EFECTOS DE LOS TENSOACTIVOS EN EL AGUA RESIDUAL DOMÉSTICA

EFFECTS OF THE SURFACTANTS IN THE DOMESTIC WASTEWATER

Yenny Alejandra Tambo Sandoval
Ingeniera Ambiental – Universidad El Bosque (Bogotá D.C.)
Especialización en Gestión Integral Ambiental – Universidad Militar Nueva Granada (Bogotá D.C.)
Bogotá, Colombia.
est.yenny.tambo@unimilitar.edu.co

Artículo de Investigación

DIRECTOR
Ph.D. Ximena Lucía Pedraza Nájar

Doctora en Administración – Universidad de Celaya (México)
Magíster en Calidad y Gestión Integral – Universidad Santo Tomás e Icontec
Especialista en gestión de la producción, la calidad y la tecnología - Universidad Politécnica de Madrid (España)
Especialista en gerencia de procesos, calidad e innovación – Universidad EAN (Bogotá D.C.)
Microbióloga Industrial – Pontifica Universidad Javeriana
Auditor de certificación: sistemas de gestión y de producto

Gestora Especialización en Gerencia de la Calidad - Universidad Militar Nueva Granada
ximena.pedraza@unimilitar.edu.co; gerencia.calidad@unimilitar.edu.co



ESPECIALIZACIÓN EN GESTIÓN INTEGRAL AMBIENTAL
UNIVERSIDAD MILITAR NUEVA GRANADA
FACULTAD DE INGENIERÍA
JUNIO DE 2022

LOS TENSOACTIVOS EN EL AGUA RESIDUAL DOMÉSTICA

EFFECTS OF THE SURFACTANTS IN THE DOMESTIC WASTEWATER

Yenny Alejandra Tambo Sandoval
Ingeniera Ambiental – Univerdidad El Bosque (Bogotá D.C.)
Especialización en Gestión Integral Ambiental – Universidad Militar Nueva Granada (Bogotá D.C.)
Bogotá, Colombia.
est.yenny.tambo@unimilitar.edu.co

RESUMEN

Las aguas residuales domésticas son consideradas aquellas que se producen como subproducto por el desarrollo de actividades cotidianas como por ejemplo la alimentación, limpieza e higiene personal y que se producen en su mayoría en estructuras como edificios y hogares. Efecto de las actividades antropogénicas en estás aguas se encuentran bacterias, ácidos, materia orgánica e inorgánica, grasas y aceites, virus, sólidos en supensión, tensoactivos entre otros. En el presente artículo es de interés indagar por medio de una consulta bibliográfica a cerca de los tensoactivos o surfactantes, los cuales se encuentran contenidos en los jabones y detergentes. Ya que posiblemente aumento el uso de estás sustancias debido a las medidas de protección ante la pandemia y el confinamiento por el COVID-19. El aporte de vertimientos con estás sustancias hacen que los ecosistemas acuáticos se vean perjudicados, de allí que es de gran importancia que estas aguas reciban un tratamiento previo antes de ser vertidas a los cuerpos de agua superfical. Por último cabe señalar que los gobiernos cumplen un papel fundamental en la creación de estrategías para mejorar la calidad fisicoquímica de los vertimientos que se realicen ya que son los entes gubernamentales los encargados de proporcionar la estructura suficiente para evitar que se afecte el recurso hídrico y que se garantice el acceso a las generaciones futuras.

Palabras clave: Agua residual doméstica, tensoactivos, planta de tratamiento de agua residual, demanda hídrica, contaminantes emergentes.

ABSTRACT

The Domestic wastewater is considered to be that which is produced as a by-product from the development of daily activities such as eating, cleaning and personal hygiene, and which is produced mostly in structures such as buildings and homes. Effect of anthropogenic activities in these waters are bacteria, acids, organic and inorganic matter, fats and oils, viruses, suspended solids, surfactants, among others. In this article it is of interest to investigate through a bibliographical consultation about the tensoactives or surfactants, which are contained in soaps and detergents. Since the use of these substances has possibly increased due to the protection measures against the pandemic and confinement by COVID19. The contribution of discharges with these substances cause aquatic ecosystems to be harmed, hence it is of great importance that these waters receive prior treatment before being discharged into surface water bodies. Finally, it should be noted that governments play a fundamental role in the creation of strategies to improve the physicochemical quality of the discharges that are carried out, since it is the government entities that are responsible for providing the sufficient structure to avoid affecting the water resource and that access to future generations is guaranteed.

Keywords: domestic wastewater; surfactant; waste water treatment plant, water demand, emerging contaminants.

