

Efectos de los tensoactivos en el medio ambiente

Effects of surfactants on the environment

Diana Lized Brand Romero ¹
dianabr1008@outlook.com

Resumen

El propósito del presente artículo descriptivo se centra en establecer los efectos ambientales de los tensoactivos utilizados en la industria y de uso común en los hogares de la población mundial. A través de este, se establecen los conceptos, características, funcionalidad y efectos de la producción y utilización de tensoactivos o surfactantes dentro de un mercado potencialmente en crecimiento y de cobertura internacional. Los tensoactivos son el ingrediente principal o sustancia activa de un detergente, gracias a la capacidad que tienen de romper la tensión superficial del agua es que ocurre la detergencia, el tensoactivo es la sustancia que permite al detergente emulsionar la suciedad o partículas no polares en el agua. Los surfactantes son sustancias compuestas de una estructura que constan de una parte de naturaleza polar que presenta afinidad al agua (hidrofílica) y otra de naturaleza apolar que presenta afinidad hacia sustancias no polares (lipofílica). Por ello, atendiendo a la importancia para la economía y cubrimiento de necesidades de los individuos como agente de limpieza y de cuidado personal entre otros, se establece la importancia e impacto que genera al medio ambiente una vez son utilizados, pues en la mayoría de los casos son agentes transformadores de las aguas y su ecosistemas alterando el ciclo natural del ecosistema sino se asumen procesos responsables para su degradación y disposición final.

Palabras Clave: tensoactivos, medio ambiente, detergentes, jabones

Abstract

The purpose of this descriptive article is to establish the environmental effects of the surfactants used in industry and commonly used in the homes of the world population. Through this, the concepts, characteristics, functionality and effects of the production and use of surfactants or surfactants are established within a potentially growing market with international coverage. The surfactants are the main ingredient or active substance of a detergent, thanks to the ability they have to break the surface tension of water is that detergency occurs; the surfactant is the substance that allows the detergent to emulsify the dirt or non-polar particles in the Water. Surfactants are substances composed of a structure that consist of a part of polar nature that has affinity to water (hydrophilic) and another of apolar nature that has an affinity towards non-polar substances (lipophilic). Therefore, considering the importance for the economy and covering the needs of individuals as a cleaning agent and personal care among others, it establishes the importance and impact that it generates to the environment once they are used, since in most of the cases are transforming agents of the waters and their ecosystems s altering the natural cycle of the ecosystem but responsible processes are assumed for their degradation and final disposal.

Keywords: surfactants, environment, detergents, soaps

1. INTRODUCCIÓN

Los agentes tensoactivos o surfactantes se encuentran presentes en una gran cantidad de productos con los que los individuos tienen contacto diario, estos compuestos se encuentran en distintas dosificaciones incorporados en detergentes, champús, lubricantes, dulces, cremas, pinturas, algunos alimentos previamente procesados, entre otros (Dolkemeyer, 2000). Se caracterizan por contener en su composición un grupo hidrofóbico y otro hidrofílico haciendo que posean diversas características y propiedades a un misma molécula que suelen manifestarse a condiciones inter superficiales determinantes y caracterizadas por la solubilización, adherencia, adsorción, solubilización y emulsificación de modo que puede dárseles múltiples usos industriales relacionados con una amplia gama tales como la industria de detergentes, productos farmacéuticos, de cuidado personal, agrícolas, explotación de petróleo, plásticos, entre otros (Behler, 2000). Desde luego, cabe resaltar que, dado el dinamismo de mercado y las constantes y diversas necesidades de los individuos durante las últimas décadas, dichas industrias han asumido diversas transformaciones que atienden a los gustos de los consumidores atendiendo a ofrecer productos de calidad pero con el cuidado del medio ambiente.

Las primeras manifestaciones de la presencia de surfactantes en la historia se hicieron con el uso del jabón hace 5000 años aproximadamente en Egipto y Mesopotamia lo que le confirió una importante funcionalidad dentro de la limpieza personal (Parker, 1997). Dicho proceso de producción se realizaba utilizando material de origen animal y vegetal hasta inicios del siglo XX. Debido a la expansión de uso de jabón, dentro de sus procesos productivos se empezó a insertar otras materias primas que ya conformaban el grupo de surfactantes o sustancias tensoactivas referidas a proteínas, glicéridos, lecitinas, entre otros, que no sólo hicieron parte de jabones, sino también de alimentos y tinturas para telas (Cserháti, Forgács y Oros, 2002). Sin embargo, a pesar de que su uso y el reconocimiento de dichas sustancias habían sido establecido siglos atrás, sólo hasta inicios del siglo XX se dio paso a la creación de los tensoactivos o surfactantes sintéticos, conocidos hoy como detergentes. Dicho término, en el campo industrial hace referencia a todo producto de limpieza de carácter intermedio o final. Estos aparecieron en Alemania durante la primera guerra mundial, haciendo uso de sulfonatos de alquilnaftaleno de cadenas cortas, fusiones de alcoholes butílicos y propílicos y naftalenos, sulfonaciones y otros que fueron llamados Nekal (Agrice, 2001).

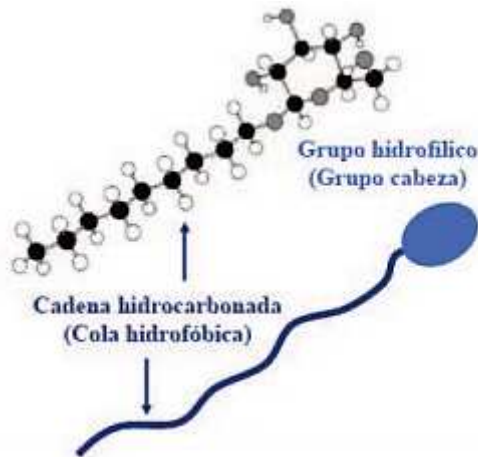
Para inicios del año 1930, aparecieron los primeros alcoholes sulfatados y los alquil aril sulfonatos como parte de los detergentes sin efectos graves puesto que, aunque fueron los surfactantes de mayor importancia en la época se restringía su uso (Domingo, 1995). Pero con la rápida evolución de la industria petroquímica, hacia el año 1950 se empezaron a crear nuevos surfactantes como los alquilfenoles etoxilados y las amidas principalmente. Años seguidos, los surfactantes son producidos de manera sintética principalmente, haciendo uso de materia prima derivada de grasas vegetales y animales pues se cuenta con la cantidad suficiente para suplir las demandas, las nuevas formas de cuidado del medio ambiente ya que los tensoactivos de orden oleoquímico amortiguan mejor los impactos ambientales que los sintéticos, se reducen las reservas petroleras para hacer tensoactivos sintéticos y la disponibilidad y costos de materias primas (Caín, 1994).

