

Efecto de los Detergentes Biodegradables en la Calidad del Agua

Natalia Alexandra Bohórquez Toledo, Magister en Química¹, Jhoann Manuel Murillo Rueda, Ingeniero Ambiental¹, y Carlos Andres Quintero Santos, Ingeniero Ambiental¹

¹Unidades Tecnológicas de Santander, Bucaramanga, nbohorquez@correo.uts.edu.co, jhoann_25@hotmail.com
charles_planet@hotmail.com

Resumen- En este estudio se llevó a cabo la simulación de un proceso de lavado empleando tres detergentes (A, B, C) con diferentes especificaciones de biodegradabilidad con el objetivo de estudiar la contribución química y bioquímica por la adición de estos detergentes biodegradables cuando son utilizados en procesos de lavandería, los cuales son vertidos como contaminantes a las aguas residuales domésticas. Las aguas generadas del proceso (aguas residuales del proceso de lavado) fueron colectadas y analizadas. Se encontraron valores de DBO₅, DBO₂₁, DQO, fosfatos, pH, salinidad, sólidos disueltos, y surfactantes para cada uno de los detergentes seleccionados. Los resultados indicaron que en uso de detergentes no biodegradables hubo un aumento decisivo en la concentración de surfactantes, conductividad, fosfatos y sólidos disueltos en aguas de lavado en comparación con los biodegradables, mientras que se encontró cambios poco variables en los restantes parámetros químicos. Al calcular la relación DQO/DBO₂₁ y DBO₅/DQO se encontró que solo los detergentes A y B obtuvieron un valor aceptable de biodegradabilidad (0.72 y 0.76 respectivamente) y que las mayores concentraciones de contaminantes la reflejo el detergente C (con un valor de biodegradabilidad de 0.57) que se oferta en el mercado como no biodegradable, presenta contenido considerable de fosfatos, altas concentraciones de surfactantes y que se considera es el de mayor consumo comercial.

Palabras claves: Biodegradabilidad, Detergentes, calidad del agua.

Abstract- In this study the simulation of a washing process was accomplish using three detergents (A, B, C) with differents biodegradability specifications with the aim of studying the chemical and biochemical contribution by the additions of these biodegradable detergents when there are using in laundry processes, which are discharged as pollutants to domestics wastewater. The water generate from the process (wastewater from the washing process) was collected and analyzed. Values of BOD₅ (Biochemical Oxygen Demand in five days), BOD₂₁ (Biochemical Oxygen Demand in twenty one days), COD (Chemical Oxygen Demand), phosphates, pH, salinity, dissolved solids, and surfactants were found for each of the selected detergents. The results indicated that in the use of non-biodegradable detergents there was a decisive increase in the concentration of surfactants, conductivity, phosphates and dissolved solids in wash water compared to biodegradable ones, while little variable changes were found in the remaining chemical parameters. When calculating the relationship COD/BOD₂₁ and BOD₅/COD it was found that only detergents A and B obtained an acceptable value of biodegradability (0.72 and 0.76 respectively) and that the higher concentrations of contaminants reflect the detergent C (with a biodegradability value of 0.57) that is offered in the market as non-

biodegradable, presents considerable content of phosphates, high concentrations of surfactants and is considered to be the most commercial consumption.

Keywords-- biodegradability, detergents, water quality

I. INTRODUCCIÓN

Las actividades de la vida cotidiana nos han llevado a la dependencia de productos comerciales como los jabones, detergentes y otros productos de limpieza. A pesar de su gran utilidad, estas formulaciones se han convertido en una problemática ambiental debido a la emisión de moléculas como los surfactantes los cuales son descargados al medio ambiente, normalmente a través de sistemas de alcantarillado de aguas residuales urbanas e industriales, por lo que se produce una amplia dispersión de los mismos en el entorno acuático y se grandes focos de contaminación en los cuerpos hídricos de nuestro país.[1]

Los Surfactantes son moléculas, de carácter anfílico, constan de dos partes estructurales o grupos bien diferenciados, un grupo hidrofílico (grupo cabeza) polar, soluble en agua y una cadena hidrocarbonada (cola hidrofóbica) no polar, que no es tan soluble en agua.[1]