INTRODUCCIÓN

El agua es un recurso que cubre más del 70 % de la superficie del planeta; se distribuye en océanos, lagos, ríos, en el aire y en el suelo. Ayuda en la regulación del clima y tiene propiedades únicas las cuales le atribuyen su importancia como recurso esencial para el desarrollo de la vida Cirelli (2012). Debido a las necesidades del hombre el uso del recurso hídrico se ha incrementado y se ha visto afectado, provocando disminuciones en la cantidad y en la calidad del mismo. Sumado a lo anterior el crecimiento de la población ha nivel mundial ha contribuido dicha afectación Carvajal (2011). Adicionalmente se debe tener en cuenta que con el deterioro al agua no solo se ve afectado el hombre si no que también se ven afectados innumerables ecosistemas.

Este recurso es usado para diferentes fines, en el presente artículo se tendrá en cuenta el agua residual doméstica, la cual se clasifica teniendo en cuenta que presenta una alteración en sus propiedades fisicoquímicas o biológicas, debido a la incorporación de contaminantes y sustancias que provienen generalmente de productos de limpieza, mantenimiento y uso general en las viviendas y edificios (Bejarano y Escobar, 2015).

A nivel mundial se tiene que el 80% de las aguas residuales domésticas que son vertidas no se les realiza un pre tratamiento antes de dirigirlas a un cuerpo de agua superficial World Bank Group (2020). Ocasionando un desequilibrio en los ecosistemas, ya que producto de dichos

vertimientos se ven modificados parámetros fisicoquímicos, las características naturales de la fauna ictica y del recurso hídrico que recibe dichos aportes.

En Latinoamérica menos del 20% del agua residual que se produce recibe un tratamiento adecuado de acuerdo con cifras del Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA), convirtiéndose esto en un problema que necesita de atención gubernamental formulando estrategias de fortalecimiento tecnológico y económico Ramírez y Espejel (2001).

Teniendo en cuenta la ubicación geográfica de Colombia y el régimen climático que lo caracteriza hace que sea un país con una buena oferta hídrica. Sin embargo, dicha riqueza se ve afectada por múltiples factores antrópicos que han ocasionado cambios en la dinámica y en la calidad hídrica, siendo una de las mayores problemáticas el vertimiento de residuos en las fuentes de agua superficial Leyva (1998).

De acuerdo con el PNUMA para el año 2001, tan solo el 12% de los municipios en Colombia realizan un tratamiento a las aguas residuales domésticas, adicional a este porcentaje no se tiene una certeza en cuanto a la eficiencia en que operan los sistemas y si se da cumplimento o no a la normatividad establecida antes de realizar una descarga en los efluentes Ramírez y Espejel (2001). A lo anterior es bueno señalar que a través del tiempo se ha ido evolucionando a dicha afectación ya que según cifras del diario La República para el año 2018 el 48,2% del total de municipios cuenta con Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales Venegas (2018). Sin embargo, es una cifra muy baja para la cantidad de municipios que tiene el país.

En la actualidad el mundo enfrenta una grave situación producto de la pandemia por COVID-19, donde algunos recursos ecositemicos como el agua se han visto afectados. Las medidas de cuarentena obligatorio han contribuido a incrementar el uso del recurso, adicionalmente una de las herramientas de prevención fue el lavado de manos donde probablemente se disminuyo el número de contagios pero aumento el volumen de los vertimientos de aguas residuales domésticas, teniendo en cuenta que uno de los componentes principales de los jabones son los tensoactivos o sufactenates surge el interés de investigar los efectos que generan estos compuestos al encontrase en las aguas residuales domésticas y que posteriormentes son vertidas a fuentes de agua superficial. El objetivo de este artículo es realizar una revisión bibliográfica de los tensoactivos o surfactantantes que están contenidos en las aguas residuales domésticas que son vertidas a otras fuentes de agua y sus efectos en los ecosistemas.

MATERIALES Y MÉTODOS

La metodología empleada para el presente artículo es de tipo documental y descriptiva, teniendo en cuenta que se realizó una búsqueda bibliográfica para describir las características, comportamientos y efectos que genera la presencia de tensoactivos en el agua residual doméstica. Se acudió a consultar diferentes recursos bibliográficos como artículos científicos y estudios previos en cuanto al tema de investigación; la búsqueda de los instrumentos de investigación se hizo en diferentes bases de datos de las que proporciona la biblioteca de la Universidad Militar Nueva Granada. A partir de dichas consultas se empezo a documentar y estructurar la presente investigación.

