



<https://doi.org/10.15517/rev.biol.trop.2022.50167>

El mejillón *Semimytilus patagonicus* (Mytilida: Mytilidae) y el gusano *Pseudonereis gallapagensis* (Phyllodocida: Nereididae) como herramientas ecotoxicológica para la contaminación por detergentes en ambientes marinos

Fabiola Marilyn Príncipe-Morillo¹; <https://orcid.org/0000-0002-3780-9423>

David Minaya-Angoma¹; <https://orcid.org/0000-0002-9085-5357>

Lorena Alvarino-Flores¹; <https://orcid.org/0000-0003-1544-511X>

José Iannacone-Oliver^{1,2,3*}; <https://orcid.org/0000-0003-3699-4732>

Amparo Rodríguez-Santiago^{4,5}; <https://orcid.org/0000-0003-0616-237X>

1. Laboratorio de Ecología y Biodiversidad Animal (LEBA), Facultad de Ciencias Naturales y Matemática, Grupo de Investigación en Sostenibilidad Ambiental (GISA), Escuela Universitaria de Posgrado, Universidad Nacional Federico Villarreal, El Agustino, Lima, Perú; malo.garcia.alcalde@gmail.com, da.minaya.a@gmail.com, lorenaalvarino@gmail.com, joseiannacone@gmail.com (*Correspondencia)
2. Laboratorio de Ingeniería Ambiental, Facultad de Ciencias Ambientales, COEPERU-Coastal Ecosystems of Peru Research Group, Universidad Científica del Sur, Villa El Salvador, Lima, Perú.
3. Laboratorio de Parasitología, Facultad de Ciencias Biológicas, Grupo de Investigación “One Health”, Universidad Ricardo Palma, Lima, Perú.
4. Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT), Ciudad de México, México; amparoshalom@hotmail.com
5. Laboratorio de Parasitología, Centro de Investigaciones en Ciencias Ambientales, Facultad de Ciencias Naturales, Universidad Autónoma del Carmen, Campeche, México.

Recibido 19-II-2022. Corregido 31-VII-2022. Aceptado 09-IX-2022.

ABSTRACT

The mussel *Semimytilus patagonicus* (Mytilida: Mytilidae) and the worm *Pseudonereis gallapagensis* (Phyllodocida: Nereididae) as ecotoxicological tools for detergent pollution in marine environments

Introduction: The bivalve *Semimytilus patagonicus* is a potentially useful bioindicator because of its feeding mechanism, and the worm *Pseudonereis gallapagensis* is also interesting as a bioindicator because it is benthonic, abundant, and a food source for the squid *Doryteuthis gahi*. However, their sensitivity to contaminants has not been sufficiently studied.

Objective: To test the usefulness of the mussel *Semimytilus patagonicus* and the polychaete *Pseudonereis gallapagensis* as ecotoxicological tools for detergents in the marine environment.

Methods: We used 120 individuals of *S. patagonicus* from Miraflores and 120 of *P. gallapagensis* from Barranco (both near the city of Lima, Peru). For the bioassays, we used two anionic detergents (active ingredient, ai, Sodium Dodecylbenzene Sulfonate). For *S. patagonicus*, with an average valve length of 32.3 ± 6.4 mm, we tested “Double power Ariel®” (90 %) at concentrations of 17.5, 35, 70 and 140 mg ai l⁻¹, evaluated after 48 and 72 h of exposure; and for *P. gallapagensis*, with a total body length of 20.4 ± 8.8 mm, we tested “Caricia®” at 62.5, 125, 250, 500 and 1 000 mg of ai l⁻¹ at 24, 48 and 72 h of exposure.

Results: The LC₅₀ values (Mean Lethal Concentration) were 34.95 mg ai l⁻¹ for *S. patagonicus* and 102.48 mg ai l⁻¹ for *P. gallapagensis* at 72 h of exposure. The detergents were toxic for *S. patagonicus* and slightly toxic for *P. gallapagensis*. The risk classification for *S. patagonicus* is “harmful” and for *P. gallapagensis* “not classifiable”.

Conclusions: These two bioindicators allow evaluating the acute toxicity of SDBS-based commercial detergents in the marine aquatic environment.

Key words: acute toxicity; LC₅₀; mortality; mussels; polychaete.

INTRODUCCIÓN

La contaminación de los ecosistemas acuáticos es constante y muchas de las sustancias más comunes que son vertidas a este medio son derivadas de la actividad humana (Dellafreda & Iannacone, 2021; Gunnarsson & Castillo, 2018; MINAM, 2016; Parada-Surubi & Iquize-Villca, 2020).

En los ecosistemas marinos, uno de los contaminantes de origen orgánico de mayor impacto en el mundo son los detergentes domésticos de uso cotidiano (Kogawa et al., 2017; Sobrino-Figueroa et al., 2020; Uzma et al., 2018), y su origen en el medio acuático es principalmente por las descargas de aguas residuales no tratadas de tipo industrial, agrícola o doméstico (Mousavi & Khodadoost, 2019; Sobrino-Figueroa, 2015; Sobrino-Figueroa, 2018).

Los detergentes domésticos tienen una estructura química muy compleja, formado por un agente surfactante que puede ser aniónico o catiónico; además contienen aditivos como suavizantes, agentes blanqueadores, conservantes, etc. (Rebello et al., 2013). Los detergentes son moléculas sintéticas compuestas, y químicamente pertenecen mayormente a cinco grupos de sustancias: tensioactivos, rellenos, enzimas, mejoradores y agentes blanqueadores. Además, estos detergentes tienen aditivos, por ejemplo, agentes secuestrantes orgánicos, blanqueadores ópticos, agentes azuladores, reguladores de espuma y agentes antideposición (Uzma et al., 2018). Uno de estos tipos de detergentes, los aniónicos LAS, se usan comúnmente en productos de limpieza y en polvo para ropa, los cuales contiene entre 3-22 % de este agente tensioactivo (HERA, 2012); sin embargo, causan una interacción nociva con el medio ambiente (Kundu et al., 2015).