Desde la primera introducción del jabón en polvo en el año de 1907 por la empresa Henkel en Alemania, el consumo de detergentes y jabones para esa época se aumentó de una manera alarmante, haciendo de esta manera que la producción mundial de surfactantes llegase al orden de 16 millones de toneladas, siendo alrededor del 44% de la producción de detergentes.[2]

Esto ha llevado a las autoridades ambientales a tomar acciones en este asunto, pues en los cauces es común observar una manta o capa de espuma sobre la superficie de los cuerpos hídricos, concluyendo que los detergentes por las diversas moléculas que los componen, que son difícilmente degradables por sus características, afectan a la fauna y flora de los ecosistemas acuáticos de manera extraordinaria. Los detergentes ocasionan varios impactos sobre el ambiente como es la eutrofización, debido a los altos niveles de fósforo procedentes del tripolifosfato, principal ingrediente de las formulaciones detergentes. Además, pueden aumentar los

niveles de cloro y de compuestos organoclorados; algunos posiblemente de carácter tóxico y carcinógeno. [3]

En la actualidad en Colombia no se encuentra mucha información sobre proyectos de investigación en relación a la biodegradabilidad de los detergentes que son vertidos sin ningún tipo de control a las fuentes hídricas, lo cual impulsa esta investigación sobre la biodegradabilidad o el comportamiento de algunos detergentes biodegradables en relación con los no biodegradables.

II. METODOLOGÍA

A. Selección de detergentes

Para la selección de los detergentes, se determinó su proclamación como producto biodegradable, además de las composiciones y demanda para actividades de lavandería, teniendo en cuenta a su vez el consumo recurrente en hogares domésticos. En la Tabla I se representan las características de los detergentes seleccionados para el proyecto de investigación, que cabe mencionar, algunos no se encontraron especificaciones por ser productos de importación nacional.

La resolución 1974 de 2008 [4], exige que las empresas de elaboración de los detergentes indiquen el contenido de agente surfactante presente en la formulación en el momento de solicitar el registro sanitario, por lo que en la composición del detergente B y C solo hace una mención genérica del surfactante.

La escogencia del detergente A, se debió a que contiene la exclusiva y avanzada tecnología BIOQUEST FORMULA™, contiene ingredientes derivados de fuentes naturales, contiene agentes limpiadores derivados de fuentes naturales según lo enuncia el fabricante.

Es además reconocido por el programa Diseñado para el Medio Ambiente (DFE) y de la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (EPA), no contiene fosfatos, cloro, y otros ácidos abrasivos, provee un alto desempeño por su fórmula concentrada y segura para el medio ambiente ya que es biodegradable y dermatológicamente probada, que por dichas característica, sirve como modelo de análisis para el proyecto investigativo.

En la escogencia del detergente B, se tuvo en cuenta su proclamación como producto ecológico y además del aporte de surfactantes para la remoción de la suciedad con presencia además de fósforo.

El detergente C, se seleccionó por ser un detergente común que se utiliza en los hogares por su fácil accesibilidad y precio debido a la logística de distribución de la empresa de detergencia. En su contenido tiene surfactantes y su uso en

volumen puede dar un estimativo como el mayor aportante de cargas contaminantes a los sistemas receptores de vertimiento.

TABLA I
CARACTERÍSTICAS DE DETERGENTES SELECCIONADOS

DETERGENTE	USO	DEFINICIÓN AMBIENTAL	COMPOSICIÓN
A	Lavandería	Biodegradable	Carbonato de sodio, alcohol etoxilado C 10- 16, Ácido Cítrico, Ácido Fumarico, Sílice, Agua, Carboximetil Celulosa de Sodio, Cloruro de Sodio, Sacarosa, Fragancia, Abrillantador Fluorescente 28 (sal disódica), Almidón, Enzima Proteasa, Sulfato de Sodio
B	Lavandería	Ecológico	Ayudas de proceso, agentes de limpieza, surfactantes anionico, surfactantes no iónico, acondicionadores de agua, agentes anti-redepositantes, enzimas, abrillantador óptico, perfume y colorante, contenido de fósforo menor al 0.15%
C	Lavandería	NA	Surfactante, abrillantador óptico, agentes anti-redepositantes, ayudas de proceso, colorante, fragancias.