Dentro del estado del arte cabe señalar que las aguas residuales domésticas son aquellas que contienen modificaciones en los estándares naturales del agua, las cuales reciben aportes que provienen de viviendas y edificaciones; estas generalmente se clasifican como aguas negras y aguas grises donde las primeras provivenen de los inodoros y orinales y las segundas se generan en las duchas, lavadoras, cocina y lavamanos Ascanio y Rodríguez (2017) . En Colombia las aguas residuales domésticas se encuentran reguladas dentro de la normatividad principalmente por el Decreto 1076 de 2015, la Resolución 0631 de 2015 y por la Resolución 699 de 2021, donde se establecen los límites de cumplimiento que deben tener las aguas residuales domésticas antes de ser vertidas.

El incremento de la población ha fomentado que las áreas urbanas y rurales se expandan generando así mismo que la construcción de viviendas y el uso de los servicios públicos hayan aumentado. De la mano de lo anterior también se derivan problemas ambientales como la contaminación al recurso hídrico, ya que crecen las descargas de aguas residuales y a ello se le suma que un volumen muy bajo de dichas aguas reciben un tratamiento antes de ser vertidas.

Las aguas residuales domésticas pueden ser tratadas por medio de sistemas de tratamiento como las plantas de tratamiento de agua residual doméstica (PTARD), las cuales son diseñadas con el objetivo de remover cargas de DBO, sólidos suspendidos, patógenos, nitrógeno, fósforo y sustancias orgánicas como los detergentes, fenoles y pesticidas, algunas sustancias inorgánicas y metales pesados Ascanio y Rodríguez (2017). No todas las plantas de tratamiento funcionan de la misma manera pero si consideran las siguientes fases: Pretatamiento, tratamiento primario, tramiento secundario, manejo de biosólidos y desinfección (Ocampo y Colonia, 2019).

Tabla 1. Fases de tratamiento de una PTARD

FASE	PROCESOS	SE REMUEVE
Pretatamiento	Retirar componentes de gran proporción	• Piedras, papel, plástico
Tratamiento Primario	Retiro de componentes finos y de asentamientos sólidos • Sedimentación • Decantación • Lagunas de estabilización	• Arenas, gravas, limos y arcillas • Alteraciones del pH • Contamiantes orgánicos e inorgánicos
Tratamiento Secundario	Es el tratamiento de la materia orgánica disueta • Lodos activados • Lagunas aireadas • Filtro bilógicos • Reactores anaerobios de flujo ascendente	• Contaminantes orgánicos coloidales • Contaminantes orgánicos disueltos
Tratamiento terciario	Se realiza para la microfiltración y desinfección • Desinfección • Filtración química	• Contaminantes orgánicos disueltos • Bacterias • virus

Fuente: (Ocampo y Colonia, 2019).

En las aguas residuales domésticas es usual encontrar moléculas orgánicas sintéticas, las cuales poseen una estructura simple o compleja. Dentro de este grupo clasifican los tensoactivos, los cuales son sustancias que disminuyen la tensión superficial en las fases de emulsión, haciendo mas fácil el proceso de emulsificación. Adicionalmente pueden tener características hidrófobicas que hacen que repelen con el solvente, es decir no son solubles en agua; por lo general son hidrocarburos que pueden ser alifáticos, aromáticos o pueden estar mezclados. También poseen características hidrofílicas que los hacen ser solubles y atraer el solvente, generalmente se constituyen de grasas y aceites, polímeros o alcoholes de alto peso molecular Lin (2015).

Los tensoactivos poseen propiedades de detergencia, es decir pueden eliminar residuos de superficies sólidas; la espuma que contienen funciona como un lubricante y ayuda a la aplicación

como solución limpiadora. Tambien pueden estar disueltos o dispersos en el agua y por efecto de la agitación se introduce aire que no sale fácilmente y da formación a espuma. Otra de las propiedades que poseen es la emulsificación, está ocurre al introducirse en el agua un líquido aceitoso o insoluble que se estabiliza al mezclarse. Estas sustancias también pueden ser agentes dispersantes que separan y conservan agregaciones de particulas. Por último otra de sus propiedades es la suspensión, la cual se genera por la unión de partículas sólidas que se orientan de manera uniforme y se distribuyen en el medio Lin (2015).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Desde diferentes puntos de vista se considera que el agua es un recurso vital en la vida, así mismo se contempla que el control y saneamiento de dicho recurso garantizan uno de los derechos fundamentales que tienen las personas a disponer de agua suficiente, salubre, aceptable y asequible para el uso personal o doméstico. Sin embargo autores como Echeverry y Anaya (2018), en su estudio El Derecho Humano al Agua Potable en Colombia: Desiciones del estado y de los Particulares hacen una afirmación puntual y que refleja la vulnerabilidad al derecho, pues mencionan que la escasez del recurso hídrico bien sea en su estado natural, en un estado modificado o de tratamiento se asocia mayormente a un problema de gobernabilidad y gobrenanza del agua (p. 2).