Los detergentes provocan diversos impactos en el ambiente como eutrofización, y

problemas de espuma en cuerpos de agua superficiales, lagos y océanos, lo que ocasiona una interferencia en la mezcla de oxígeno atmosférico con el agua (Polat & Akkan, 2016), e impactos negativos a los organismos acuáticos (Mousavi & Khodadoost, 2019; Nkpondion et al., 2016; Sobrino-Figueroa, 2018).

Los efectos de las sustancias potencialmente tóxicas como los detergentes en los ambientes acuáticos son determinados mediante el uso de bioensayos de toxicidad que pueden ser letales y subletales, los cuales se dan en condiciones controladas de laboratorio, además el uso de organismos modelo tienen características importantes para ser considerados modelos puesto que dichos organismos muestran amplia distribución y son susceptibles a los tóxicos (Caja-Molina & Iannacone, 2021; Kizek et al., 2017; Mousavi & Khodadoost, 2019; Tato & Beiras, 2019). Según Sobrino-Figueroa (2018) el riesgo ecológico es comúnmente juzgado en base al impacto que tiene sobre la comunidad de poblaciones u organismos, así como en los valores finales y la concentración letal media (CL₅₀), que se calculan a partir de pruebas ecotoxicológicas.

Dentro de las comunidades marinas, los moluscos y poliquetos cumplen un rol a nivel trófico de importancia dentro del dinamismo de los ecosistemas, además de ser considerados como una herramienta biológica importante de evaluación en los ensayos con sustancias contaminantes o perturbadoras (Rodríguez & Mesa, 2015; Uc-Peraza & Delgado-Blas, 2012).

Semimytilus patagonicus (Gould, 1850) (Mytilidae) es un molusco, que se localiza en la zona intermareal inferior de la costa del Pacífico de América del Sur (Zeeman et al., 2020), este bivalvo es importante desde el punto de vista ecológico, debido que son filtradores que pueden absorber ciertas sustancias nocivas en su organismo (Gomez et al., 2021; de la Torre et al., 2020), y pueden

jugar un papel importante en la estructura de la comunidad como bioingenieros y como presas para otras especies depredadoras (Brante et al., 2019). Asimismo, *Pseudonereis gallapagensis* (Lamarck, 1818) (Nereididae) es un gusano con comportamiento bentónico, abundante y es considerado un bioindicador de calidad ambiental marina (Rodríguez & Mesa, 2015; Tasso et al., 2018; Villalobos-Guerrero & Idris, 2020; Villalobos-Guerrero & Tovar-Hernández, 2013) y puede formar parte de la dieta de los cefalópodos como el calamar común *Doryteuthis gahi* (d'Orbigny, 1835) (Carrasco et al., 2021; Cisneros, 2019).

En Perú los estudios relacionados con detergentes comerciales en diferentes organismos son antiguos, escasos y sus efectos tóxicos solo se han evaluado en pocas especies acuáticas (Álvarez et al., 1999; Iannaccone & Alvarino, 2002). Debido a los escasos de investigaciones relacionadas a detergentes comerciales y el uso de especies nativas como bioindicador, el presente estudio tiene por objetivo principal emplear a *S. patagonicus* y *P. gallapagensis* como herramientas ecotoxicológicas para evaluar detergentes comerciales en el ambiente marino.

MATERIALES Y MÉTODOS

Recolecta de material biológico: se obtuvieron individuos del bivalvo *S. patagonicus* de la playa Punta Roquitas, Miraflores, Lima (12°07'26" S & 77°02'29" W) y del poliqueto *P. gallapagensis* de la playa Los Yuyos, Barranco, Lima (12°09'07" S & 77°01'32" W), Perú (Fig. 1). La extracción de *S. patagonicus* y *P. gallapagensis* se hizo con una espátula de plástico para no dañar a los ejemplares, y se depositaron en envases de 1 l con agua mar del lugar de recolecta para evitar el estrés de los organismos. Posteriormente, el material biológico fue trasladado al Laboratorio de Ecología y Biodiversidad Animal (LEBA), Universidad Nacional Federico Villarreal, Lima, Perú para su aclimatación por siete días previos al bioensayo.

Aclimatación: se seleccionaron organismos en óptimas condiciones (sin fragmentación, con movimiento, valvas en buen estado). Posteriormente se colocaron en envases plásticos de 1 l con agua de mar, sedimento del sitio de muestreo y un sistema de aireación continua por siete días. Durante la aclimatación se les

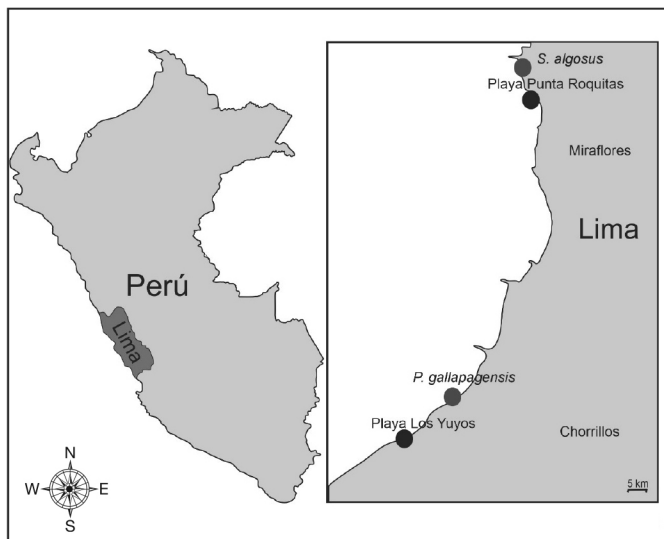


Fig. 1. Puntos de recolecta de los organismos evaluados: Playa Punta Roquitas-Miraflores (*Semimitylus patagonicus*) y playa Los Yuyos-Chorrillos (*Pseudonereis gallapagensis*). / **Fig. 1.** Colectin points of the evaluated organisms: Punta Roquita beach- Miraflores (*Semimitylus patagonicus*) and Los Yuyos beach- Chorrillos (*Pseudonereis gallapagensis*).