B. obtención de las muestras de agua para análisis

Se desarrolló un análisis experimental con muestras de agua provenientes del lavado de ropa (cobijas, toallas, ropa en general) sin la adición de detergentes (agua cruda), en la cual, una vez terminado el proceso de centrifugación, se recolectó en recipientes con capacidad de 8 Litros.

Posteriormente se dosificaron con las concentraciones recomendadas por los fabricantes por la capacidad utilizada de agua en sus procesos de limpieza. Del detergente A se adicionaron 12 g mientras que del detergente B y C se adicionaron 36 g a cada recipiente.

C. Determinación biodegradabilidad

Para la determinación de la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO) se utilizaron procedimientos estandarizados basados en el Standard Methods [5] para determinar los requerimientos relativos de oxígeno de la muestra de los detergentes durante un periodo de incubación especificado (5 y 21 días) a una temperatura especificada. El oxígeno disuelto (OD) se midió antes y después de la incubación y la DBO se calculó mediante la diferencia entre el oxígeno disuelto (OD) inicial y el final.

Para la determinación de la Demanda Química de Oxígeno (DQO) se utilizó una medida del equivalente de oxígeno del contenido de la muestra de detergente susceptible de oxidación de la materia utilizando dicromato potásico como oxidante en presencia de ácido sulfúrico e iones de plata como catalizador.

La disolución acuosa se calentó bajo reflujo durante 2 h a 150 °C. Luego se evaluó la cantidad del dicromato sin reaccionar titulando con una disolución de hierro (II). La Demanda Química de Oxígeno se calculó a partir de la diferencia entre el dicromato añadido inicialmente y el dicromato encontrado tras la oxidación. Este procedimiento también se basa en el Standard Methods.[5]

La determinación del porcentaje de biodegradación ambiental se realizó mediante la norma ASTM D 2667, la cual toma como base la relación entre la DQO (Demanda Química de Oxígeno) y la DBO₅ (Demanda Biológica de Oxígeno) de las muestras de ensayo durante 21 días para la evaluación en una curva de la biodegradabilidad del producto por acción biológica (bacterias) y bioquímica por oxidación. Según esta norma se considera que una sustancia es biodegradable según la relación DBO/DQO en un tiempo de 21 días, y si esta relación es superior al 60 %, los detergentes evaluados serán considerados biodegradables. [6]

D. Parámetros físico- químicos

Con el parámetro de SAAM se determinaron las sustancias activas al azul de metileno para formación de un par iónico extractable en cloroformo de color azul por la reacción del azul de metileno catiónico y un surfactante aniónico del detergente mediante el método de análisis establecido en la Norma Oficial Mexicana NMXAA-039-SCFI-2001.

[7]

Para la determinación de la salinidad el análisis se realizó teniendo en cuenta la capacidad del agua para conducir la electricidad. De esta forma, midiendo la conductividad eléctrica (CE) del agua mediante un par de electrodos (conductímetros), se puede estimar su salinidad, esta medida depende de la temperatura, por lo que para realizar comparaciones válidas la conductividad eléctrica se expresó en relación a una temperatura de referencia de 25°C.

Se realizaron análisis sobre otros factores que influyen en la determinación de los parámetros establecidos con el fin de determinar la correlación con la biodegradabilidad de los detergentes, entre estos se encuentran: pH, ortofosfatos, salinidad y sólidos disueltos, todos estos análisis fueron realizados por un laboratorio externo contratado.

Las muestras de detergentes no biodegradable y las biodegradables se midieron del mismo protocolo descrito anteriormente para los análisis de biodegradabilidad y de parámetros físicos-químicos y se controlaron que las dosificaciones sean comparables de acuerdo a la cantidad de uso recomendadas por los fabricantes.

III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Con los resultados experimentales obtenidos en los ensayos del laboratorio externo contratado para la determinación de los parámetros se determinó su influencia de manera directa en el cálculo de la biodegradación.

A. Relación de biodegradabilidad DBO₂₁/DQO

El porcentaje de biodegradación se basa en el cálculo de la relación DBO/DQO. Esta relación nos indica el porcentaje de biodegradación correspondiente, de modo que si es superior al 60 %, los detergentes evaluados serán considerados biodegradables, como lo dice la norma ASTM 2667.[6]

En la Tabla II, se reflejan los resultados obtenidos a partir de los productos de detergencia y su relación DBO₂₁/DQO como un indicativo de la cantidad de materia orgánica presente que puede ser metabolizada y el porcentaje de materia que puede ser desdoblado por la acción biológica en cada detergente.