Bajo estas consideraciones, a través de este artículo se pretende evidenciar los efectos ambientales de los tensoactivos como una de los factores de mayor importancia para la conservación del planeta atendiendo a las diversas problemáticas y alteraciones que se han presentado en los últimos años como el calentamiento global, fenómenos naturales, contaminación de las aguas y de los recursos naturales y las alteraciones en la salud de la población. A través de la revisión de dichos elementos se establece la importancia de reconocer cómo las necesidades actuales de los consumidores y la gran demanda de productos de uso diario tanto para el cuidado personal como en la elaboración de alimentos procesados, han ido deteriorando el entorno ambiental y se han ido empobreciendo las condiciones de vida saludable de las personas. Fenómeno que debe atenderse de manera inmediata y con la cooperación de organismos, estados, gobiernos y sociedad en general para fomentar la conservación de los recursos naturales y de la vida misma, a fin de mitigar los efectos adversos que con el uso de detergentes y otras sustancias surfactantes se ha ido debilitando el equilibrio natural del planeta.

2. LOS TENSOACTIVOS

Los tensoactivos, tensoactivos o surfactantes son agentes de tensión superficial, los cuales reducen dicha tensión entre líquido y líquido o líquido y sólido. Conforman una amplia gama de compuestos químicos que son utilizados por sus características y propiedades ligadas a la detergencia, resistencia a la dureza del agua, solubilidad, dispersión, emulsión y humectación. Normalmente, son de naturaleza anfífilica donde se integran dos estructuras formadas por un grupo cabeza referido al grupo hidrofílico y una cola hidrofóbica conformada por una cadena hidrocarbonada.

Figura 1. Tensoactivos



Fuente: Sibila, et. al. (2008).

2.1 CLASIFICACIÓN DE LOS TENSOACTIVOS

Los tensoactivos se pueden clasificar según su estructura y según su balance hidrófilo-lipofílico, de este modo se tiene:

2.1.1 Según su estructura

Broze (1999) definió dos tipos de categorías principales con respecto a la estructura: No iónicos e Iónicos, a su vez, dentro de los iónicos diferenció tres tipos: aniónicos, catiónicos y anfóteros.

a. *No iónicos*: se caracterizan porque contienen grupos funcionales ionizables, los cuales no logran disociarse con el agua en forma de iones, con un lado polar conformados principalmente por éteres y alcoholes, y otro lado apolar que contienen la cadena alifática, aunque también pueden ser aniónicos no alifáticos.

b. *Iónicos*: se caracterizan por poseer fuerte afinidad con el agua debida a la atracción electrostática con respecto a los dipolos del agua, lo que les confiere la capacidad de dar arrastre a las cadenas hidrocarbonadas. Dentro de este grupo, se encuentran:

- Tensoactivos aniónicos: son los tensoactivos más comunes en la industria producidos a gran volumen debido a que tienen mayor efectividad con respecto a su costo. Se caracterizan porque su lado hidrofílico contiene una carga negativa concedida por los grupos fosfato, sulfato, carboxilato y sulfonato.

- Tensoactivos catiónicos: a diferencia de los aniónicos, estos surfactantes contienen una carga positiva brindándoles mayor adherencia a los sustratos con gran persistencia ofreciendo una cualidad característica de variar las propiedades superficiales pudiendo transformar aquellas hidrofílicas en hidrofóbicas y viceversa. Además, compuestos como las aminas y sales derivadas de estas tienen efectos bactericidas logrando eliminar ciertos microorganismos o disminuir su desarrollo.

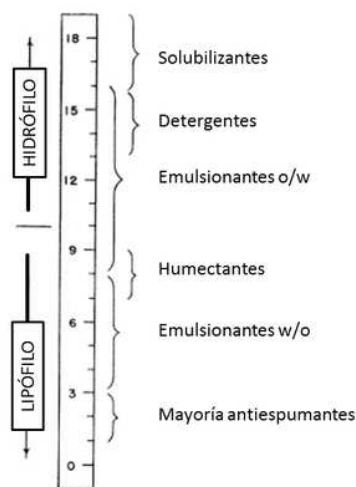
c. *Tensoactivos anfóteros*: caracterizados por contener tanto grupos aniónicos como catiónicos, donde la molécula cambia con el pH.

2.1.2 Según el balance hidrófilo-lipofílico

Los detergentes son los productos clave dentro del mercado de los tensoactivos. De este modo, pueden fusionarse tanto en aceites como en el agua debido a los contenidos hidrófobos e hidrófilos. Debido a esto, el balance hidrófilo – lipofílico (HLB), relaciona el grado en que es uno u otro sujeto a ciertos valores con respecto a las regiones propias de la molécula. Bajo esta característica, Griffin (1954) propuso una escala arbitraria para clasificar los tensoactivos según el HLB considerándolos bajo cuando tiene un puntaje entre 1 y 8 y altos con valores entre 9 y 18. Gracias a ello, se relacionan las condiciones físico químicas pudiendo diferenciar entre:

Dicha escala contiene valores para ubicar los tensoactivos en lipófilos e hidrófilos, los primeros se ubican en valores entre 1 y 8, y los segundos cuando el HLB corresponda al intervalo entre 9 y 18. De igual manera, dentro de dichos rangos se encuentran ubicados otros compuestos teniendo en cuenta la propiedades tanto físicas como químicas tal como se muestra en la figura 2.

Figura 2. Clasificación de tensoactivos según HLB



Fuente: Griffin (1954).

- Solubilizantes: de carácter anfifílico lo que facilita la producción de soluciones acuosas, cuyas concentraciones son relativamente elevadas consideradas compuestos inmiscibles o parciales cuando entran en contacto con el agua. Esta característica indica que cuando el surfactante entra en contacto con el agua se disuelve por completo o se dispersa en la superficie, pero cuando la concentración es alta, resulta un exceso que no se absorbe dando lugar a las micelas.

- Detergentes: su uso está centrado principalmente en apartar la suciedad dentro de cualquier clase de superficie. Estos pueden ser jabones de tocador o de lavar, o detergentes sintéticos y naturales.

- Emulsionantes: estos surfactantes permiten la emulsión de los aceites en una solución acuosa o de una disolución orgánica (Tejada, 2016). Se encuentran ubicados casi en la mitad de la escala y logran fusionar dos fases inmiscibles (Griffin, 1954).