proporcionó alimento a base de microalgas *Nannochloropsis* sp. a *S. patagonicus*, y alimento para peces a *P. gallapagensis* a 19 a 22 °C (Herrera-Perez & Méndez, 2019a; Herrera-Perez & Méndez, 2019b).

Preparación de detergentes: los detergentes comerciales utilizados en el estudio se compraron en un mercado local. Para los bioensayos se usaron dos marcas de detergentes Ariel Doble Poder® (90 %) y Caricia® (80 %), ambos detergentes presentan como ingrediente activo (ia) al compuesto Dodecibencen Sulfonato de Sodio (SDBS), número CAS: 25155-30-0, donde la única diferencia radica en que Ariel Doble Poder® tiene una concentración del 90 % del compuesto activo, mientras que el detergente Caricia® presenta una concentración del ingrediente activo (SDBS) (80 %). En ambos ensayos se evaluaron pruebas de toxicidad aguda, es decir se determinó la mortalidad en cada tiempo de evaluación de cada bioensayo.

Bioensayos: Las condiciones físico-químicas del bioensayo para ambas especies fue pH 8.0 ± 0.2 , temperatura de 17 a 18 °C, y fotoperiodo 12 L:12 O.

***Semimitylus patagonicus*:** se seleccionaron 120 individuos de *S. patagonicus* con una longitud valvar promedio de 3.23 ± 0.64 cm, los cuales fueron limpiados, quitando así, cualquier rastro de epibiontes para no alterar los resultados del experimento. El detergente usado para el ensayo fue Ariel Doble Poder® (90 %). A partir de la solución madre con una concentración de $280 \text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$, se obtuvieron concentraciones a un factor de dilución de 0.5 de 17.5, 35, 70 y $140 \text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$ para el ensayo. Para cada concentración se prepararon cuatro réplicas en envases de 1 l con 750 ml de las concentraciones del detergente. Asimismo, se colocaron cuatro envases como control. Fueron colocados en cada envase cinco individuos. Las lecturas de mortalidad se realizaron a las 48 y 72 h de exposición. Para este ensayo se utilizaron tres variables para determinar la mortalidad de *S. patagonicus*: 1) formación de biso

el cual genera adherencia al fondo del envase; 2) movimiento de las valvas al ser extraídos o al movimiento, y finalmente 3) movimiento del pie. De estas tres variables se estandarizó que por lo menos se presentaran dos de tres para considerarlas como vivos (Iannacone & Alvariño, 2002).

***Pseudonereis gallapagensis*:** se emplearon un total de 120 individuos con una longitud total de 20.4 ± 8.8 mm. Se usó el detergente en polvo (marca Caricia®), con el cual se obtuvo una solución madre de $3\,000 \text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$ de agua de mar. A partir de esta solución madre se obtuvieron concentraciones a un factor de dilución de 0.5 de 62.5, 125, 250, 500 y $1\,000 \text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$ para los tratamientos en el ensayo. Se prepararon cinco tratamientos, cada uno con cuatro réplicas, además se incluyó un control con cuatro réplicas para determinar la efectividad del ensayo. Se colocaron 750 ml de cada concentración preparada para cada tratamiento en envases de plástico de 1 l de capacidad. Posteriormente se agregaron cinco organismos de *P. gallapagensis* por cada unidad experimental. Las lecturas de mortalidad se realizaron a las 24 h, 48 h y 72 h de exposición. Se consideraron organismos muertos a individuos con pigmentación pálida, cuerpo hinchado y sin movimiento.

Análisis de datos: La data obtenida en cada bioensayo con cada detergente se depositó en una base de datos de Microsoft Excel 2020. Posteriormente la data se analizó con el programa estadístico SPSS (IBM Corp., 2016), se realizó la prueba de Shapiro-Wilk para determinar si la distribución de los datos es normal y con la prueba de homogeneidad de varianzas de Levene. En el caso de cumplir con los requerimientos paramétricos se empleó el ANOVA (F). Para determinar diferencias entre tratamientos y entre repeticiones se realizó la prueba de Tukey de comparación múltiple ($\alpha = 0.05$), a partir del cual se obtuvieron los valores NOEC (Concentración más alta de efectos no observados), LOEC (Concentración más baja de efectos observados). Se calculó la CL_{50} (Concentración Letal media) a partir de los datos de supervivencia de cada bioensayo, para



el cual se usó el método Probit, calculado por medio de una plantilla de Excel generado de forma libre por Raj (2016).

Toxicidad basada en unidades de toxicidad (UT): se siguió el protocolo de la Norma Mexicana (2010) y de Uc-Peraza y Delgado-Blas (2012) para calcular las unidades de toxicidad aguda (UT) en detergentes, el cual se determina a partir de la CL_{50} , con la siguiente fórmula: $UT = (1/CL_{50}) \times 100$. La clasificación del grado de ecotoxicidad de los detergentes se muestra en la Tabla 1.

