



## EFECTO DEL SULFONATO DE ALQUILBENCENO SOBRE LA SUPERVIVENCIA DE LA CACHAMA BLANCA (*Piaractus brachypomus*)

### THE EFFECT OF THE ALKYL BENZENE SULFONATE OVER THE SURVIVAL OF WHITE CACHAMA (*Piaractus brachypomus*)

Marco A. Imués-Figueroa<sup>a</sup> MSc, Camilo L. Guerrero<sup>b</sup> IPA,  
 Ángela P. Mora-Pantoja<sup>c</sup>, Adrián M. Lasso-Guerrero<sup>c</sup>

Recibido: 16-sep-2013    Aceptado: 05-dic-2013

#### RESUMEN

Con el objetivo de determinar, en forma preliminar, el efecto del sulfonato de alquilbenceno de cadena lineal, en una presentación comercial, sobre la supervivencia de cachama blanca (*Piaractus brachypomus*) en etapa de levante, se realizó un experimento en el Laboratorio de Acuicultura de la Universidad de Nariño, en el cual se utilizó 90 peces juveniles de la citada especie, con un peso promedio de  $28,42 \pm 0,45$  g, distribuidos aleatoriamente en nueve acuarios con 130 L de agua y 30 animales en cada uno, que conformaban una unidad experimental, para luego ser sometidos, por un período de 72 horas, a tres tratamientos: T1 sin adición del detergente, T2 con adición del detergente (1,1 g/L de agua), T3 con adición del detergente (2,2 g/L de agua). Se encontraron diferencias significativas ( $p < 0,05$ ) al comparar la supervivencia en los diferentes tratamientos, la cual fue de 100% en el T1 y de 53,33% en el T2, ambos a las 72 horas; el T3 produjo la mortalidad total a las 48 de exposición. Las variables referentes a la temperatura y el oxígeno disuelto del agua no presentaron diferencias significativas, indicando un manejo homogéneo de las unidades experimentales; en el caso del pH, no se detectó diferencias significativas ( $p > 0,05$ ) entre los tratamientos T2 y T3, siendo significativa ( $p < 0,05$ ) al comparar los tratamientos con detergente (T2 y T3) frente al que no tuvo adición de detergente (T1). El presente estudio demuestra el efecto nocivo del sulfonato de alquilbenceno de cadena lineal en *Piaractus brachypomus* bajo las condiciones evaluadas.

**Palabras clave:** jabón, detergente, surfactantes, calidad del agua

#### ABSTRACT

For the purpose of determining a preliminary analysis on the effect of a linear chain of alkylbenzene sulfonate in a commercial presentation on the survival of *Piaractus brachypomus* in lifting stage, an experiment using 90 juvenile fish of that specie was carried out in the Aquaculture Laboratory in the University of Nariño. Fish with an average weight of  $28.42 \pm 0.45$  g were arranged in nine aquariums with 130 L of water and one experimental unit was formed of 30 of them, which were located in each aquarium to be subjected to three treatments over a 72 hour period: Treatment 1 (T1) without adding detergent, Treatment 2 (T2) adding detergent (at ratio of

<sup>a</sup> Profesor Asociado, Departamento de Recursos Hidrobiológicos, Universidad de Nariño, Pasto, Colombia.

<sup>b</sup> Laboratorio de Acuicultura, Universidad de Nariño, Pasto, Colombia.

<sup>c</sup> Estudiantes de Ingeniería en Producción Acuícola, Universidad de Nariño, Pasto, Colombia.

1.1 g/L of water), Treatment 3 (T3) adding detergent (at ratio of 2.2 g/L of water). Some significant differences were found ( $p < 0.05$ ) when comparing survival in different treatments, which were 100% in T1 and 53,33% in T2, both over a 72 hour period; T3 showed a total mortality over a 48 hour period of exposure. Variables such as temperature and dissolved oxygen from water showed no significant differences, ensuring a uniform operation of the experimental units. There was not any significant difference in the case of pH ( $p > 0.05$ ) among the treatments T2 and T3 where detergent was used, but there was a significant difference at comparing them with the one which had no detergent addition (T1). The present study clearly demonstrates the harmful effect of these substances on homeostasis of the fish.