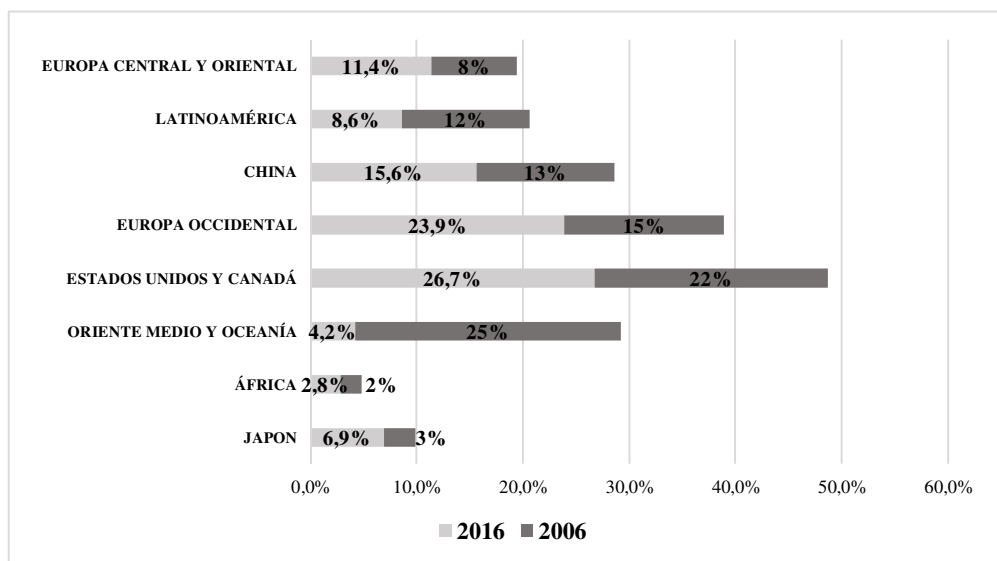
- Humectantes: poseen un HLB medio, ubicados en la mitad de la escala. Su principal propiedad radica en que, al entrar en contacto con el agua logra disolverse mojando gran parte de la superficie debido a que disminuye el grado o ángulo de contacto.

3. EL MERCADO DE LOS SURFACTANTES

3.1 MERCADO MUNDIAL

El mercado de los surfactantes sugiere un análisis determinante ya que establece la producción de detergentes en el mercado, así como los costos y el rendimiento de su formulación. A nivel internacional, la demanda anual fue de aproximadamente de 16 millones de toneladas en el año 2016. Dicho consumo está encabezado por países como Canadá y Estados Unidos es de 3.5 millones de toneladas, seguido de Asia, Europa, China y Suramérica (Powderliquiddeterg, 2016). Con un incremento muy marcado comparado con una década atrás, donde para el año 2006, la demanda fue de 12.5 millones de toneladas cuyas cifras solo se han reducido en Latinoamérica, Oriente Medio y Oceanía y siguen siendo altas para Estados Unidos y Canadá (Janshekar, et. al., 2007) (Figura 3).

Figura 3. Consumo mundial de surfactantes en el año 2015.



Fuente: Powderliquiddeterg (2016) y Janshekar, et. al. (2007)

La mayor aplicación de los surfactantes se hace como productos de limpieza, diferenciados en la tabla 1.

Tabla 1. Surfactantes para uso de limpieza

| Tipo | Cantidad |
|------------------------------------|----------|
| Detergente para lavado de ropa | 80% |
| Detergente para lavado de vajillas | 10% |
| Suavizantes | 7% |
| Otros | 3% |

Fuente: powderliquiddeterg (2016).

El gran consumo como productos de limpieza obedece, entre otros factores, al bajo precio que abarca el 50% de los surfactantes a nivel mundial. Sus formulaciones incluyen compuestos formados principalmente por sulfonato de alquibenceno de orden aniónico que resultan de derivados del petróleo, n-parafinas, benceno y queroseno, aunque algunos también provienen de alcoholes sustraídos de sustancias oleoquímicas, coco y aceite de palma. El consumo per cápita anual abarca un volumen total de 78.5 millones de toneladas. El detergente en polvo es el de mayor participación con un 35% de consumo equivalente a 27.5 millones de toneladas donde el consumo per cápita anual es de

aproximadamente de 4.2 kg en tanto que en China supera los 3 kg. Sumado a lo anterior, el crecimiento aproximado de producción de detergentes es del 2%, cuyas tasas más altas las presenta China, África y Asia y las más bajas Norteamérica, Japón y Europa (Powderliquiddeterg, 2016).

Según la firma Powderliquiddeterg (2016), como una de las que ha realizado estudios recientemente en el uso de surfactantes y detergentes en el mundo, dentro de las compañías de mayor intervención en la producción y comercialización de detergentes a nivel mundial se encuentran Sasol N. America y Shell Chemical, BASF Corp., Dow Chemical, Hunstman Corp, cuyas materias primas son de origen petroquímico, en tanto que dentro de los que hacen uso de productos oleoquímicos se encuentran Procter & Gamble, Cognis Corp. y Akso Nobel. Sin embargo, Protect & Gamble Company es la empresa que más tensoactivos suministra pues tiene más de 18 marcas de detergentes cuyo recurso humano superaba los 119.000 colaboradores en el año 2015, con más de 80 fábricas en el mundo y con una cobertura de 180 países produciendo casi el 60% del consumo a escala mundial.

Las tendencias en el mercado obedecen a cuatro factores principales:

- A la generación de surfactantes sintéticos que suplantaron los jabones entre los años 1950 y 1960.
- Al reemplazo de los detergentes tradicionales en polvo por detergentes líquidos que se originó en el año 1990 hasta hoy día que abarca el 80% de las ventas a nivel mundial con tendencia a un 90%.
- La concentración que contienen los detergentes líquidos que permiten reducir costos, espacios en bodegas y contenedores y envíos cuyo auge se dio entre el 2007 y el 2008.
- Y finalmente, la aparición de lavadores de carga frontal las cuales minimizan el consumo de agua en el lavado y de energía pues funcionan con menores temperaturas (Euromonitor, 2018).

Con respecto a la exportaciones, según los datos de Powderliquiddeterg (2016), se logró más de U\$59.640.000 millones, encabezado por Alemania con más de U\$8.572.000 aportando el 14.4%. Colombia se encuentra en el puesto 38 con exportaciones de aproximadamente U\$205.415. (Tabla 2).

Tabla 2. Exportaciones a nivel mundial 2015

| | | |
|----------------|--------------|-------|
| Alemania | U\$8.572.288 | 14,4% |
| Estados Unidos | U\$7.380.187 | 12,4% |
| Bélgica | U\$3.666.454 | 6,1% |
| China | U\$3.447.900 | 5,8% |
| Colombia | U\$205.405 | 0,3% |

Fuente: Powderliquiddeterg (2016).

Con respecto a las principales empresas dentro de la cadena de suministro de los surfactantes se pueden agrupar en cinco grandes grupos: Procesadores de materia prima, Productores de materias primas y químicos diversificada, Convertidores de tensoactivos, Formuladores de productos y Distribuidores/minoristas (Tabla 3).