TABLA 1

Clasificación de la ecotoxicidad basada en unidades de toxicidad (UT) según el el protocolo de la Norma Mexicana (2010) y de Uc-Peraza & Delgado-Blas (2012)

Clasificación	Unidades de Toxicidad (UT)
Muy tóxico	> 4
Tóxico	2 - 4
Moderadamente tóxico	1.33 - 1.99
Ligeramente tóxico	< 1.33

Definición de puntaje de peligro: se evaluaron las puntuaciones de peligro de los detergentes estudiados de acuerdo con el reglamento 1907/2007/CE). Los productos químicos se clasificaron en cuatro clases (Tabla 2).

RESULTADOS

Los valores toxicidad aguda en $mg \cdot l^{-1}$ con base a la CL_{50} , CL_{50} (límite de confianza inferior al 95 %), CL_{50} (límite de confianza superior al 95 %), NOEC y LOEC del detergente SDBS sobre el molusco *S. patagonicus* y el poliqueto *P. gallapagensis* se encuentran en la Tabla 3 y Tabla 4. A 48 h de exposición al detergente SDBS, *S. patagonicus* fue 6.2 veces más tóxico en comparación a *P. gallapagensis*. A 72 h de exposición, *S. patagonicus* fue 2.9 veces más tóxico al detergente SDBS

TABLA 2

Clasificación de riesgo y de puntuación del peligro para los detergentes DBSS en base a los valores CL_{50} según el reglamento 1907/2007/CE

TABLE 2

Hazard score risk and classification for DBSS detergents based on LC_{50} values according to regulation 1907/2007/EC

CL_{50} ($mg \cdot l^{-1}$)	Clasificación del riesgo	puntuación del peligro
$CL_{50} < 1$	Muy tóxico para los organismos acuáticos	1
$1 < CL_{50} < 10$	tóxico para los organismos acuáticos	2
$11 < CL_{50} < 100$	Nocivo para los organismos acuáticos	3
$CL_{50} > 100$	No clasificable	4

que *P. gallapagensis* (Tabla 3 y Tabla 4). *P. gallapagensis* presentó mayores valores de NOEC y LOEC a 48 y 72 h de exposición que *S. patagonicus*. Las catalogaciones ecotoxicológicas de los detergentes en base a las unidades tóxicas (UT) a 72 h de exposición, fue calificado como tóxico para *S. patagonicus* y ligeramente tóxico para *P. gallapagensis*. La clasificación del riesgo para los detergentes para *S. patagonicus* y para *P. gallapagensis* a 72 h de exposición fue calificado como nocivo para los organismos acuáticos y no clasificable, respectivamente (Tabla 3 y Tabla 4).

DISCUSIÓN

Una de las sustancias xenobióticas que más afectan la calidad del agua son los detergentes (Kenconojeti et al., 2020). En el Perú no se han realizado bioensayos de toxicidad con detergentes con las especies *S. patagonicus* y *P. gallapagensis*.

Semimytilus patagonicus a 48 h y 72 h de exposición en base a la CL_{50} a base del SDBS presentó valores entre $34.95 mg \cdot L^{-1}$ a $61.98 mg \cdot l^{-1}$. Se han realizado varios estudios de campo relacionados con esta familia Mytilidae, a la que pertenece *S. patagonicus*. Especies de la familia Mytilidae son ampliamente utilizadas como bioindicadoras en numerosos

TABLA 3
 Toxicidad del detergente a base a Dodecilbenceno Sulfonato de Sodio (SDBS) sobre *Semimytilus patagonicus*
 a 48 h y 72 h de exposición en base a la CL_{50} , NOEC y LOEC

TABLE 3
 Toxicity of the detergent based on Sodium Dodecylbenzene Sulfonate (SDBS) on *Semimytilus patagonicus*
 at 48 h and 72 h of exposure based on LC_{50} , NOEC and LOEC

Concentración del SDBS ($mg \cdot l^{-1}$)	48 h	72 h
0	0a	0a
17.5	30ab	33.33b
35	35b	61.11b
70	60c	72.22b
140	65c	94.44c
280	70c	88.89c
CL_{50}	61.98	34.95
CL_{50} (límite de confianza inferior al 95 %)	26.10	16.99
CL_{50} (límite de confianza superior al 95 %)	147.22	70.02
NOEC	17.5	< 17.5
LOEC	35	17.5
Shapiro-Wilk	0.72	0.50
Levene	0.35	0.75
Clasificación con base a las Unidades de Toxicidad (UT)	1.61	2.86
Clasificación según Norma Mexicana (2010) y de Uc-Peraza & Delgado-Blas (2012)	Moderadamente tóxico	Tóxico
Clasificación del riesgo según el reglamento 1907/2007/CE	Nocivo para los organismos acuáticos	Nocivo para los organismos acuáticos
Puntuación del peligro según el reglamento 1907/2007/CE	3	3

*Letras minúsculas iguales en una misma columna según la prueba de Tukey indican que los promedios son estadísticamente igual ($P > 0.05$); (CL_{50}) Concentración letal media; (NOEC) Concentración máxima hasta donde no se observan efectos negativos respecto al control; (LOEC) Concentración mínima donde se observan efectos negativos respecto al control; (Shapiro-Wilk) Valor de significancia para la prueba normalidad ($P > 0.05$); (Levene) Valor de significancia para la prueba de homogeneidad de varianzas ($P > 0.05$). / *Equal lowercase letters in the same column according to Tukey's test indicate that the means are statistically equal ($P > 0.05$); (LC_{50}) Median lethal concentration; (NOEC) Maximum concentration up to which no negative effects are observed with respect to the control; (LOEC) Minimum concentration where negative effects are observed with respect to the control; (Shapiro-Wilk) Significance value for the normality test ($P > 0.05$); (Levene) Significance value for the variance homogeneity test ($P > 0.05$).

trabajos sobre los efectos de los xenobióticos en biomarcadores de estrés debido a su fisiología que es conocida (Swiacka et al., 2019). Otra ventaja de Mytilidae es su amplia distribución geográfica. Las especies pertenecientes a esta familia como *S. patagonicus* se pueden encontrar en las zonas costeras de casi todos los continentes y sus poblaciones locales suelen ser grandes y estables. Como resultado, los estudios que involucran a este grupo pueden llevarse a cabo en diferentes partes del mundo y pueden ser repetitivos (Swiacka et al., 2019).