Teniendo en cuenta el enfoque del presente artículo y la apreciación del párrafo anterior las aguas residuales domésticas no escatiman de la problemática que parte de la gobernabilidad. Debido a que en países como Colombia son muy bajos los esfuerzos que se hacen para el

tratamiento de las mismas; para el año 2019 se tiene que tan solo el 48.56% de las aguas residuales domésticas que se generaban en el país recibían un tratamiento, contando con solo 712 sistemas de tratamiento de agua residual doméstica en los 1103 municipios que componen el país. Partiendo de está cifra se puede decir que está es una de las grandes problemáticas que en enfrentan en la actualidad los ecositemas acuáticos, ya que la mayoría de estas aguas se conducen a vertimientos en cuerpos de aguas superficiales (Camargo, 2021, p. 8-9).

Por lo anterior se puede afirmar que el contenido de sustancias orgánicas de los cuerpos de agua superficial en general del país pueden presentar altas concentraciones, de allí que las entidades gubernamentales pongan esfuerzos en realizar estimaciones y estudios para medir o tener una aproximación del comportamiento de las principales cuencas del país. Un claro ejemplo de lo anterior es el Estudio Nacional del Agua (ENA), el cual es una investigación que realiza el IDEAM con el fin de estimar el estado y la dinámica de interacción de los cuerpos de agua en todo el país; en base a la información que analizan presentan proyecciones y es un estudio que se realiza periódicamente para emitir actualizaciones del mismo. Este documento considera que las aguas domésticas son aquellas que satisfacen directamente las necesidades humanas, las cuales generan pérdias o vertimientos luego de ser usadas principalmente en actividades de los hogares (IDEAM, 2014, p. 158).

El ENA estima que para el año 2012 alrededor de 35.987 millones de m^3 de agua fueron destinados a actividades económicas que consideraban realizar un uso doméstico del recurso hídrico en el país. En la ***Tabla 2*** se puede evidenciar las actividades ecónomicas que hacen un uso doméstico del agua, la estimación del uso total en Millones de metros cúbicos (Mm^3), los

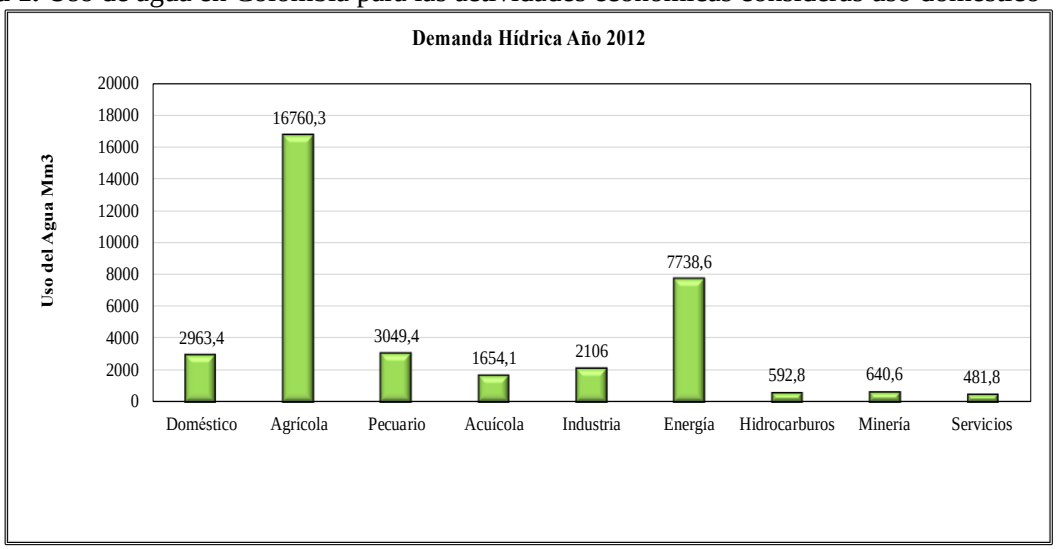
flujos de retorno y las pérdidas de agua que el estudio en mención estimó (IDEAM, 2014, p. 158).