TABLA II
RELACIÓN DBO₂₁/DQO

DETERGENTE	RELACION DBO ₂₁ /DQO	DBO ₂₁ mg O ₂ /L	DQO mg O ₂ /L	*CONSUMO
A	0,72	527	731	+
B	0,76	893	1173	++
C	0,57	557	973	+++

*NOTA: + Bajo, ++ Moderado, +++ Alto

El detergente A reportó las más bajas concentraciones de DBO₂₁ y DQO debido a la cantidad de concentración adicionada a la muestra que fue de 12 g por referencia del fabricante, esto en comparación a los detergentes B y C, cuya concentración corresponde a un 33,33% menos en adición del detergente a la muestra.

De igual importancia, en el detergente A, su valor determinado siendo el menor en comparación a los otros detergentes refleja que su principio de limpieza no utiliza surfactantes que es un aporte de tóxicos a las aguas, sino por enzimas proteasas, que aunque en comparación de los surfactantes su aporte de tóxico es menor.

Los valores de los resultados de DQO que se obtuvieron con el uso del detergente B, muestran que este aporta la mayor concentración de DQO en la generación de aguas residuales de lavado doméstico donde se utilice este detergente. Esto se podría ver reflejado si se realizara la medición de materia orgánica en el agua residual proveniente del lavado con este detergente que contiene compuestos tóxicos para la vida biológica que se estima contribuye a la adición de surfactantes aniónicos y no iónicos presentes en el producto.

De lo anterior se puede afirmar que el detergente B, es el de mayor impacto en las áreas de vertimiento y los efluentes de

descarga. Esto indica que existe la posibilidad, que la microfauna de los cuerpos de agua y en muchos casos la de los suelos donde son vertidos las descarga proveniente del lavado domestico con este producto, presenten una disminución de oxígeno para sus procesos metabólicos y que la degradación de los compuestos tóxicos presentes en los vertidos por vía biológica sea inferior que por vía química.

Igualmente, la DQO del agua proveniente del lavado de los tres detergentes mostro ser mayor que la DBO, debido a que en los tres detergentes existen como componentes principales un mayor número de compuestos cuya oxidación tiene lugar por vía química frente a los que se oxidan por vía biológica.

En relación a la normatividad Colombiana de vertimientos Resolución 0631 del 2015 [8] donde indica los valores de descargas límites permisibles para vertimientos de las soluciones individuales de saneamiento de vivienda unifamiliares y bifamiliares, el valor límite admisible de DQO corresponde a 200 mg O₂/L, por tanto, ninguno de los detergentes analizados cumple con la normatividad como se refleja en la Tabla III.

En contraste al valor permisible de DBO₅, la norma no referencia un valor límite de vertimiento, solo exige análisis y reporte, lo que ocasiona un vacío normativo y refleja una problemática en descargas no solo por efluentes con productos de detergencia, sino con vertimientos provenientes de diferentes procesos ya sean manufactureros, industriales, agroindustriales, etc., que con altas concentraciones de materia orgánica afectan a los cuerpos de agua receptores y sus consiguientes consecuencia a la fauna presente y su posterior tratamiento.

En comparación a los efluentes provenientes de los jabones y detergentes [9], los valores de DQO se encuentran en valor intermedio de 300 mg O₂/L y el de DBO₅ en 500 mg O₂/L, lo que ninguno de los detergentes cumple con las especificaciones, aunque solamente se refleja una aproximación del detergente A por valores de DBO₅ (527 mg O₂/L) se produce por la no presencia de surfactantes como agente limpiador. En la Tabla III se puede observar una comparación entre los valores estipulados por la norma y los límites de descarga por grupos industriales en relación con los detergentes analizados en el proyecto.

De forma similar, en estudios realizados de los valores obtenidos en su relación de DBO₅/DQO para aguas domesticas se encuentran entre el rango de 0,4-0,8, con que solo el detergente A con un valor de 0,43 y el detergente B con valor de 0,67 se encuentran entre los limites aceptable a diferencia del detergente C con valor de 0,30. [10]

Aunque la biodegradabilidad no es una propiedad que dependa exclusivamente de los compuestos que van en el agua residual correspondiente, las enzimas que participan en la biodegradación del detergente A y los productos derivados de la misma si dependen del sustrato.