Otros estudios muestran que la familia Mytilidae, es muy usada para evaluar compuestos fenólicos de especial preocupación ambiental y para la salud humana utilizados en plásticos y productos para el hogar como bisfenol A (BPA), triclosán (TCS) y 4-nilfenol (4-NP) (Tato et al., 2018). Al comparar los resultados de *S. patagonicus* con Iannacone y Alvaríño (2002) se observó valores similares a la CL_{50} a 48 h de tres especies de caracoles dulceacuícolas, $> 225 \text{ mg} \cdot l^{-1}$ para *Melanoides tuberculata*,



TABLA 4
Toxicidad del detergente a base a Dodecilbencen Sulfonato de Sodio (SDBS) sobre *Pseudonereis gallapagensis* a 24 h, 48 h y 72 h de exposición en base a la CL₅₀, NOEC y LOEC

TABLE 4
Toxicity of the detergent based on Sodium Dodecylbenzene Sulfonate (SDBS) on *Pseudonereis gallapagensis* at 24 h, 48 h and 72 h of exposure based on LC₅₀, NOEC and LOEC

Concentración del SDBS (mg·l ⁻¹)	24h	48h	72h
0	0a	0a	0a
62.5	0a	5a	25b
125	10 ^a	20b	55c
250	30b	45c	75d
500	40bc	65d	80d
1 000	55c	70d	85d
CL ₅₀	744.45	384.38	102.48
CL ₅₀ (límite de confianza inferior al 95 %)	401.54	235.98	49.32
CL ₅₀ (límite de confianza superior al 95 %)	1 380.20	626.10	212.92
NOEC	125	62.5	< 62.5
LOEC	250	125	62.5
Shapiro – Wilk	0.06	0.06	0.09
Levene	0.07	0.10	0.08
Clasificación con base a las Unidades de Toxicidad (UT)	0.13	0.26	0.97
Clasificación según Norma Mexicana (2010) y de Uc-Peraza & Delgado-Blas (2012)	Ligeramente tóxico	Ligeramente tóxico	Ligeramente tóxico
Clasificación del riesgo según el reglamento 1907/2007/CE	No clasificable	No clasificable	No clasificable
Puntuación del peligro según el reglamento 1907/2007/CE	4	4	4

*(ND) No determinado; letras minúsculas iguales en una misma columna según la prueba de Tukey indican que los promedios son estadísticamente igual ($P > 0.05$); (CL₅₀) Concentración letal media; (NOEC) Concentración máxima hasta donde no se observan efectos negativos respecto al control; (LOEC) Concentración mínima donde se observan efectos negativos respecto al control; (Shapiro -Wilk) Valor de significancia para la prueba normalidad ($P > 0.05$); (Levene) Valor de significancia para la prueba de homogeneidad de varianzas ($P > 0.05$). / *(ND) Not determined; Equal lowercase letters in the same column according to Tukey's test indicate that the means are statistically equal ($P > 0.05$); (LC₅₀) Median lethal concentration; (NOEC) Maximum concentration up to which no negative effects are observed with respect to the control; (LOEC) Minimum concentration where negative effects are observed with respect to the control; (Shapiro-Wilk) Significance value for the normality test ($P > 0.05$); (Levene) Significance value for the variance homogeneity test ($P > 0.05$).

66.97 mg·l⁻¹ para *Physella venustula* y 63.76 mg·l⁻¹ para *Heleobia cumingii*.

La literatura muestra pocas especies de poliquetos en la que se han realizado estudios ecotoxicológicos con detergentes como *Sabellaria spinulosa*, *Ophryotrocha labronica* y *Capitella capitata* (Fang et al., 2018; Reish, 1997). Para *P. gallapagensis* a 24 h, 48 h y 72 h de exposición se ha observado valores de CL₅₀ entre 102.48 mg·l⁻¹ a 744.45 mg·l⁻¹. Uc-Peraza y Delgado-Blas (2008) estudió a *Nereis oligohalina* con dos marcas diferentes de detergentes, encontrando al detergente (Ariel) con un valor

de CL₅₀ a 48 h de 550 mg·l⁻¹ y al detergente Foca® con 95 mg·l⁻¹. Uc-Peraza y Delgado-Blas (2012) informaron para *Laeonereis culveri* un valor de CL₅₀ a 48 h de exposición para los detergentes Foca (fórmula: 59.56 mg·l⁻¹; LAS: 12.88 mg·l⁻¹) > Blanca Nieves® (fórmula: 70.79 mg·L⁻¹; LAS: 13.03 mg·L⁻¹) > Roma® (fórmula: 89.12 mg·l⁻¹; LAS: 13.48 mg·l⁻¹) > Puro-Sol® (fórmula: 91.83 mg·l⁻¹; LAS: 14.12 mg·l⁻¹). De la misma manera, Uc-Peraza y Delgado-Blas (2015) registraron valores de CL₅₀ 48 h para *Capitella* sp. con tres marcas de detergentes que son Roma (22.38 mg·l⁻¹), Foca

(15.48 mg·l⁻¹) y Blanca nieves (19.05 mg·l⁻¹). De esta manera que los valores de CL₅₀ a 48 h de exposición para las especies registradas por los autores antes mencionados son más tóxicas en comparación a este estudio, por lo cual se infiere que *N. oligohalina*, *L. culveri* y *Capitella* sp., son sensibles a bajas concentraciones de los detergentes. *P. gallapagensis* mostró en general una menor sensibilidad en comparación a otras especies de poliquetos, siendo que en la presente investigación se usaron formas adultas, y lo más recomendado para los bioensayos son las formas larvales y más pequeñas (Reish, 1997).