**Key words:** soap, detergent, surfactants, water quality

---

## INTRODUCCIÓN

Las proyecciones de las Naciones Unidas aseguran que la población mundial llegará en el 2025, a 8.000 millones de personas<sup>[1]</sup>. Conforme se ha incrementado la población, también ha crecido el consumo masivo de diferentes productos de limpieza por las comunidades urbana y rural, especialmente detergentes que contienen tensoactivos como el sulfonato de alquilbenceno (LAS), principal componente, con procesos de fabricación a partir de tecnología petroquímica, y de mayor utilización en el mundo<sup>[2]</sup>, los cuales ocasionan cambios drásticos en la calidad físico-química del agua y alteran el ecosistema acuático, causando mortalidad en varios organismos.

La explosión demográfica presentada en los últimos años, la deficiente infraestructura de aguas residuales y la inexistencia de plantas de tratamiento para éstas, así como el uso masivo de detergentes con altas cantidades de tensoactivos, hacen que estas sustancias se difundan en los cuerpos de agua a través de los efluentes domésticos, disminuyendo las posibilidades de supervivencia de los peces, principalmente de las especies estenotópicas.

En la actualidad se discute sobre el uso de estos tensoactivos y su efecto sobre el ecosistema acuático; así Leite<sup>[3]</sup> asegura que los jabones usados tradicionalmente son biodegradables cuando se encuentran en disolución, poseen acción bactericida, no necesitan la adición de detergentes que mantengan la suciedad en suspensión; sin embargo, forman

compuestos insolubles con las sales cálcicas y magnésicas debido a la dureza del agua, lo que dificulta enormemente su acción detergente, provocando incrustaciones e impidiendo su biodegradabilidad. Menciona que los detergentes modernos contienen entre un 5 y 20% en peso de tensoactivos; de esta manera, una concentración de detergente doméstico de 5 g/L originará una agua de lavado con un gramo de tensoactivo para cada litro, es decir un 0,1% en peso; las disoluciones empleadas para el lavado continen como máximo una concentración de LAS de 2,2 g/L. Lewis<sup>[4]</sup> realiza una amplia revisión sobre los efectos crónicos y subletales de estos productos, sobre algunas especies planctónicas e ícticas, de estudios anteriores al año 1991.

También se han descrito diversos efectos que los tensoactivos pueden causar sobre las membranas celulares y proteínas, debido a la actividad superficial que presentan. En el caso particular de LAS, la toxicidad de los homólogos e isómeros que conforman la mezcla comercial es diferente en cada especie, así se puede afirmar que, a medida que aumenta la longitud de la cadena alquílica lineal, aumenta la toxicidad del compuesto<sup>[5]</sup>. Se argumenta que, en las aguas receptoras, las concentraciones de LAS decrecen debido a la biodegradación, el cual es un mecanismo básico que juega un papel importante en la modificación de la biodisponibilidad de LAS y por consiguiente, sus propiedades ecotoxicológicas<sup>[6]</sup>, cumpliendo con los estándares

de biodegradación<sup>[7]</sup>. Este compuesto es fácilmente biodegradable en condiciones aeróbicas pero, debido a vías metabólicas restringidas, no es biodegradable bajo condiciones anaeróbicas y se puede bioacumular en ambientes acuáticos, donde puede tener efectos tóxicos en peces, crustáceos y moluscos<sup>[8]</sup>, sin que se conozcan estudios sobre la toxicidad aguda y concentración letal 50 (CL<sub>50</sub>) en especies ícticas nativas de agua dulce tropical en Colombia.

La acuicultura se ha planteado como una alternativa para cubrir las deficiencias alimentarias de una población en crecimiento vertiginoso, tanto por su forma de producción, como por la calidad nutritiva de la carne de pescado y de otras especies hidrobiológicas. Este desafío llevó al desarrollo de la producción acuícola, al pasar de 572 toneladas en 1985, a cerca de 73.000 toneladas en el 2010, a través del aumento de la eficiencia productiva, que ha implicado el mejoramiento en las condiciones de manejo, infraestructura y calidad genética de las especies<sup>[9]</sup>, así como la aplicación de biotecnologías reproductivas, genéticas, nutricionales y sanitarias, con el fin de solucionar sus limitantes en el cultivo<sup>[10]</sup>.