Con relación al análisis del porcentaje de biodegradación, el detergente A, supero el porcentaje del 60% según lo establecido en la norma ASTM D 2667 como se muestra en la figura 1 con la relación de la DBO₂₁/DQO, proclamándose biodegradable.

TABLA III
Normatividad DQO y DBO

DETERGENTE	Resolución 631 DEL 2015		Efluentes de detergentes		BIODEGRADABLE
	LIMITES PERMISIBLES (mg O ₂ /L)				
	200	-	300	500	
	DQO	DBO ₅	DQO	DBO ₅	
A	NO	-	NO	NO	SI
B	NO	-	NO	NO	SI
C	NO	-	NO	NO	NO

Así mismo, el detergente B con un porcentaje de 76% y siendo más alto que el detergente A (72%), se considera biodegradable, aunque cabe referenciar que fue el de mayor valor de DQO, en la relación propuesta para la determinación de la biodegradabilidad, los valores de la DBO₅ fueron superiores al detergente A, dándole un mayor aporte a la degradación por vía biológica.

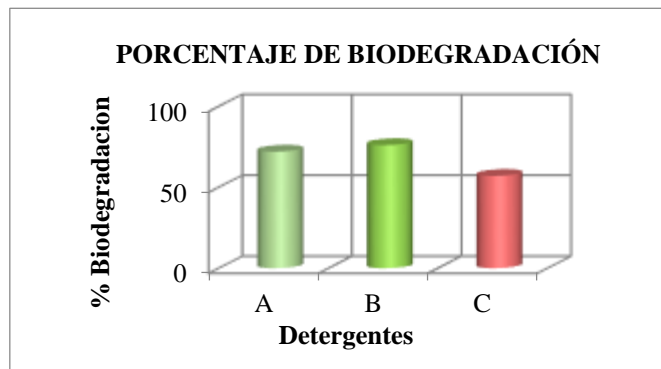


Fig 1. Porcentaje de biodegradación de cada detergente

Conviene señalar que en porcentaje de biodegradación por la DQO y la DBO, la dependencia del valor final obtenido de la DBO con la actividad metabólica de los microorganismos presentes en la muestra. Esto es debido a que la actividad, tipo y concentración de estos microorganismos heterogéneos no son factores controlados en el análisis del laboratorio.

Así, el agua proveniente del lavado con los productos de detergencia con microorganismos de baja actividad (por ejemplo, en el caso de tóxicos proveniente por los surfactantes

presente en los detergentes B y C) puede presentar una DBO baja aun cuando su contenido orgánico sea significativo.

Es de conocimiento que los microorganismos del agua sufren variaciones estacionales en su cuantía y tipo y, por tanto, podemos decir que la unidad de medida de la DBO en el análisis clásico tiene una variabilidad intrínseca considerable.[11]

Por último, el detergente C fue el que no obtuvo el porcentaje de biodegradabilidad indicado, pero trasciende el hecho de que es el detergente más consumo (Ver Tabla 2) para actividades de lavandería, esto se debe a su bajo costo económico y su presencia en las despensas locales y municipales. Este uso en aumento, puede acrecentar el problema en los sistemas de tratamiento de agua y cuerpos receptores por los subsiguientes efectos (como ejemplo, aumento en la espuma por los surfactantes, aumento de la toxicidad, etc.) debido a sus efectos colaterales.

B. Relación de biodegradabilidad DQO/DBO₅

Otro método para establecer la biodegradabilidad de los productos de detergencia es la comparación entre la Demanda Química de Oxígeno (DQO) y la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO₅) (Tabla IV), ambas medidas indirectas del contenido de materia orgánica.

Consiste en establecer la relación DQO/DBO₅. Cuando la DBO₅ tiene un valor cercano al de la DQO, los procesos biológicos son eficientes en la degradación de la materia orgánica. En caso contrario, si la DQO es mucho mayor que la DBO₅, la acción de los microorganismos sobre la materia orgánica no es eficiente y el agua residual no sería degradable por medios biológicos.