Tabla 3. Cadena de suministro de surfactantes

| Tipo | Participantes |
|---|--|
| Procesadores de materia prima | Exxon - Mobil, BP Amoco, Total Final Elf |
| Productores de materias primas y químicos diversificada | Shell Chemical, Petressa, Sasol, Dupont, BASF, Dow |
| Convertidores de tensoactivos | Cognis, Rhoda, ICI, Stepan, Lonza |
| Formuladores de productos | Unilever, Colgate, L'Oreal, P&G, Henkel |
| Distribuidores/minoristas | Tesco, Carrefour, Horne Depot, Wal mart |

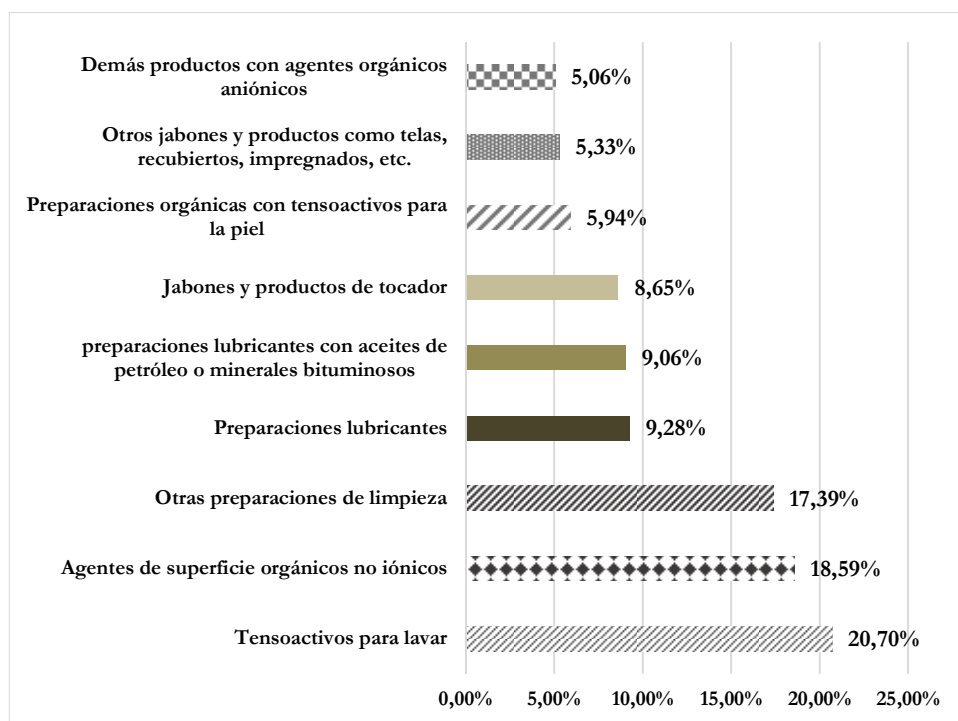
Fuente: powderliquiddeterg (2016).

Por ello, debido a las rigurosas regulaciones ambientales contra el uso de surfactantes convencionales brindan una posibilidad de crecimiento al mercado de los surfactantes de silicona, el mercado de surfactantes de silicona se estimó en US\$4.19 mil millones en 2017 y se proyecta que alcance US\$5.73 mil millones para el 2022, a una tasa compuesta anual de 6.5% entre 2017 a 2022. El crecimiento de este segmento se puede atribuir al uso creciente de surfactantes de silicona en las industrias de cuidado personal, construcción y pinturas y recubrimientos. Las características tales como capacidad de extensión y suavidad hacen que los tensoactivos de silicona sean preferibles para su uso como emulsionantes en productos de cuidado personal, espumas de poliuretano y revestimientos, entre otras aplicaciones (Chaverra, 2018).

3.2 EL MERCADO COLOMBIANO

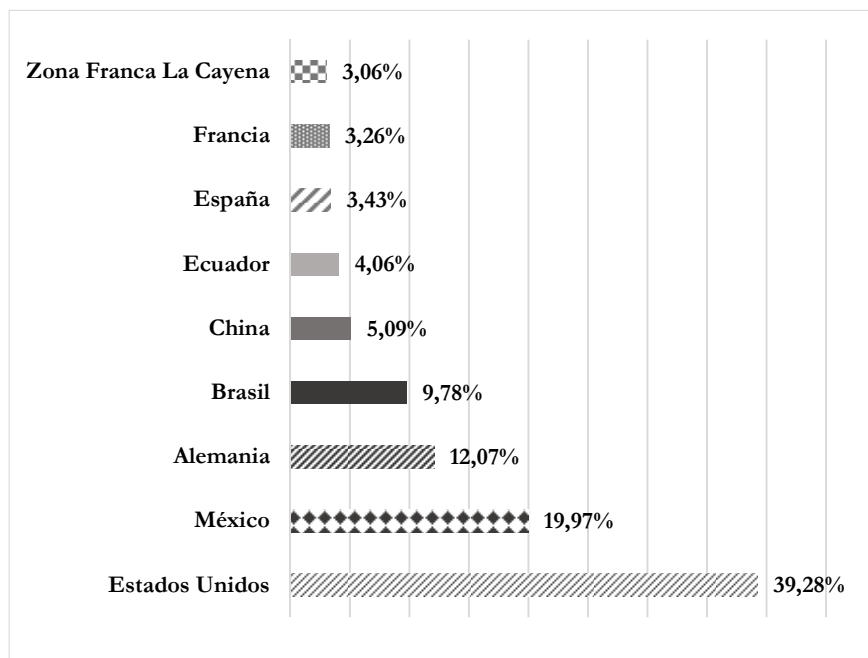
En cuanto al mercado colombiano, según los reportes realizados por el Sistema de Inteligencia Comercial (SIC) de Legiscomex.com (2016), en el año 2015, en Colombia se dio una reducción del 18.1% en las importaciones de productos detergentes y jabones con respecto al año 2014 por un valor de U\$119.6 millones cuyos costos de compra externa fueron de U\$ 141.3 millones. En cuanto al tipo de tensoactivos utilizados en el último semestre del año 2015, los detergentes para lavar encabezaron la lista con un participación del 20.7% de las compras externas y un 18.59% de compuestos no iónicos (Figura 4).

Figura 4. Principales productos importados el año 2015.



Fuente: Legiscomex.com (2016).

Dichas importaciones estuvieron encabezadas por Estados Unidos quien fue el país que vendió a Colombia un 39.28% de las compras externas dentro de los que se encuentra además la Cayena (zona franca ubicada en Barranquilla Colombia) (Figura 5).

Figura 5. Principales países importadores de tensoactivos en Colombia en el año 2015.

Fuente: Legiscomex.com (2016).