La toxicidad de un surfactante en un detergente en estos dos organismos acuáticos marinos *S. patagonicus* y *P. gallapagensis* se ilustra mediante la interacción no específica entre el surfactante y la membrana celular. Esta interacción conduce a la alteración de la permeabilidad de la membrana celular de los dos invertebrados por lo que interrumpirá el funcionamiento de los órganos respiratorios. Además, el surfactante también causa daños graves en diversos órganos vitales, trastornos hematológicos, reproductivos, hormonales y enzimáticos (Kenconoajati et al., 2020; Santos et al., 2019).

La prohibición total de los tensioactivos es imposible con el estilo de vida modernizado que necesita tensioactivos en nuestros alimentos, cosméticos, limpiadores, etc. Por ende, el problema de la toxicidad de los detergentes en los ambientes marinos debe abordarse con prudencia en cada país. El empleo inteligente y limitado de los tensioactivos en el nivel doméstico podría reducir el impacto de la contaminación por tensioactivos. El uso de diversas estrategias integradas como las físicas, químicas y de biorremediación podría ayudar a disminuir la toxicidad de los tensioactivos antes de su eliminación en el ambiente (Rebello et al., 2013). El uso de otras especies animales, vegetales o microbianas; así como ensayos de toxicidad crónica ayudarán a comprender el efecto de los detergentes en el ecosistema acuático (Charchar et al., 2017).

Declaración de ética: los autores declaran que todos están de acuerdo con esta publicación

y que han hecho aportes que justifican su autoría; que no hay conflicto de interés de ningún tipo; y que han cumplido con todos los requisitos y procedimientos éticos y legales pertinentes. Todas las fuentes de financiamiento se detallan plena y claramente en la sección de agradecimientos. El respectivo documento legal firmado se encuentra en los archivos de la revista.

RESUMEN

Introducción: El bivalvo *Semimytilus patagonicus* es un bioindicador potencialmente útil por su mecanismo de alimentación, y el gusano *Pseudonereis gallapagensis* también es interesante como bioindicador por ser bentónico, abundante y fuente de alimento para el calamar *Doryteuthis gahi*. Sin embargo, su sensibilidad a los contaminantes no ha sido suficientemente estudiada.

Objetivo: Probar la utilidad del mejillón *S. patagonicus* y el poliqueto *P. gallapagensis* como herramientas ecotoxicológicas para detergentes en el medio marino.

Métodos: Se utilizaron 120 individuos de *S. patagonicus* de Miraflores y 120 de *P. gallapagensis* de Barranco (ambos cerca de la ciudad de Lima, Perú). Para los bioensayos se utilizaron dos detergentes aniónicos (ingrediente activo, ia, dodecilbenzeno sulfonato de sodio). Para *S. patagonicus*, con una longitud valver promedio de 32.3 ± 6.4 mm, probamos Ariel Doble Poder® (90 %) a concentraciones de 17.5, 35, 70 y 140 mg·ia·l⁻¹, evaluadas a las 48 y 72 h de exposición; y para *P. gallapagensis*, con una longitud corporal total de 20.4 ± 8.8 mm, probamos Caricia® a 62.5, 125, 250, 500 y 1 000 mg·ia·l⁻¹ a las 24, 48 y 72 h de exposición.

Resultados: Los valores de CL₅₀ (Concentración Letal Media) fueron de 34.95 mg·ia·l⁻¹ para *S. patagonicus* y 102.48 mg·ia·l⁻¹ para *P. gallapagensis* a las 72 h de exposición. Los detergentes fueron tóxicos para *S. patagonicus* y levemente tóxicos para *P. gallapagensis*. La clasificación de riesgo para *S. patagonicus* es “nocivo” y para *P. gallapagensis* “no clasificable”.

Conclusiones: Estos dos bioindicadores permiten evaluar la toxicidad aguda del detergente comercial a base de SDBS en el ambiente acuático marino.

Palabras clave: toxicidad aguda; CL₅₀; mortalidad; mejillón; poliqueto.

REFERENCIAS

- Álvarez, G., Medina, G., & Sanchez, G. (1999). Efecto del detergente biodegradable (Aquil Sulfonato de Sodio) en el consumo de oxígeno y tasa de filtración del bivalvo *Semimytilus algosus*. *Revista Peruana de Biología*, 6(1), 68–74.
- Brante, A., Riera, R., & Cartes, V. (2019). Post-settlement movement as response to interspecific competition between the bioengineer mussels *Semimytilus algosus*