Tabla IV
Relación DQO/DBO₅ – Concepto

RELACION DQO/DBO ₅	CONCEPTO
Mayor que 5,0	No degradable
Entre 3,0 y 5,0	Realizar estudios adicionales
Menor que 3,0	Degradable

Como base de referencia, utilizamos las aguas residuales de origen doméstico que son degradables en más de 90% cuando se someten a procesos de aireación natural o forzada. La relación DQO/DBO₅ para ellas varía entre 1,8 y 2,5.[12]

En consecuencia, como se muestra en la Tabla IV, cuando la relación DQO/DBO₅ de las aguas con los productos de detergencia es mayor que 5,0 son difícilmente tratables por medios biológicos y se consideran no degradables. Para valores entre 3,0 y 5,0 es necesario realizar estudios adicionales para establecer su degradabilidad, mientras que cuando esta relación

es inferior a 3,0 las aguas son tratables por medios biológicos y se consideran degradables.

Por lo anterior, y con base a los resultados de relación DQO/DBO₅, el detergente A con valor de 2,32 y el detergente B con 1,49 se encuentran entre los valores de biodegradabilidad correspondientes, que mientras el detergente C con valor de 3,23 supera la relación determinada y no se considera biodegradable.

Tabla V
Relación DQO/DBO₅ – Resultados

DETERGENTE	DBO ₅ mg O ₂ /L	DQO mg O ₂ /L	RELACION DQO/DBO ₅	CONCEPTO
A	315	731	2,32	Degradable
B	786	1173	1,49	Degradable
C	301	973	3,23	No degradable

Por lo indicado en la tabla V, y con base a los resultados de relación DQO/DBO₅, el detergente A con valor de 2,32 y el detergente B con 1,49 se encuentran entre los valores de biodegradabilidad correspondientes, que mientras el detergente C con valor de 3,23 supera la relación determinada y no se considera biodegradable.

El detergente C presenta el menor valor de DBO₅, aunque no se considera biodegradable debido a que por la presencia de surfactantes la concentración de masa de oxígeno consumido se da por descomposición química debido a que los microorganismos presentes no pueden degradar algunos de los componentes de los surfactantes aniónicos y no iónicos. Los resultados concernientes a la DBO₂₁, DBO₅ y DQO, representados descriptivamente en la Figura 2, denota que aunque las relaciones de biodegradabilidad fueron más promisorias para el detergente B, este necesita de un mayor consumo de oxígeno tanto biológico como químico para su biodegradación.

Lo anterior representa una contraparte con el detergente B, aunque ecológico por su biodegradabilidad, esto significa mayor consumo de oxígeno, interfiriendo en la demanda que se utiliza por la vida biológica, adicionando, sus efectos por la adición de surfactantes. Una comparación contrastada, se refleja que el detergente B necesita mayor consumo de O₂ para la DBO₅ que el que se requiere por el detergente A para la oxidación por medios químicos.

El detergente C refleja que es el que menor es susceptible a ser la degradación por vía biológica, con que el medio para producir la degradación es factible por vía química por su alta contenido de O₂ en referencia a la utilizada por vía biológica por las concentraciones químicas que no son posibles ser degradadas por microorganismos. Esto además justifica los resultados de biodegradación anteriormente calculados que muestra un mayor grado de contaminación por la demanda de oxígeno requerido por el agua para degradar el contenido de

materia orgánica incluyendo el necesario para la degradación biológica.

Los valores de la $nbDBO$ calculado con relación a la concentración de la DBO_u en la DQO, refleja que la materia orgánica no biodegradable es superior en el detergente C (39,87% $nbDBO$), en relación al detergente A (26,12% $nbDBO$) y el detergente B (23,87% $nbDBO$). Los porcentajes sobre la $nbDBO$ reflejaron que el detergente C solo puede degradarse en aproximado un 60% por medio biológico y el restante es materia orgánica no asimilada o no biodegradable por los microorganismos presentes en la muestra.