Por otra parte, en el último semestre del 2015, dentro del grupo de los productos de mayor exportación en el sector, las preparaciones tensoactivas para lavar, constituyeron el 28,32% de las comercializaciones, continuo por los jabones, productos y preparaciones orgánicos tensoactivos de tocador, con 26%; los demás agentes de superficie orgánicos, aniónicos, incluido acondicionados para la venta al por menor, con 14,27%; Los jabones, productos y preparaciones orgánicos surfactantes con 11% y con un 5.6% aquellos productos orgánicos que se aplican en las cremas y productos cutáneos entre otros (Legiscomex.com, 2015).

3. EFECTOS AMBIENTALES DE LOS TENSOACTIVOS

Aunque el mercado, uso y producción de tensoactivos trae consigo ventajas principalmente a la economía, producción industrial y sanitaria de las sociedades, existe un factor transversal primordial que cada vez adquiere mayor peso: los efectos e impactos ambientales que implica su uso (Ríos, 2014). Desde luego, como se ha visto hasta el momento, el uso de tensoactivos está encabezado principalmente en la limpieza y lavado de ropas o uso doméstico, lo que ha convertido en un contaminante de aguas (Willing, et. al., 2004). Esto, debido a que cuando son utilizados va directamente a depositarse a las estaciones depuradoras que son arrastrados por las aguas residuales o en muchos casos son vertidos a los suelos y aguas superficiales (Romero et. al, 2016). En el proceso de tratamiento de las aguas excedentes se lleva a cabo la eliminación de grandes cantidades de compuestos a través de la biodegradación y adsorción de partículas, sin embargo, los metabolitos que se producen en dicho procesos se liberan en diversos compartimientos ambientales (Ying, 2006).

La biodegradación de las sustancias es la base de la transformación de los compuestos que recaen sobre los cuerpos de agua, ya que las bacterias buscan nuevas rutas para productos y residuos contaminantes para obtener energía, nutrientes, carbono, entre otros, sin embargo, el forzar este proceso natural es una labor casi imposible debida a la gran cantidad y diversa procedencia de las sustancias químicas y el desconocimiento de las nuevas sustancias que se forman debida a la

degradación bacteriana. Por ello, los problemas ambientales están sujetos a biodegradabilidad primaria, avanzada y final (Kolvenbach, 2014).

Dentro de los efectos más importantes de los tensoactivos en el recurso hídrico, se tienen:

1. Incrementan el pH de aguas residuales elevando sus niveles modificando el ciclo de vida de especies acuáticas.
2. Ocasionan incremento de nutrientes en los cauces de ríos que reciben las aguas residuales, produciendo incremento descomunal de algas y malos olores por la acumulación de grandes cantidades de fósforo.
3. Los fosfatos se sustituyen por sustancias como Ácido Nitrilotriacético NTA o Ácido Etilendiaminotetraacético EDTA que no minimizan los efectos de la eutrofización, contienen iones pesados los cuales se disuelven en el agua y pueden ser ingeridos por la población.
4. Mercurio, plomo y cromo que son metales pesados pueden disolverse en agua causando alteración de la cadena trófica o perjuicios de tipo genético en especies.
5. Cloro y compuestos organoclorados pueden alcanzar aumento en su concentración convirtiéndose en una amenaza por sus efectos mutagénicos y cancerígenos.
6. La demanda de oxígeno para llevar a cabo la descomposición de compuestos de origen orgánico originados por los detergentes, produce condiciones de anoxia provocando la muerte de flora y fauna acuática.
7. Ciertos tensoactivos son tóxicos alterando las condiciones de vida de microorganismos y organismos superiores.
8. Tienen impacto directo en los procesos de sedimentación, floculación y coagulación sobre las plantas que permiten y facilitan la depuración.
9. Contamina las aguas subterráneas.
10. Generan grandes cantidades de espuma en aguas induciendo cambio en los términos de dilución de oxígeno, a su vez afecta la atributo atractivo del paisaje (Karpinska y Moskal, 2004).

Dichos efectos se ven reflejados en algunos estudios como el realizado por Orduz y Pinto (2016), donde se concluyó que, dentro de los efectos medio ambientales más determinantes encontrando en los laboratorios, se destaca el desagüe de sustancias orgánicas como los tensoactivos (8.6 mg/L), DBO (3486 mg/L O₂), DQO (8912 mg/L O₂), grasas y aceites (923 mg/L), Hidrocarburos totales; igualmente elementos aromáticos como fenoles (1.18 mg/L), entre otros. Superando por grandes cantidades los límites permisibles según lo expuesto en el artículo 8° de Resolución 631 de 2015, con respecto a los estándares físico químicos y las cantidades permisibles en vertederos de aguas residuales del servicio doméstico, de residuos industriales, de la empresas de servicios y de compañías de servicio de alcantarillado a las aguas superficiales, cuyos valores cuando las cargas son menores a 625 Kg/día, son de 180 mg/L O₂ para DQO, 90 mg/L O₅ para DBO, 20 mg/L para grasas y aceites (Ministerio del Medio Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2015).

Dichos compuestos modifican la calidad del recurso hídrico ya que intervienen en diversos procesos como el canje de oxígeno, lo que reduce la disponibilidad de éste dentro perturbando el debido proceso biológico así como la proliferación y crecimiento de diversos microorganismos. Debido a ello, dentro de las principales incidencias y efectos relacionados con el vertimiento de aguas residuales de origen industrial, se resalta la reducción de agua y baja calidad del mismo. Según Martín et. al. (2014), cuando los tensoactivos se degradan de manera acelerada bajo condiciones naturales óptimas, facilitará el uso general, en tanto que si presentan una biodegradación leve, determinará el uso restringido e incluso se puede privar dicho uso.

Según Reinoso, Serrano y Orellana (2017), los tensoactivos hacen parte de los contaminantes procedentes, deducidos como aquellas sustancias que a pesar de que pueden ser biodegradables, son muy nocivas para el ambiente y el organismo humano debido a su bioacumulación y permanencia. Otro grave problema radica en el hecho que actualmente, las plantas de tratamiento de aguas residuales, no logran una completa o significativa eliminación, razón por la cual resulta vital

llevar a cabo la inserción de tecnologías de purificación; existen algunas alternativas que se clasifican como tratamiento biológico, químico y físico.

El biológico comprende la bioremediación que consisten en bacterias y enzimas que usan los contaminantes derivados de los surfactantes como fuente de carbono y energía, convirtiéndolos en biomasa y gas carbónico entre otros compuestos de menos impacto ambiental; el tratamiento aerobio es apropiado cuando se trata de tensoactivos biodegradables por la incorporación mecánica de oxígeno del aire reduciendo positivamente la demanda bioquímica de oxígeno (DBO), la demanda química de oxígeno (DQO) además de una variada escala de materia orgánica.