- and *Perumytilus purpuratus*. *Journal of Sea Research*, 154(2019), 101809.
- Charchar, N., Bouchaala, L., Gherib, A., Aissaoui Azzeddine, A., & Houhamdi, M. (2017). Assessment of Oued Seybouse pollution by anionic surfactants and their ecotoxicological effects on the freshwater crustaceans case of *Daphnia magna*. *Research & Reviews: Journal of Ecology and Environmental Sciences*, 5(2), 36–45.
- Caja-Molina, A. V., & Iannacone, J. (2021). Evaluación del riesgo ambiental por petróleo crudo en las especies acuáticas *Lemna minor*, *Daphnia magna* y *Danio rerio*. *Revista de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales*, 45(176), 777–794.
- Carrasco, S. A., Bravo, M., Ibáñez, C. M., & Zapata-Hernández, G. (2021). Discrete spawning aggregations of the loliginid squid *Doryteuthis gahi* reveal life-history interactions of a dwarf morphotype at the center of its distribution range. *Frontiers in Marine Science*, 7(2021), 616116.
- Cisneros, R. (2019). Ecología trófica de *Octopus mimus* Gould, 1852; *Doryteuthis gahi* (d'Orbigny, 1835) y *Dosidicus gigas* (d'Orbigny, 1835) (Cephalopoda) durante 2016. *Boletín del Instituto del Mar del Perú*, 34(1), 165–197.
- Dellafredad, C., & Iannacone, J. (2021). Efecto ecotoxicológico de la mezcla de Aroclor 1254 y plomo en el bioindicador *Daphnia magna*. *Revista Lasallista de Investigación*, 18(2), 144–161.
- Fang, J., Samuelsen, O. B., Strand, Ø., & Jansen, H. (2018). Acute toxic effects of hydrogen peroxide, used for salmon lice treatment, on the survival of polychaetes *Capitella* sp. and *Ophryotrocha* spp. *Aquaculture Environment Interactions*, 10(2018), 363–368.
- Gomez, A., Gonzales, S., & Francia-Quiroz, J. C. (2021). Efecto de la temperatura y concentración de microplásticos en la tasa de filtración del mejillón *Semimytilus algosus* (Mytiloidea: Mytilidae). *Revista de Biología Tropical*, 69(4), 1242–1251.
- Gunnarson, J. S., & Castillo, L. E. (2018). Ecotoxicology in tropical regions. *Environmental Science and Pollution Research*, 25(14), 13203–13206.
- HERA (Human & Environmental Risk Assessment). (2012). *Human and environmental risk assessment on household cleaning products*. <http://www.hera-project.com/>
- Herrera-Perez, M., & Méndez, N. (2019a). Efecto del cadmio sobre la mortalidad de adultos de *Polydora* sp. (Polychaeta: Spionidae) en el laboratorio. *Revista de Biología Tropical*, 67(5), 110–118.
- Herrera-Perez, M., & Méndez, N. (2019b). Efecto de la temperatura y salinidad en la mortalidad de adultos de *Capitella* sp. (Polychaeta: Capitellidae) en el laboratorio. *Revista de Biología Tropical*, 67(5), 51–62.
- IBM Corp. (2016). IBM SPSS Statistics for Windows (Version 24.0). Armonk, NY: IBM Corp.
- Iannacone, J., & Alvariño, L. (2002). Efecto del detergente doméstico alquil aril sulfonato de sodio lineal (LAS) sobre la mortalidad de tres caracoles dulceacuícolas en el Perú. *Ecología Aplicada*, 1(1), 81–87.
- Kenconojati, H., Suciyo, & Azhar, H. M. (2020). The harmful effect of commercial powder detergent on water flea (*Daphnia* sp.). *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 441(2020), 012081.
- Kizek, O., Cifçi, D., Ekmekyapar, F., Siciliano, A., & Meriç, S. (2017). Risk evaluation of seven personal care detergents based on chemical and ecotoxicological characterization in synthetic aqueous media. *Environment and Ecology Research*, 5(1), 59–71.
- Kogawa, A. C., Cernic, B. G., do Couto, L. G. D., & Salgado, H. R. N. (2017). Synthetic detergents: 100 years of history. *Saudi Pharmaceutical Journal*, 25(6), 934–938.
- Kundu, S., Coumar, M. V., Rajendiran, S., Rao, A., & Rao, A. S. (2015). Phosphates from detergents and eutrophication of surface water ecosystem in India. *Current Science*, 108(7), 1320–1325.
- MINAM (Ministerio del Ambiente). (2016). *Aprende a prevenir los efectos del mercurio Módulo 3: Agua y Alimento*. Perú. <https://www.gob.pe/institucion/minam/informes-publicaciones/2485-aprende-a-prevenir-los-efectos-del-mercurio-agua-y-alimento>
- Mousavi, S. A., & Khodadoost, F. (2019). Effects of detergents on natural ecosystems and wastewater treatment processes: a review. *Environmental Science and Pollution Research*, 26(2019), 26439–26448.
- Nkpondion, N., Ugwumba, A., & Esenowo, I. K. (2016). The toxicity effect of detergent on enzymatic and protein activities of African mud catfish (*Clarias gariepinus*). *Journal of Environmental & Analytical Toxicology*, 6(361), 2161–0525.
- Norma Mexicana (2010). NMX-AA-087-2010-SCFI Análisis de agua - Evaluación de toxicidad aguda con *Daphnia magna*, Straus (Crustacea - Cladocera) - Método de prueba. Secretaría de Economía, Estados Unidos Mexicanos. <https://acortar.link/keUenh>
- Parada-Surubi, R. A., & Iquize-Villca, E. E. (2020). Efecto del sulfato de cobre e hipoclorito de sodio en el control de la floración algal y DL₅₀ en alevines de Tambaqui (*Piaractus brachyomus*) en la zona La Jota del municipio de Chimoré. *Apthapi*, 6(3), 2082–2093.
- Polat, N., & Akkan, T. (2016). Assessment of heavy metal and detergent pollution in Giresun coastal zone, Turkey. *Fresenius Environmental Bulletin*, 25(8), 2884–2890.
- Raj, A. (2016). *Calculating LD₅₀/LC₅₀ using Probit Analysis in Excel*. <http://probitanalysis.blogspot.pe/2016/07/free-excel-calculator-for-estimating.html>