Colombia se encuentra entre los países más biodiversos del mundo, donde sobresale el alto número de especies de peces, muchos de ellos con importancia ecológica y otros

con gran potencial acuícola, bien sea para consumo o para ornamentación. La especie colombiana más representativa en la producción acuícola es la cachama blanca (*Piaractus brachypomus*), originaria de la región Amazónica, con gran aceptación en el mercado nacional de Colombia y perspectivas en el internacional.

La acuicultura colombiana se ha fortalecido con fines comerciales, investigativos o de repoblamiento, que se constituye en una importante fuente de alimento y en una actividad generadora de ingresos y empleo, mostrando un crecimiento superior al 10% promedio anual, con una producción nacional de cachama de 4.525,5 toneladas entre enero y junio de 2012, equivalente al 16% de la producción nacional, con lo cual es considerada como la tercera especie piscícola más producida, y la primera especie nativa, cumpliendo con la condición de proporcionar calidad de proteína, necesaria para la alimentación humana<sup>[11]</sup>.

Con base en lo anterior, se realizó un ensayo preliminar para determinar el efecto causado por un detergente de uso común, a base de acetil de alquilbenceno de cadena lineal, sobre la supervivencia de cachama blanca (*Piaractus brachypomus*) en etapa de levante, por un período de 72 horas, de manera que permita establecer límites para posteriores estudios de CL<sub>50</sub>.

## MATERIALES Y MÉTODOS

El experimento se desarrolló en el Laboratorio de Acuicultura de la Universidad de Nariño, ubicada al noroeste de la ciudad de San Juan de Pasto, Colombia, con latitud 0,1°09'16" norte y longitud 77°08'25" oeste, altura de 2.510 msnm, temperatura ambiental promedio de 14°C, precipitación anual de 1180 mm y humedad relativa de 75%.

Se utilizó 90 ejemplares de cachama blanca (*Piaractus brachypomus*) con un peso promedio de 28,42±0,45 g, material biológico proveniente del Centro Experimental Amazónico (CEA), localizado en el municipio de Mocoa, departamento del Putumayo, Colombia. La utilización de estos animales

para el experimento cuenta con aval del Comité de Ética de la Universidad de Nariño, al entender que se trata de determinar los efectos del uso de detergentes sobre el medio acuático y los peces, que permitirán tomar medidas tendientes a preservar muchas especies acuáticas.

El ensayo se realizó durante un período de exposición de 72 horas, usando nueve acuarios de 1 m de largo, 0,36 m de ancho y 0,40 m de profundidad, construidos en vidrio de 5 mm de espesor, provistos de termostatos para el control de la temperatura y aireación constante con sistema semi-estático, con el fin de asegurar condiciones homogéneas en

todas las unidades experimentales. Los acuarios fueron llenados dejando un borde libre de 15 cm, previo el lavado y desinfección, para luego dejarlos madurar durante tres días.

Durante la etapa experimental se mantuvo iluminación artificial en período de 11 horas, se efectuó un recambio diario del 50% del agua de los acuarios (agua + sustancia experimental) mediante sifoneo de fondo, con observación permanente sobre la evolución de los animales en cuanto a supervivencia; adicionalmente se midió temperatura, oxígeno disuelto y pH del agua, tres veces al día, con un equipo digital multiparámetro (YSI-556-MPS).

Los animales fueron aclimatados durante seis horas, antes de ser distribuidos aleatoriamente en los acuarios. Durante el período experimental se suministró alimento balanceado con 45% de proteína, tres veces al día, en proporción del 10% de la biomasa.

Se evaluaron tres tratamientos con tres réplicas cada uno, consistentes en diferentes concentraciones de detergente a base de sulfonato de alquilbenceno de cadena lineal (LAS) distribuidos en un diseño completamente al azar. Cada unidad experimental estuvo conformada por 10 animales, en un acuario con 130 L de agua. Los tratamientos fueron asignados de la siguiente manera: T1 control sin la adición de detergente, T2 tratamiento con 1,1 g de detergente por litro de

agua (total 143 g), T3 tratamiento con 2,2 g de detergente por litro de agua (total 286 g).