El tratamiento químico mediante la oxidación con cloro, peróxido de hidrógeno, permanganato de potasio y ozono, que al igual que el método biológico transforman más biodegradables los contaminantes que son de fácil remoción y adsorción; dentro de estos se destaca la oxidación por ozono debido a su potencial electroquímico.

El tratamiento físico por adsorción realiza transmisión de masa del contaminante desde su etapa acuosa hacia la superficie adsorbente cuyo nivel de adsorción depende de factores como el material, el contaminante y la temperatura, los materiales más usados son el carbón activado, biopolímeros y resinas poliméricas; la desventaja de este método son los costos de tratamiento para reutilización y disposición final.

El tipo de tratamiento está sujeto al tipo de vertimiento y es recomendable una combinación de los métodos para lograr reducir otros contaminantes presentes.

La nanotecnología, filtración por membranas, biorreactores de membrana, entre otros que según los resultados del estudio realizado por Méndez et. al. (2008), para el caso del dodecilsulfonato sódico (SDBS) como contaminante modelo al tratarse de un surfactante aniónico comúnmente utilizado como tensoactivo en la composición de detergentes de uso industrial o doméstico. El mecanismo de oxidación basado en el uso de ozono (O_3 , O_3/H_2O_2 , O_3/GAC y O_3/PAC) mostró que el sistema ozono/carbón activado en polvo (PAC) resultó el más eficiente en la eliminación del SDBS, lo que es debido a la capacidad del PAC para favorecer la descomposición del O_3 en radicales $HO\cdot$, los cuales presentan un elevado poder oxidante ($E_0 = 2.80V$). Además, gracias a las propiedades adsorbentes del PAC, la presencia de éste durante la ozonización del SDBS es capaz de producir una notable reducción de la concentración de carbono orgánico total (COT) en estos sistemas lo que mejora la capacidad depurativa del tratamiento.

Sin embargo, no todo el panorama tiene un impacto totalmente negativo, puesto que algunos estudios como el realizado por Jurado et. al. (2012), donde se realizó un ensayo a través de un proceso de degradación biológica aerobia siguiendo los parámetros de la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos (OCDE) 301 E, según el procedimiento descrito en el capítulo 3, que mide la degradabilidad dependiendo de las propiedades de las sustancias se estableció que dependiendo de la concentración de tensoactivos a través de mediciones del carbono orgánico que se disuelve, aquellos surfactantes derivados de ácidos alquil éter carboxílicos son los que presentan mayor degradación biológica.

En otro estudio realizado por los mismos autores en el año 2013, se analizaron tensoactivos no iónicos (alcoholes grasos etoxilados, Nonilfenol polietoxilado, Alquilpoliglicósidos y óxidos de amina) y aniónicos (lineal alquilbenceno sulfonato, ácidos alquil éter carboxílicos) a través de un ensayo estático, dinámico, respirométrico y con pseudomonas putida; con una muestra de concentraciones de tensoactivos igual o superior a 5mg/L.

Para el ensayo estático los óxidos de amina indica que el tipo AO-Cocoamido es menos biodegradable que el AO-R₁₄ y AO-R₁₂, siendo el AO-R₁₄ (de mayor cadena alquílica) el óxido de amina más biodegradable estudiado, los alcoholes grasos etoxilados indica que a las concentraciones ensayadas, existe una preferencia por la biodegradación de tensoactivos con cadena alquílica más larga y de mayor grado de etoxilación; para los derivados de ácidos alquil éter carboxílicos la biodegradabilidad es más alta para el tensoactivo de menor longitud de cadena, para los de misma longitud de cadena la biodegradabilidad es mayor para los de mayor grado de etoxilación.

Los resultados para los derivados de ácidos alquil éter carboxílicos, a los alcoholes grasos etoxilados, a los alquilpoliglucósidos, al nonilfenol polietoxilado y al lineal alquilbenceno sulfonato, cuyos resultados para los derivados de ácidos alquil éter carboxílicos, alcoholes grasos etoxilados, alquilpoliglucósidos, nonilfenol polietoxilado y lineal alquilbenceno sulfonato, muestran que la biodegradabilidad está influenciada por la concentración inicial de tensoactivo, es decir, el grado de biodegradación alcanzado es mayor cuando la concentración inicial de tensoactivo es más baja. Para bajas concentraciones, 15 mg/L y 25 mg/L, se obtienen porcentajes de biodegradación cercanos o superiores al 90%. La legislación actual requiere un nivel mínimo de biodegradación del 80 % para que el tensoactivo pueda considerarse biodegradable cuando se aplica el ensayo de la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos (OCDE). Para los óxidos de amina el efecto de la concentración es inverso, la biodegradación es mayor cuando la concentración inicial de tensoactivo también es mayor. (Jurado et. al. 2012).

De acuerdo con los análisis, los resultados de biodegradación dependen del ensayo usado, las pseudomonas putida género de bacilos rectos, Gramm negativos y oxidasa positivos son los microorganismos inoculados, de una población mixta y aireados, y la familia de tensoactivos estudiada, no iónicos utilizados en detergentes domésticos, comerciales, limpia hogares y productos cosméticos y aniónicos que se emplean como co-tensoactivos en formulaciones de detergentes que van a estar en contacto con la piel. Un aspecto importante es la adaptación de los microorganismos al tipo de tensoactivo usado como fuente de carbono. Teniendo en cuenta los resultados para el ensayo estático, se pudo demostrar la influencia de la estructura del tensoactivo en la biodegradabilidad. Con respecto a la longitud de la cadena, el efecto depende de la familia de tensoactivo: para los alcoholes grasos etoxilados y óxidos de amina la biodegradabilidad es mayor cuando la cadena alquílica es más larga, mientras que para los derivados de ácidos alquil éter carboxílicos y alquilpoliglucósidos ocurre lo contrario.

Para todos los tensoactivos estudiados no iónicos (alcoholes grasos etoxilados, Nonilfenol polietoxilado, Alquilpoliglucósidos y óxidos de amina) y aniónicos (lineal alquilbenceno sulfonato, ácidos alquil éter carboxílicos), cuánto más alta sea la concentración del tensoactivo, su proceso de biodegradación es menor a excepción de los óxido de amina, para los que el efecto es el contrario. De acuerdo con el parámetro de velocidad media de biodegradación (velocidad hasta alcanzar el 50% de biodegradación), se calcula entre el cociente de biodegradación alcanzado y el tiempo necesario para su completa degradación, de los tensoactivos analizados en el estudio, los alcoholes grasos etoxilados pueden ser considerados como los más biodegradables y los derivados de ácidos alquil éter carboxílicos los menos biodegradables.