Tabla 2. Uso de agua en Colombia para las actividades económicas que consideran uso doméstico

Usos del agua	Uso Total de agua 2012	Participación porcentual	Flujos de retorno	Pérdidas
	Mm^3		Mm^3	Mm^3
Doméstico	2963,4	8,2%	1670,5	921,6
Agrícola	16760,3	46,6%	s.I	s.I
Pecuario	3049,4	8,5%	s.I	563,4
Acuícola	1654,1	4,6%	1654,1	s.I
Industria	2106,0	5,9%	2000,7	493,5
Energía	7738,6	21,5%	1273,6	364,4
Hidrocarburos	592,8	1,6%	s.I	s.I
Minería	640,6	1,8%	s.I	s.I
Servicios	481,8	1,3%	433,6	137,7
Total Nacional	35987,1	100%	7032,6	2480,5

Nota: *Millones de metros cúbicos (Mm^3), sI: sin Información.*
Fuente: (IDEAM, 2014, p. 172).

Figura 1. Uso de agua en Colombia para las actividades económicas consideras uso doméstico



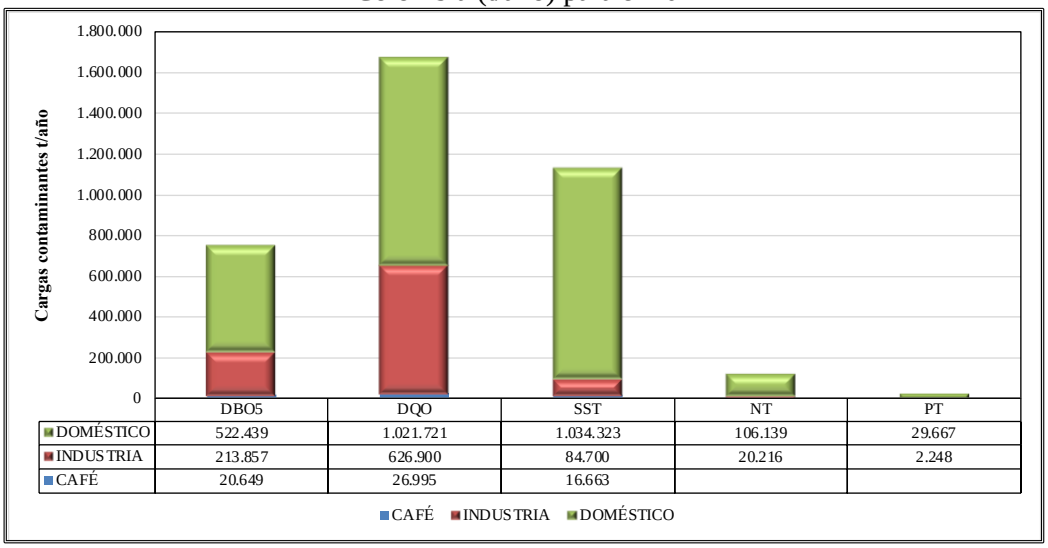
Fuente: (IDEAM, 2014, p. 172).

Cómo se puede observar en la ***Figura 1,*** los sectores que mayor consumo de uso de agua doméstica realizan son el agrícola, energía y doméstico considereando este último como los hogares. Así mismo el mayor flujo de retorno se presenta en el sector industrial, claro reflejo de

que para este la normatividad exige unos estándares mínimos a los cuales les deben dar cumplimiento influyendo en el incremento del flujo de retorno.

Para el análisis del sector doméstico el IDEAM se baso en los datos del Sistema Único de Información (SIU) de la Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios (SSPD), donde estimaron presiones por carga contaminate que llegan a los sistemas hídricos del país midiendo las concentraciones de materia orgánica, nutrientes tóxicos orgánicos y metales pesados en los ríos que hacen parte de la red de referencia nacional (IDEAM, 2014, p. 249).

Figura 2. Cargas contaminantes por sector potencialmente vertidas en los principales cuerpos hídricos de Colombia (t/año) para el 2012



	DBO5	DQO	SST	NT	PT
DOMÉSTICO	522.439	1.021.721	1.034.323	106.139	29.667
INDUSTRIA	213.857	626.900	84.700	20.216	2.248
CAFÉ	20.649	26.995	16.663		

Fuente: (IDEAM, 2014, p. 249).

En la ***Figura 2***, se puede ver que la mayor cantidad de vertimientos con cargas contaminantes se presenta por aguas residuales domésticas, adicionalmente se puede evidenciar que los vertimientos presentan considerables concentraciones de materia orgánica ya que el parámetro que presentó mayor concentración fue la DQO, por lo cual se puede afirmar que los

microorganismos presentes en los cuerpos de agua necesitan de mayor cantidad de oxígeno para degradar la materia orgánica Lecca y Lizama (2014, p. 75).