- Rebello, S., Aju, K. A., Sathish, M., & Jisha, M. S. (2013). Surfactants: Chemistry, Toxicity and Remediation A. In E. Lichtfouse, J. Schwarzbauer, & D. Robert (Eds.), *Pollutant Diseases, Remediation and Recycling. Environmental Chemistry for a Sustainable World* (pp 277–320). Springer.
- Reglamento 1907/2007/CE (2007). Corrección de errores del Reglamento (CE) no 1907/2006 del Parlamento Europeo y del Consejo, de 18 de diciembre de 2006, relativo al registro, la evaluación, la autorización y la restricción de las sustancias y preparados químicos (REACH), por el que se crea la Agencia Europea de Sustancias y Preparados Químicos, se modifica la Directiva 1999/45/CE y se derogan el Reglamento (CEE) no 793/93 del Consejo y el Reglamento (CE) no 1488/94 de la Comisión así como la Directiva 76/769/CEE del Consejo y las Directivas 91/155/CEE, 93/67/CEE, 93/105/CE y 2000/21/CE de la Comisión. Diario Oficial de la Unión Europea L 396 de 30 de diciembre de 2006. <https://acortar.link/HIU9Nz>
- Reish, D. J. (1997). The use of larvae and small species of Polychaeta in marine toxicological testing. In P. G. Wells, K. Lee, C. Blaise, & J. Gauthier (Eds.), *Microscale Testing in Aquatic Toxicology* (pp. 383–393). CRC Press.
- Rodríguez, V. F., & Mesa, M. H. L. (2015). Poliquetos (Annelida: Polychaeta) como indicadores biológicos de contaminación marina: casos en Colombia. *Gestión y Ambiente*, 18(1), 189–204.
- Santos, V., Silveira, E., & Pereira, B. B. (2019). Ecotoxicological assessment of synthetic and biogenic surfactants using freshwater cladoceran species. *Chemosphere*, 221(2019), 519–525.
- Sobrino-Figueroa, A. (2015). Toxic effects of emerging pollutants in juveniles of the freshwater gastropod *Physa acuta* (Draparnaud, 1805). *American Malacological Bulletin*, 33(2), 337–342.
- Sobrino-Figueroa, A. (2018). Toxic effect of commercial detergents on organisms from different trophic levels. *Environmental Science and Pollution Research*, 25(14), 13283–13291.
- Sobrino-Figueroa, A., Hernandez, S. H. Á., & Álvarez-Silva, C. (2020). Evaluation of the freshwater copepod *Acanthocyclops americanus* (Marsh, 1983)(Cyclopidae) response to Cd, Cr, Cu, Hg, Mn, Ni and Pb. *AIMS Environmental Science*, 7(6), 449–463.
- Swiacka, K., Maculewicz, J., Smolarz, K., Szaniawska, A., & Caban, M. (2019). Mytilidae as model organisms in the marine ecotoxicology of pharmaceuticals - A review. *Environmental Pollution*, 254(2019), 113082.
- Tasso, V., El Haddad, M., Assadi, C., Canales, R., Aguirre, L., & Vélez-Zuazo, X. (2018). Macrobenthic fauna from an upwelling coastal area of Peru (Warm Temperate South-eastern Pacific province-Humboldtian ecoregion). *Biodiversity Data Journal*, 6(2018), e28937.
- Tato, T., Salgueiro-González, N., León, V. M., González, S., & Beiras, R. (2018). Ecotoxicological evaluation of the risk posed by bisphenol A, triclosan, and 4-nonylphenol in coastal waters using early life stages of marine organisms (*Isochrysis galbana*, *Mytilus galloprovincialis*, *Paracentrotus lividus*, and *Acartia clausi*). *Environmental Pollution*, 232(2018) 173–182.
- Tato, T., & Beiras, R. (2019). The use of the marine microalga *Isochrysis lutea* (T-iso) in standard toxicity tests; comparative sensitivity with other test species. *Frontiers in Marine Science*, 6(2019), 488.
- de la Torre, G. E., Apaza-Vargas, D. M., & Santillán, L. (2020). Microplastic ingestion and feeding ecology in three intertidal mollusk species from Lima, Peru. *Revista de Biología Marina y Oceanografía*, 55(2), 167–171.
- Uc-Peraza, R. G., & Delgado-Blas, V. H. (2008). Determinación de la concentración letal media (CL₅₀) de dos detergentes domésticos en *Nereis oligalina* (Polychaeta). *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 28(2), 137–144.
- Uc-Peraza, R. G., & Delgado-Blas, V. H. (2012). Determinación de la concentración letal media (CL₅₀) de cuatro detergentes domésticos biodegradables en *Laeonereis culveri* (Webster 1879) (Polychaeta: Annelida). *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 28(2), 137–144.
- Uc-Peraza, R. G., & Delgado-Blas, V. H. (2015). Acute toxicity and risk assessment of three commercial detergents using the polychaete *Capitella* sp. C from Chetumal Bay, Quintana Roo, Mexico. *International Aquatic Research*, 7(4), 251–261.
- Uzma, S., Khan, S., Murad, W., Taimur, N., & Azizullah, A. (2018). Phytotoxic effects of two commonly used laundry detergents on germination, growth, and biochemical characteristics of maize (*Zea mays* L.) seedlings. *Environmental Monitoring and Assessment*, 190(11), 651.
- Villalobos-Guerrero, T. F., & Idris, I. (2020). Redescriptions of a neglected species of *Pseudonereis* Kinberg, 1865 (Annelida: Nereididae) and its similar congener from the Eastern Tropical Pacific. *Journal of Natural History*, 54(23-24), 1559–1580.
- Villalobos-Guerrero, T. F., & Tovar-Hernández, M. A. (2013). Una especie nueva de *Pseudonereis* (Polychaeta: Nereididae) de Mazatlán, golfo de California, incluyendo una clave para las especies del mundo. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 84(3), 774–781.
- Zeeman, Z., Branch, G. M., Pillay, D., & Von der Heyden, S. (2020). Origin and genetic diversity of the invasive mussel *Semimytilus algosus* in South Africa, relative to source populations in Chile and Namibia. *Biological Invasions*, 22(7), 2309–2323.