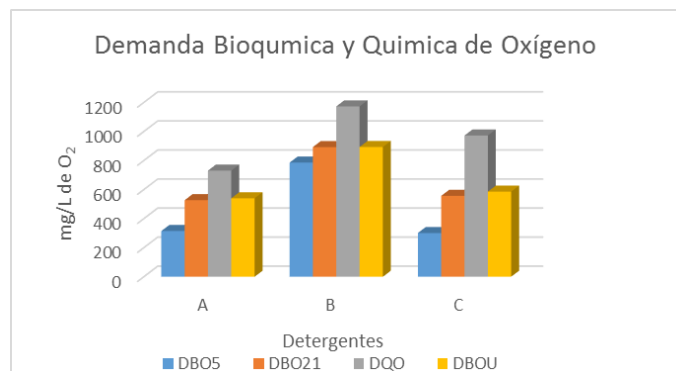


Fig 2. Grafica DBO₅, DBO₂₁, DBO_U y DQO

Así mismo, estas altas concentraciones de DQO por su oxidación generan a su vez mayor concentración de CO₂ y CH₄ proveniente de la descomposición de la materia orgánica, debido al oxígeno requerido por los microorganismos para oxidarla totalmente a CO₂ y H₂O, generando mayor concentración de gases de efecto invernadero.

Los valores de los detergentes A y B obtenidos de la relación DQO/DBO₅ para las aguas residuales estudiadas, sugieren que están pueden ser depuradas a través de tratamiento biológicos tales como fangos activos o sistemas de lagunaje para la reducción de concentraciones contaminantes.

C. Resultados de parámetros físico-químicos

En los reportes de resultados dados por el laboratorio externo contratado, se observa que los valores resultantes a los parámetros analizados de cada detergente, varían dependiendo tanto de la composición del detergente como del principio en que actúa para la remoción de la suciedad (mugre), además de otros factores los cuales participan intrínsecamente en la determinación de la biodegradabilidad y permiten participar en la determinación de los parámetros propuestos.

- **Análisis potencial de hidrogeno (pH)**

Los resultados experimentales reportados por el laboratorio observado en la Tabla VI correspondiente al pH en que se puede observar que los valores sobrepasan los límites permisibles de vertimiento regulado por la legislación Colombia [8] por vertimientos residuales de agua doméstica - ARD, así como por estudios existentes sobre sus propias características en que los rangos se encuentran entre 6 a 9. [13]

Aunque se encuentra una diferencia significativa entre los detergentes A, B y C, esto puede deberse a las características de las composiciones, que por un lado el detergente A con su contenido de Carboximetilcelulosa genera una contribución de hidroxilos al disociarse en sus iones cuando entran en contacto con el agua y aporte de sales provenientes de la suciedad.

Por otro lado, el detergente B se puede estimar que su valor se debió a los tenso activos aniónicos presentes que contienen iones hidroxilos (OH⁻) que provoca el aumento en el pH, aunque faltaría determinar otras interacciones que pueda generar los ingredientes con el agua y suciedad provenientes de la ropa. Para la misma caracterización faltante se deben los valores del detergente C, que por tener tan poca información sobre sus ingredientes, la clase y tipo de surfactante utilizado se pueda tener una veracidad del resultado proveniente de la muestra.

TABLA VI
Análisis de pH

DETERGENTE	A	B	C
pH	10,01	10,3	10,5

De lo anterior, se denota que los tres detergentes son de tipo alcalino que contienen surfactantes para mejorar el poder de enjuague y controlar la espuma producida en la limpieza, aunque esto tiene repercusiones en el ecosistema receptores provocando afectaciones en suelos donde son vertidos las descargas de lavandería, además de adiciones de sustancias ácidas para el tratamiento en las plantas de tratamientos de agua residuales.[14]

Faltante por resaltar que además si se considera que las descargas van directos a cuerpos de agua a los niveles obtenidos, con respecto a las comunidades, actúa directamente en los procesos de permeabilidad de la membrana celular de los organismos integrantes, interfiriendo en el transporte iónico entra y extracelular, así como también entre organismos en el medio.[15]

- **Conductividad – Salinidad**

La conductividad eléctrica aportada por los detergentes, está asociada a los iones presentes en su composición y concentración de sales disueltas en el agua, que en consideración a la suma de los iones tanto del agua como del detergente se produjo un aporte importante por los detergentes analizados. Pude además haber un aporte por los surfactantes

presentes que tienen ciertas propiedades especiales frente a la concentración en disolución.[16]

Estos aportes se producen por iones presentes en la composición de cada uno de los detergentes y de los cuales se pueden incluir los aportados por la suciedad de la ropa. En la Figura 3, se puede observar que hay entre las detergentes diferencias significativas de la conductividad.

Las más altas concentraciones de conductividad y salinidad es la reporta por detergente C, que además refleja tres veces mayor concentración en comparación del detergente A y casi dos veces más la concentración del detergente B, mostrando la mayor concentración de iones presentes de cationes y aniones.