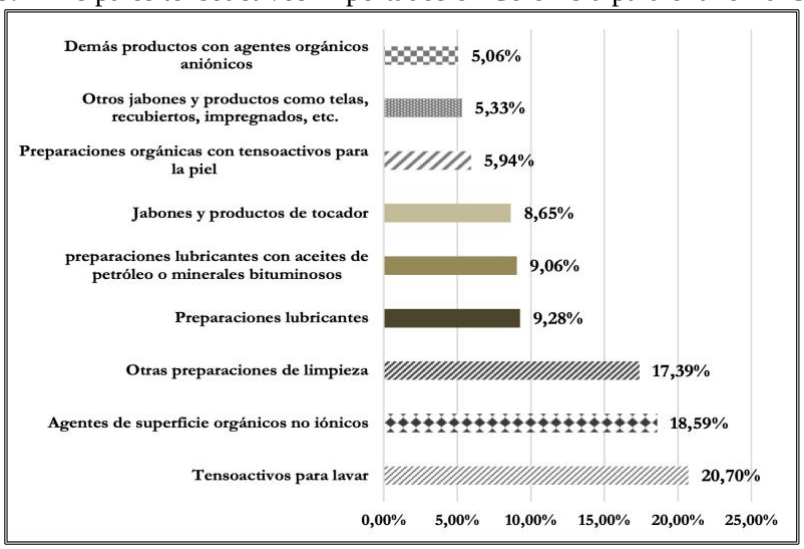
Diferentes medios como la revista Semana afirman que el confinamiento incremento los vertimientos y la contaminación en especifico; adicionalmente se indica que en la Sabana de Bogotá habrían incrementado los índices de contaminación, ya que la mayoría de ciudadanos estaban todo el día confinados en las casas, aumentado el consumo de agua y por ende la contaminación hídrica que llega al alcantarillado, teniendo en cuenta la relación que si hay mas volumen de agua consumida, hay una mayor cantidad de agua contaminada. Tambien se afirma que la contaminación generada desde las viviendas se asocia al uso de detrgentes Grupo Río Bogotá (2020).

Los detergentes de acuerdo con su estructura se denominan tensoactivos o surfactantes, en el agua superficial actúan creando una tensión interfacial entre dos líquidos o generan tensión entre un líquido y un sólido para poder crear el efecto de limpieza en una superficie que presente suciedad. Estos compuestos poseen propiedades de espumosidad, emulsificación, detergencia y suspensión de particulas. A este tipo de sustancias se les denomina como contaminantes emergentes, las cuales tiene diferente origen y una naturaleza química; en la actualidad han sido estudiados debido a que presentan un gran impacto ecológico y además tienen efectos adeversos en la salud Gil et al. (2012).

De acuerdo con el Sistema de Inteligencia Comercial (SIC) para el año 2015 en nuestro país se presento una reducción del 18.1% en las importaciones de productos detergentes y

jabones con respecto al año 2014 Brand (2019, p. 7). Para el año 2020 el DANE reporta que en las cifras de los principales productos exportados se presentó una participación del 0,11% en miles de dólares de productos y preparaciones orgánicos tensoactivos (DANE, 2022).

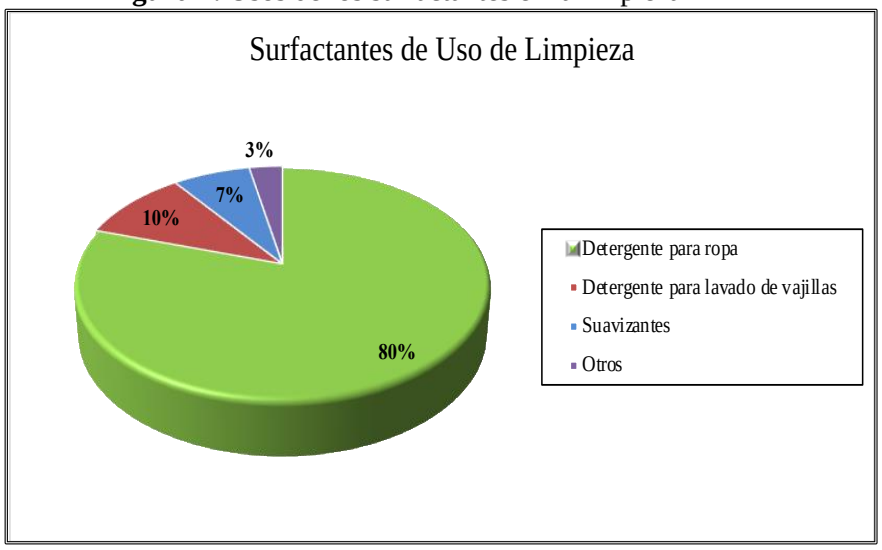
Figura 3. Principales tensoactivos importados en Colombia para el año 2015



Fuente: (Brand, 2019, p. 7).