Con el fin de determinar la existencia de diferencias significativas, se realizó una prueba de Brand-Snedecor para la variable supervivencia, basada en una prueba de Ji-cuadrado ( $\chi^2$ ), con  $\alpha=0,05$ , representado por el siguiente modelo como estadístico de prueba:

$$\chi^2 = \frac{[\sum a_i \cdot p_i] - [p \cdot \sum a_i]}{pq}$$

Donde:

$a_i$  = número de éxitos (supervivientes) por tratamiento.

$p_i$  = probabilidad de éxito en cada tratamiento.

$p$  = probabilidad de éxito en todo el experimento.

$q$  = probabilidad de fracaso en todo el experimento ( $1-p$ )

Se realizó un análisis de varianza (ANOVA) de una vía, para comparar las variables de calidad del agua en los diferentes tratamientos, con  $\alpha = 0,05$ . En los casos en los cuales el ANOVA indicó diferencias significativas, se aplicó la prueba de comparación múltiple de Duncan, al considerarse un diseño parcialmente balanceado.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Supervivencia

El experimento mostró como resultado una supervivencia del 100% en el tratamiento T1, el cual no recibió adición de detergente en el agua; se presentó mortalidad total a las 48 horas en el tratamiento T3, que tuvo una adición de 2,2 g de detergente por litro de agua, mientras que la supervivencia fue intermedia (53,33%) con una dosis de detergente de 1,1 g/L de agua en el tratamiento T2, resultando diferencias significativas en la proporción de supervivientes, entre todos los

tratamientos, cuando se aplicó la prueba de Brand-Snedecor.

Se puede observar que mientras la dosis de detergente aumenta, la mortalidad se incrementa en la misma proporción lineal, siendo letal cuando la concentración supera los dos gramos de detergente diluido. Estos valores de concentración de LAS pueden servir de guía para establecer el modelo Logit en un estudio de  $CL_{50}$ .

Resultados relativos a la actividad biológica y el destino medioambiental de los tensoactivos aniónicos han sido evaluados recientemente, en cuanto a los parámetros

químicos y físicos y su efecto en las membranas celulares, la actividad de las enzimas y la unión de diversas proteínas<sup>[12]</sup>, especialmente respecto a la toxicidad crónica, sin que se hayan realizado estudios de toxicidad aguda en especies ícticas nativas de Colombia.

En un estudio para evaluar la toxicidad de un detergente industrial que contiene altos niveles de un tensoactivo aniónico (LAS), sobre camarones, se reportó que la variación de la mortalidad media observada de los organismos de prueba podía ser inducida por el efecto de los productos químicos; la ( $CL_{50}$ ) mostró diferencias significativas ( $p < 0,05$ ) tanto en agua dulce como salobre, indicando que la mortalidad aumentaba con el incremento de las concentraciones y la duración de la exposición<sup>[5]</sup>, como ha sido corroborado en el presente estudio.

El LAS causa graves daños a las branquias y otros órganos vitales de las especies acuáticas animales, que podrían resultar en la muerte; también puede perjudicar a organismos vivos mediante la desnaturalización de las proteínas, al despolarizar la membrana celular y propiciar el agotamiento de las reservas de glucógeno muscular<sup>[5]</sup>.

### Calidad del agua

La temperatura promedio del agua fue de  $28,183 \pm 0,073^\circ\text{C}$  para el T1,  $28,222 \pm 0,097^\circ\text{C}$  para el T2 y  $27,786 \pm 0,147^\circ\text{C}$  para el T3, valores que no mostraron diferencias significativas ( $p > 0,05$ ), según el ANOVA, garantizando un manejo homogéneo en cuanto a esta variable, sin que fuera ésta una fuente de variación para la supervivencia, por tener condiciones controladas.

Si bien la temperatura media fue relativamente baja al inicio del período experimental, lo cual es normal hasta lograr la estabilidad del sistema, ésta se incrementó a un nivel adecuado a las 24 horas, presentando un comportamiento similar en los tres tratamientos, dentro de un rango óptimo para la especie, según lo recomendado por Argumedo y Rojas<sup>[13, 8]</sup>.