Desde la regulación jurídica en el caso colombiano, se debe cumplir con lo contemplado en el Decreto 1076 de 2016, artículo 2.2.9.7.6.2., sobre el monitoreo del agua. Así mismo, los organismos ambientales deben ejecutar programas de supervisión de las aguas, al menos en los parámetros de calidad que controlan la demanda química de oxígeno, la temperatura de los cuerpos de agua, el grado de acidez o basicidad y los coliformes fecales y el DB0₅. Así mismo, se acogió el estatuto técnico que instaura los límites máximos de fósforo y la biodegradabilidad de los tensoactivos presentes en detergentes y jabones, con el propósito de salvaguardar la salud y el ambiente de los efectos causados por dichas sustancias. Por ende, está impedida la producción, importación, distribución y comercialización de productos que superen los términos aquí establecidos. A través de la resolución el porcentaje mínimo de biodegradabilidad requerido se enmarca entre el 60 y 70% dependiendo del tipo de prueba a través de métodos de ensayo de biodegradabilidad final (mineralización): ISO, US-EPA y CE (Ministerio del Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2016).

4. CONCLUSIONES

La superficie terrestre tiene 97% de agua marítima, mientras que el 3% restante pertenece a ríos, lagos, aguas subterráneas, glaciares y solo el 1% de estas aguas es de fácil acceso para uso de la humanidad, parte de este hecho la importancia de preservar estas fuentes hídricas.

Las aguas superficiales reciben materias que se degradan en el propio medio acuático, las domiciliarias se vierten ahí en ocasiones sin someterlas a algún tipo de tratamiento así pues convierten los cuerpos de agua en un depósito de contaminantes; uno de ellos son los tensoactivos, aplicados en muchos sectores como por ejemplo la minería, petroleras, textiles, pesticidas, papeleras, productos del cuidado personal entre otros; resultado de su uso los residuos pasan a las aguas superficiales sin ser tratadas en su totalidad e inclusive directamente vertidas, estos se consideran significativamente nocivos para el agua por lo que es necesario que las residuales que se viertan sean lo más procesadas posible para que estos componentes sean fácilmente biodegradables e inofensivos en cuanto a su toxicidad.

Naturalmente el ecosistema trata por proceso microbiológico los contaminantes, existen tensoactivos que pueden ser degradados de esta manera pero algunos de estos persisten bajo condiciones inclusive carentes de oxígeno; la consecuencia de su dinamismo superficial y labor perjudicial sobre las membranas celulares causan un impacto ambiental que se establece su ecotoxicidad.

Dentro del marco legal base para este tema, el decreto 1076 de 2015 Decreto Único Reglamentario del Sector Ambiente y Desarrollo Sostenible en el artículo 2.2.3.3.9.1 menciona la regulación del uso de agua y las normas de vertimiento a los cuerpos de agua, alcantarillado y al suelo así como el protocolo para el monitoreo de vertimientos y agua superficiales en el artículo 2.2.3.3.9.3 las directrices de calidad para el tratamiento del agua que se destina para consumo con un valor de 0.5; el artículo 2.2.3.3.9.10 relaciona los criterios para la preservación de flora y fauna en agua dulce, fría o cálida agua y agua estuarina con valores de 0.143 CL en dichas variables.

El artículo 689 de 2012 que establece técnicamente los límites máximos de fosforo y biodegradabilidad de los tensoactivos presente en detergentes y jabones; en el artículo 5 estipula que el límite máximo permisible del fósforo será máximo de 3,0% desde la entrada en vigencia de la norma (seis meses después de publicado a partir de su fecha de publicación en el diario oficial) y desde el 1 de enero de 2018 igual o menor a 0,65%; por otro lado los tensoactivos deben tener un porcentaje mínimo de biodegradabilidad aerobia que oscila entre el 60 y 70% estableciendo los métodos de la Organización para la Cooperación y Desarrollo Económico.

La resolución 837 2017 modifica el artículo 10 y 14 de la norma anteriormente mencionada; el artículo 10 modifica la inspección vigilancia y control de los detergentes y los jabones, mientras que el artículo 14 estipula exigencia para el requisito de biodegradabilidad de los tensoactivos (Art. 5 Res. 689-2012) a partir del 5-05-2018 y deroga la resolución 1974 y 1975 de 2007.

En el año 2018 mediante la resolución 1770 en el artículo 6 exceptúan del requisito de biodegradabilidad a los productos de uso cosmético, en el literal a del artículo 7 cambia y adiciona algunos métodos de ensayos, en el artículo 12 la revisión y actualización hace referencia a la exclusión de la norma para los productos de uso cosmético 18 meses posteriores a la publicación de la presente resolución y de acuerdo a los resultados entregados por los fabricantes e importadores realizados en laboratorios acreditados.

Por consecuencia de la presencia de tensoactivos en el medio acuático se dan fenómenos como es la producción de espumas, toxicidad para microorganismos, contaminación de acuíferos, inhibición en el crecimiento de algas, deducción del nivel de oxigenación que conlleva a variaciones en la propiedad del agua y consigo la existencia de organismos acuáticos; distorsiona el proceso de auto tratamiento del agua, pueden presentarse anomalías en la reproducción de peces y algunos de sus compuestos pueden ser tóxicos para la vida humana por su dilución en el agua. El marco normativo va en vía de la preservación del medio ambiente con una producción más limpia y con menos impactos al ambiente.

Estratégicamente desde la producción se puede hacer un aporte positivo realizando modificaciones de los procesos técnicos de manufactura de detergentes que debería ser elaborada con miras a reducir las huellas ambientales ocasionadas por los tensoactivos y beneficiar tratamientos menos costosos y rápidos de las aguas residuales que los contengan. Seguido de esto la comunidad es el objeto a impactar ya que ellos como consumidores ponen gran parte de los vertimientos en las aguas superficiales sin conciencia plena de que el agua que desechan es la misma que van a tener que

usar nuevamente para su consumo, con campañas educativas sobre el uso responsable del agua, los productos apropiados para preservar el medio ambiente y como segregarse sus residuos pueden favorecer la disminución de la contaminación de los ecosistemas.

Por otro lado las políticas públicas son fundamentales, ya se tiene respaldo legal no obstante se requiere apoyo en las tecnologías de depuración y condicionar estas tecnologías para el aval de operación de las plantas de tratamientos de aguas residuales; así como también realizar apoyar las campañas anteriormente mencionadas y hacer posible que se ejecute desde la infancia para que la transformación de conciencias sea un hábito innato en la cultura ciudadana.