Teniendo en cuenta la ***Figura 3*** se evidencia que los tensoactivos que son usados en procesos de lavado son los que mayor porcentaje de importación presentan, ratificando así que son los que mayor uso tienen y que muy posiblemente en el tiempo de aislamiento preventivo en nuestro país está cifra aumento. Partiendo de que el lavado de manos se realiza a partir del uso de jabones, los cuales en su composición tienen tensoactivos se corrobora dicha hipótesis. Los detergentes son tensoactivos aniónicos, se forman principalmente por sulfonato de alquilbenceno el cual se deriva del queroseno, benseno, parafina y del petróleo, algunos jabones también se crean a partir de sustancias oleoquímicas, aceite de palma y coco. La aplicación de surfactantes se da principalmente por el lavado de ropa, el lavado de vajillas, el uso de suavizantes entre otro***s*** ***Figura 4***.

Figura 4. Usos de los surfactantes en la limpieza



Fuente: (Brand, 2019, p. 5).

Los detergentes en polvo y los jabones líquidos son los que en su gran mayoría se usan para el lavado de la ropa, estos contienen trifosfato de pentasodio el cual genera que se inactive la dureza del agua por medio de la precipitación, cambio iónico y formación de compuestos solubles. La descarga de estas sustancias generan alarma ya que producen eutrofización por el contenido de compuestos como el fósforo. Dichas sustancias en los cuerpos de agua impiden el intercambio de oxígeno con la atmósfera y la penetración de la luz del sol ocasionando alteraciones en los ecosistemas acuáticos que reciben los vertimientos (González, 2005, p. 25-27). Caso similar el que producen las espumas producto de los tensoactivos, además de que contribuyen a añadir fosfato en las aguas y dismuyen el poder de autodepurar los ríos por el proceso de microorganismos.

Adicional a los anteriores efectos diversos estudios mencionan que producto del vertimiento de tensoactivos en cuerpos de agua se pueden generar algas o cianobacterias que

contribuyen a la eutrofización y generan disminución de especies in situ de los cuerpos de agua (González, 2005, p. 27).

Por otro lado la acumulación de tensoactivos generan que se produzca amoniaco y este puede afectar sustancias esenciales para el metabolismo de los peces, crustaceos y bacterias, además de afectar el crecimiento del fitoplanton Cardenas y Sanchez (2013, p. 75).

El pH es uno de los indicadores en la calidad del agua y se relaciona con el oxígeno disuelto disponible en el cuerpo de agua; los vertimientos que contienen sustancias tensoactivas generan que se incremente, ocasionando un desequilibrio para el desarrollo de los organismos (Brand 2019, p. 9).

CONCLUSIONES

Luego de la revisión bibliográfica y del análisis realizado es importante concluir que los detergentes son sustancias que químicamente se denominan tensoactivos, los cuales debido a su composición tienen propiedades que alteran fácilmente las aguas, razón por la cual es de gran importancia que en las aguas residuales domésticas se realice un tratamiento previo antes de que sean vertidas o direccionadas a un cuerpo de agua superficial, con el fin de garantizar el cuidado de los escosistemas acuáticos.

Durante la pandemia se incremento el uso de tensoactivos, teniendo en cuenta que la medida inmediata para la prevención del virus era hacer un lavado previo por lo cual posiblemente los vertimientos de agua residual domésticas con estas sustancias fueran mayores.

Los gobiernos deben proponer medidas para la implementación de plantas de tratamiento de agua residual doméstica, teniendo en cuenta que menos del 50% de la población dispone los vertimientos con un tratamiendo previo, con el fin de garantizar que las generaciones futuras tengan disponible los recursos hídricos en buenas condiciones.

Los entes gubernamentales y públicos deben implementar estrategías con el fin de dar conocer los impactos que causan los vertimientos producto de las sustancias que usamos para realizar la limpieza de nuestros hogares.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Ascanio-Suárez, N. Y., & Rodríguez-Salazar, W. O. (2017). *Comparación del manejo de aguas residuales domésticas de la ciudad de Ibagué, con las tecnologías empleadas en la ciudad de São Carlos Brasil*.