El nivel de oxígeno disuelto, con un promedio de  $4,722 \pm 0,061$  mg/L en el T1,  $4,407 \pm 0,085$  mg/L en el T2 y  $4,261 \pm 0,206$  mg/L en el T3, mostró un comportamiento homogéneo a lo largo del experimento. El ANOVA indicó que las diferencias entre los tratamientos no son significativas ( $p > 0,05$ ), permitiendo inferir que no tuvo influencia sobre los resultados de supervivencia y no fue una consecuencia de los niveles de detergente, en contradicción con lo esperado, por lo que se requiere un estudio con mayor detalle. Aunque la concentración de oxígeno disuelto en el agua cayó a las 36 y 72 horas en el T2, se encontró dentro del rango exigido para la especie, según Argumedo y Rojas<sup>[13]</sup>.

En cuanto al pH, el promedio por tratamiento fue de  $6,753 \pm 0,017$  en el T1, estable y con tendencia ácida, de  $7,13 \pm 0,059$  en el T2 con tendencia básica y presencia de fluctuaciones cada 12 horas, y de  $7,438 \pm 0,19$  en el T3 en el que sólo se registra datos durante las primeras 12 horas, ya que la totalidad de animales murió en este lapso de tiempo. La tendencia de esta variable durante el período experimental se muestra en la Figura 1.

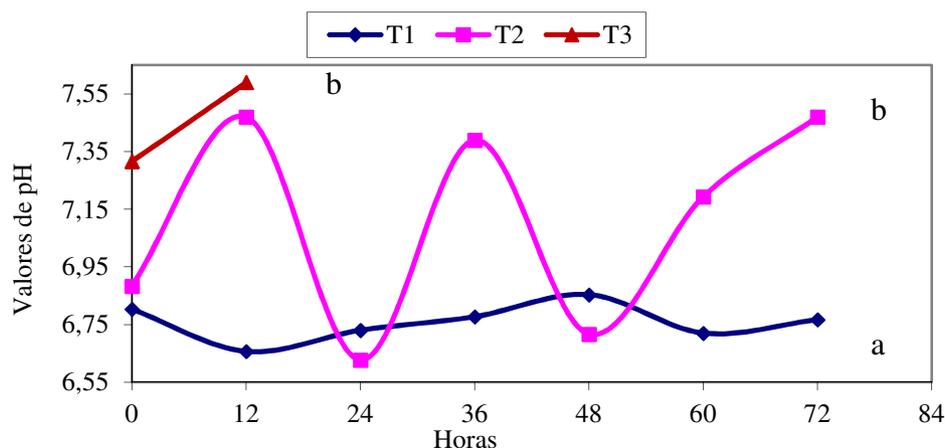
El ANOVA indicó la presencia de diferencias significativas ( $p < 0,05$ ) entre los tratamientos, referente al pH del agua, las cuales no fueron significativas ( $p > 0,05$ ) entre T2 y T3 (que tuvieron adición de detergente), sin embargo, fueron significativas ( $p < 0,05$ ) entre estos dos y el T1 (sin adición de detergente), según la prueba de comparación múltiple de Duncan.

El hecho que los tratamientos T2 y T3 presenten promedios de pH similares, muestra claramente que la contaminación con detergentes altera la estabilidad del medio acuático al incrementar el pH, induciendo dificultades para el metabolismo de los peces, ocasionando la muerte. Se requiere un estudio más detallado para establecer una relación de dependencia entre la concentración de surfactante y el pH del agua.

El papel de los surfactantes aniónicos en el ambiente es ambiguo: pueden causar seria contaminación ambiental con efectos tóxicos sobre los organismos vivos; por otra parte

pueden propiciar la descomposición y/o remoción de otros contaminantes orgánicos e inorgánicos, del medio ambiente; la relación entre su estructura química, parámetros físico químicos, actividad biológica e impacto ambiental no están bien estudiados; con certeza, debido a las cantidades de surfactantes

aniónicos que reciben los cuerpos de agua, se ven afectados los ciclos de vida de los animales acuáticos<sup>[14]</sup>, así que las mortalidades que se observan pueden ser inducidas por este tipo de contaminantes<sup>[15]</sup>, lo cual puede ser causado por cambios severos en el pH del agua.



**Figura 1. Comportamiento del pH, durante el período experimental.** (Letras diferentes indican la existencia de diferencias significativas).

## CONCLUSIONES

El concepto generalizado acerca de la degradación que sufren los detergentes modernos han llevado a pensar que no son un peligro para el medio ambiente acuático, sin embargo, el presente ensayo muestra resultados preliminares que indican toxicidad aguda para los peces, cuando está presente en concentraciones de 1,1 mg/L o mayores, causada especialmente por contenidos de surfactantes aniónicos, posiblemente por cambios severos

en el pH, alterando las funciones fisiológicas.