5. REFERENCIAS

- Agrice, A. (2001). Tensioactives et Oleagineux. Etude sur les matières premières oléagineuses disponibles sur le marché européen. Agriculture pour la chimie et l'énergie, Agence de l'Environnement et de la Maitrise de l'Energie. France. Novembre, p.13.
- Behler, A. (2000). New oleochemical surfactants. In: Proceedings Chemical – technical utilisation of vegetable oils. CTVO NET. Bonn, Germany, 20-21. p.87
- Broze, G. (1999). Handbook of detergents. Editorial Marcel Deeker Inc. New York.
- Caín, R.B. (1994). Biodegradation of detergents. Current Opinion in Biotechnology, 5:266– 274.
- Chaverra, D. (2018). Mercado global de surfactantes de silicona. En Inpralatina. en línea]. [Recuperado el 9 de junio de 2019]. Disponible en: <https://www.inpralatina.com/201802207361/noticias/empresas/mercado-global-de-surfactantes-de-silicona.html>
- Cserhádi, T., Forgács, E., Oros, G. (2002). Biological activity and environmental impact of anionic surfactants. Environment International, 28, 337
- Dolkemeyer, W. (2000). Surfactants on the eve of the Third Millennium: Challenges and opportunities. Presented at the CESIO convention Firenze, Italy. May 29 - June 2
- Domingo, A. (1995). A guide to the surfactants world. Proa, Barcelona.
- Euromonitor. (2018). Beauty and Personal Care in Colombia. [en línea]. [Recuperado el 9 de junio de 2019]. Disponible en: <https://www.euromonitor.com/beauty-and-personal-care-in-colombia/report>
- Griffin, W. C. (1954). Calculation of HLB Values of Non-Ionic Surfactants. Journal of the Society of Cosmetic Chemists. 5: 311-26
- Janshekar, H., Chang, R., Yokose, K., Ma, X. (2007). Surfactants. SCUP Report. SRI. Consulting
- Jurado, M. Fernández, L. Lechuga, M. Ríos, F. (2012). Environmental impact of ether carboxylic derivative surfactants. Editor: Springer Heidelberg. Tiergartenstrasse 17, D-69121 Heidelberg, Alemania. Volumen 15, número 1. Páginas 1-7.
- Jurado, M. Fernández, L. Lechuga, M. Ríos, F. (2013). Aerobic biodegradation of surfactants. Editorial: In-Tech. Janeza Trdine 9, 51000. Rijeka, Croatia. Capítulo 3. Páginas 63-81.

- Karpinská, J., Moskal, J. (2004). Toxic effect of non-ionic phosphoorganic surfactants on selected organisms representing aquatic biocenosis. *Acta Toxicologica*, 12(1):61-66.
- Kolvenbach, B. (2014). Emerging chemical and the evolution of degradation capacities and pathways in bacteria. *Current opinion of Biotechnology*, 27:8.
- Legiscomex.com. (2015). Jabones y detergentes en Colombia. [en línea]. [Recuperado el 12 de junio de 2019]. Disponible en: <https://www.legiscomex.com/Documentos/informe-sectorial-sector-jabones-colombia-2016-rci306>
- Legiscomex.com. (2016). Inteligencia de Mercados – Informe sectorial de jabones y detergentes en Colombia. [en línea]. [Recuperado el 12 de junio de 2019]. Disponible en: <https://www.legiscomex.com/BancoMedios/Documentos%20PDF/inf-sec-jabones-col-2016-imp-rci306.pdf>
- Martín, V., De la Habana, N., Ventosa, A., Congiub, E., Ortega, J., Moyá, M. (2014). Colloidal and biological properties of cationic single-chain and dimeric surfactants. *Colloid and surfaces: Biointerfaces*, 114
- Méndez, J., Sánchez, M., Rivera, J. y Bautista, M. (2008). Eliminación del dodecilmencensulfonato sódico de las aguas mediante adsorción en carbones activados, ozonización catalizada y fotooxidación. Departamento de Química Inorgánica de la Facultad de Ciencias. Universidad de Granada. Avda. Fuentenueva S/N, 18071-Granada
- Ministerio del Ambiente y Desarrollo Sostenible. Resolución 689 de 2016. [en línea]. [Recuperado el 12 de junio de 2019]. Disponible en: <http://www.andi.com.co/Uploads/Resoluci%C3%B3n%200689.pdf>
- Ministerio del Ambiente y Desarrollo Sostenible. Resolución 1770 de 2018. [en línea]. Disponible en: https://www.minsalud.gov.co/Normatividad_Nuevo/Resoluci%C3%B3n%20No.%201770%20de%202018.pdf
- Ministerio del Ambiente y Desarrollo Sostenible. Resolución 837 de 2017. [en línea]. <http://www.andi.com.co/Uploads/Resoluci%C3%B3n%20%20837%20de%202017.pdf>
- Ministerio del Medio Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2015). Por la cual se establecen los parámetros y los valores límites máximos permisibles en los vertimientos puntuales a cuerpos de aguas superficiales y a los sistemas de alcantarillado público y se dictan otras disposiciones. <http://extwprlegs1.fao.org/docs/pdf/col145327.pdf>
- Orduz, K. y Pinto, L. (2016). Formulación de una guía sectorial para el manejo de los residuos líquidos industriales generados en el laboratorio Ambiental Antek S.A.S. Universidad Libre. Bogotá.
- Parker, P. (1997). *World Scenario on Surfactants. On Fats, Oleochemicals and Surfactants, Challenges in the 21st century.* Science Publishers, Inc. India, p.180.
- Powderliquiddeterg. (2016). Detergente líquido y en polvo. [en línea]. [Recuperado el 11 de junio de 2019]. Disponible en: <https://powderliquiddeterg.wixsite.com/entstehung/mercado-1>
- Ríos, F. (2014). Comportamiento ambiental de tensioactivos comerciales: biodegradabilidad, toxicidad y ozonización. Tesis doctoral. Programa de Doctorado en Química. Editorial universidad de granada.
- Romero, T., Rodríguez F., Humberto, A. (2016). Caracterización de las aguas residuales generadas en una industria textil cubana. *Ingeniería Hidráulica y Ambiental*, 37(3), 46-58
- Reinoso, J. C., & Serrano, C. Y., & Orellana, D. F. (2017-12). Contaminantes emergentes y su impacto en la salud. *Revista de la Facultad de Ciencias Médicas*. Volumen 35 no .2. Diciembre 2017. Universidad de Cuenca.

- Sibila, M.A., Garrido, M.C., Perales, J.A., Quiroga, J.M. (2008). Ecotoxicity and biodegradability of an alkyl ethoxysulphate surfactants in coastal waters. *Sci. Total. Environ*; 394:265-74.
- Tejada, C. R. (2016). Emulsionantes y fabricación de cosméticos.. Universidad de Sevilla, Sevilla.
- Willing, A., Messinger, H., Aulumann, W. (2004). Ecology and toxicology of alkyl polyglycosides. *Handbook of Detergents Part B: Environmental Impact*. Marcel Dekker, New York.
- Ying, G.G. (2006). Fate, behaviour and effects of surfactants and their degradation products in the environment. *Environ Int*. 32:417-31.