Bejarano Novoa, M. E., & Escobar Carvajal, M. (2015). *Eficiencia del uso de microorganismos para el tratamiento de aguas residuales domésticas en una planta de tratamiento de agua residual.* Retrieved from https://ciencia.lasalle.edu.co/ing_ambiental_sanitaria/299

Brand Romero, D. L. (2019). *Efectos de los tensoactivos en el medio ambiente* (Doctoral dissertation, Universidad Santiago de Cali).

Camargo-Arévalo, L. X. (2021). *Evaluación de la carga contaminante de la Quebrada Garzón por la descarga directa de aguas residuales de la red de alcantarillado del casco urbano del municipio de Garzón*.

Cárdenas Calvachi, Gloria Lucia, & Sánchez Ortiz, Iván Andrés. (2013). *Nitrógeno en aguas residuales: orígenes, efectos y mecanismos de remoción para preservar el ambiente y la salud pública*. Universidad y Salud, *15*(1), 72-88. Retrieved May 30, 2022, from http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0124-71072013000100007&lng=en&tlng=es

Carvajal Muñoz, Juan Sebastián. (2011). Fotocatálisis heterogénea para el abatimiento de tensoactivos aniónicos en aguas residuales. *Producción + Limpia*, 6(2), 92-107. Retrieved March 22, 2022, from http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1909-04552011000200009&lng=en&tlng=es.

Cirelli, A. F. (2012). *El agua: un recurso esencial. Quimica viva*, 11(3), 147-170.

DANE. (3 de Mayo de 2022). *Departamento Administrativo Nacional de Estadística.* Obtenido de https://www.dane.gov.co/index.php/estadisticas-por-tema/comercio-internacional/exportaciones.

Echeverría-Molina, Judith & Anaya-Morales, Shirley (2018). *El Derecho Humano al Agua Potable en Colombia: Decisiones del Estado y de los Particulares*. *Vniversitas, 136*, 1-14.

Gil, Miriam Janet, Soto, Adriana María, Usma, Jorge Iván, & Gutiérrez, Omar Darío. (2012). *Contaminantes emergentes en aguas, efectos y posibles tratamientos*. *Producción + Limpia*, *7*(2), 52-73. Retrieved May 29, 2022, recuperado de http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1909-04552012000200005&lng=en&tlng=es.

Grupo Río Bogotá. (2020, abril 5). *Río Bogotá: confinamiento habría incrementado vertimientos y contaminación*. *Semana.com Últimas Noticias de Colombia y el Mundo.* https://www.semana.com/actualidad/articulo/rio-bogota-confinamiento-habria-incrementado-vertimientos-y-contaminacion/49660/

IDEAM, *Estudio Nacional del Agua* 2014. Bogotá, D. C., 2015. 496 páginas.

Lecca, E. R., & Lizama, E. R. (2014). *Caracterización de las aguas residuales y la demanda bioquímica de oxígeno. Industrial data*, *17*(1), 71-80.

Leyva, P. (1998). El medio ambiente en Colombia.

Lin Escudero, Liza Yuchen. (2015). *Tratamiento Biológico para la contaminación por Tensoactivos de la planta de tratamiento de aguas residuales del Cantón Salcedo-Chipoaló.* Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. Riobamba

Ocampo, M., & Colonia, S. C. (Enero de 2019). *Tratamiento de aguas residuales*. Obtenido de Foroconsultivo org https://foroconsultivo.org.mx/INCyTU/documentos/Completa/INCYTU_19-028.pdf

Ramírez, O., Espejel, I., (2001). *Las Aguas Residuales Municipales Como Fuentes Terrestres De Contamnación De La Zona Marino – Costera En La Región De América Latina Y El Caribe* [PDF]. PNUMA. http://www.pnuma.org/deat1/pdf/Manejo%20de%20Aguas%20Residuales.pdf

Venegas, A. (16 de marzo de 2018). Solamente 48,2% de los municipios cuentan con plantas de tratamiento de aguas residuales. *La República*. https://www.larepublica.co/infraestructura/solamente-482-de-los-municipios-cuentan-con-plantas-de-tratamiento-de-aguas-residuales-2611155

World Bank Group. (2020, marzo 20). *El agua residual puede generar beneficios para la gente, el medioambiente y las economías, según el Banco Mundial*. World Bank Group.

https://www.bancomundial.org/es/news/press-release/2020/03/19/wastewater-a-resource-that-can-pay-dividends-for-people-the-environment-and-economies-says-world-bank