. 44. <https://agua.org.mx/wp-content/uploads/2017/11/Bioindicadores-como-herramientas-para-determinar-la-calidad-del-agua.pdf>.
- Washington, H. G. (1984). Diversity, biotic and similarity indices. A review with special relevance to aquatic ecosystems. *Water Research*, 18 (6), pp. 653-69. [https://doi.org/10.1016/0043-1354\(84\)90164-7](https://doi.org/10.1016/0043-1354(84)90164-7).

Recibido: 02 de abril de 2022

Aceptado: 22 de junio 2022

Pérez Cisneros, Miguel Angel: Doctor en ciencias de la ingeniería (UCV). Maestría en ingeniería ambiental (UCAB). Especialista I&D avanzado en el Intevp S.A., con 35 años de experiencia.

 <https://Orcid.org/0000-0003-3839-3332>.

Pereira Ibarra, Carlos Julio: Doctor en ciencias mención Ecología (UCV). MSc. Ingeniería sanitaria (UCV), mención aguas. Experiencia 16 años. Correo electrónico: carlosjpereyra@gmail.com

 <https://orcid.org/0000-0002-5850-0775>.