Se requiere realizar estudios detallados de CL<sub>50</sub> e histopatología de tejidos en *Piaractus brachypomus* y otras especies ícticas nativas de los ríos Colombianos, en diferentes estadios de vida, así como el comportamiento del pH en el agua, a dosis de LAS máximas de 2,2 mg/L.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO). El estado mundial de la pesca y la acuicultura 2012. Roma: FAO, Departamento de Pesca y Acuicultura; 2012. Consultado el [22 de julio de 2013]. Disponible en Internet: <http://www.fao.org/docrep/016/i2727s/i2727s.pdf>
- [2] Bailón-Moreno R. Ingeniería del conocimiento y vigilancia tecnológica aplicada a la investigación en el campo de los tensoactivos: Desarrollo de un modelo científico unificado. [Tesis doctoral]. Granada [España]: Universidad de Granada, Departamento de Ingeniería Química; 2003.
- [3] Leite M. Estudio del comportamiento ambiental del sulfonato de alquilbenceno lineal (LAS) en una parcela agrícola de la Vega de Granada. [Tesis doctoral]. Granada [España]: Universidad de Granada; 2007.

- [4] Lewis MA. Chronic and sublethal toxicities of surfactants to aquatic animals: a review and risk assessment. *Wat. Res.* 1991; 25(1): 101-113.
- [5] BKH Consulting Engineers. The use of existing data for estimation of the maximum tolerable environmental concentration of LAS, Part I: main report. Delft [Netherlands]; 1993.
- [6] Verge C, Moreno A, Bravo J, Berna JL. Influence of water hardness on the bioavailability and toxicity of linear alkylbenzene sulphonate (LAS). *Chemosphere.* 2001; (44): 1749–1757.
- [7] Bakirel T, Keles O, Karatas S, Özcan M, Türkmen G, Candan A. Effect of linear alkylbenzene sulphonate (LAS) on non-specific defense mechanisms in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Aquatic Toxicology.* 2005; (71): 175-181.
- [8] Scott MJ, Jones MN. The biodegradation of surfactants in the environment. *Biochim. Biophys.* 2000; Acta 15: 235–251.
- [9] FAO-INCODER. Diagnóstico del estado actual de la acuicultura en Colombia [versión para página web]. Bogotá: Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, Plan Nacional de Desarrollo de la Acuicultura Sostenible en Colombia; 2011. Consultado el [12 de octubre de 2013]. Disponible en Internet: [http://www.ceniagua.org/archivos/Diagnostico\\_para\\_revisio\\_n\\_Dic\\_5\\_2011\\_v1.pdf](http://www.ceniagua.org/archivos/Diagnostico_para_revisio_n_Dic_5_2011_v1.pdf).
- [10] Vásquez-Torres W. Retrospectiva del cultivo de las cachamas en Colombia. En: II Congreso nacional de acuicultura. Villavicencio, Colombia: Universidad de los Llanos; 2004. p. 71-73.
- [11] Corporación Colombia Internacional (CCI). Encuesta nacional piscícola 2012A: Informe de resultados. [en línea]. Bogotá: Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, Servicio de Información Agropecuaria; 2012. Consultado el [13 de octubre de 2013]. Disponible en Internet: <http://acac.org.co/BOLETINES/boletinoviembre83/pdf83/INFORME%20ENCUESTA%20PISCICOLA%202012.pdf>
- [12] Filipe JM. Quando as moléculas se auto-organizam: Micelas e outras estruturas supramoleculares. Em: *Coloquio Ciências* No. 18, Fundação Calouste Gulbenkian; 1996.
- [13] Argumedo G, Rojas H. Manual de piscicultura con especies nativas. Florencia [Colombia]: Asociación de acuicultores del Caquetá (ACUICA); s.f.
- [14] Cserhá T, Forgács E, Oros G. Biological activity and environmental impact of anionic surfactants. *Environment International.* 2002; (28): 337– 348.
- [15] Ezemonye LI, Ogeleka DF, Okieimen FE. Lethal toxicity of industrial detergent on bottom dwelling sentinels. *International Journal of Sediment Research.* 2009; (24): 479-483.