El detergente C, al tener mayor concentración de hidroxilos [OH-] reflejado en los valores de pH (Ver Tabla VI) y ser la muestra más básica con diferencia de los otros detergentes, su conductividad es superior por los valores aportados por el hidroxilo (199 unidades). Los otros iones comunes tienen valores que varían entre 40 y 80 unidades, y esto demuestra que en composición, este detergente tiene concentración de cationes y aniones superiores que hacen partícipe de la medición.

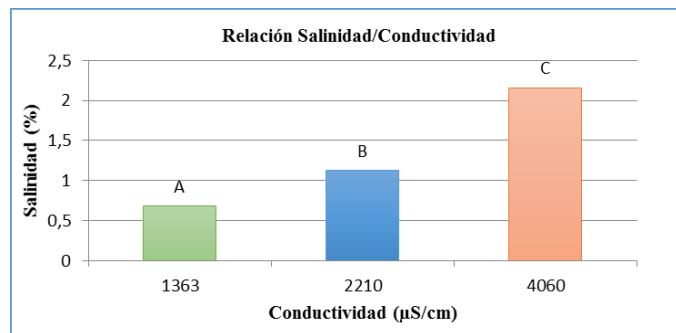


Fig 3. Relación Salinidad/Conductividad

Estas concentraciones, puede provocar la alteración de la conductividad del medio ambiente, aumentando o disminuyendo los niveles de sal que afectará negativamente las capacidades metabólicas de los organismos e incluso alterar el tipo de ion (por ejemplo, de potasio para el sodio) que puede ser perjudicial para la vida acuática si sus procesos biológicos no pueden hacer frente a los diferentes iones.

- **Conductividad – SST (Sólidos Suspendidos Totales)**

El detergente C, muestra un mayor valor de conductividad e indica igualmente el mayor contenido de sales con referentes a los detergentes A y B, al igual que según la relación de la fórmula 1, presenta mayor presencia de SST aunque no se dispone de datos fiables sobre posibles efectos para la salud asociados a la ingestión de SST presentes en el agua de consumo y no se propone ningún valor de referencia basado en

efectos sobre la salud. No obstante, la presencia de concentraciones altas de SST en el agua de consumo puede resultar desagradable para los consumidores.[17]

Un factor importante en los valores obtenidos se debe a la cantidad de detergente adicionada con base a la concentración de los mismos y según las referencias de los fabricantes. En el detergente A por su concentración, se adiciono 12 g mientras que en los detergentes B y C fue de 36 g, lo que indica que en estos dos últimos hay mayor presencia de iones que hacen parte del análisis de la conductividad y en su correlación se encontraron mayor SST como lo demuestran los resultados.

Por ser un análisis en solución acuosa, la conductividad es directamente proporcional a la concentración de sólidos disueltos, por lo tanto entre mayor sea la conductividad, mayor será la concentración. Una aproximación a lo anterior se expresa en la fórmula 1, en el cual para realizar los calculo teóricos para la comparación de los análisis suministrados se tomó como FC=0,64 por ser el fabricante del equipo de medición. [18]

$$SST = FC * CE \quad \text{Fórmula 1. Correlación SST – CE}$$

Como se muestra en la Figura 4, las concentraciones tiene una correlación significativa en los análisis reportados, deja entre ver que el detergente C tiene la mayor cantidad de SST (4060 mg SST/L) y esto puede provocar el limitado crecimiento de la vida acuática y puede producir muerte de ciertas especies que no toleran altas concentración de SST en los lugares de vertimiento con este producto de detergencia.

La relación propuesta en la fórmula 1 y mostrada en la figura 4, tiene una alta diferencia a los análisis de laboratorio. Esto puede deberse a las grandes concentraciones de iones aniónico y no iónicos de los surfactantes presentes en los detergentes que aumentan la concentración de TDS, también cabe referirse al factor de correlación utilizado, ya que en muchos casos no es proporcional por factores intrínsecos que afectan su valor como temperatura, concentración de iones presentes, entre otros.

Las concentraciones obtenidas de solidos disueltos aportado por los detergentes representando el material soluble y coloidal, en los sistemas de tratamiento requerirá usualmente para su remoción la oxidación biológica o coagulación y sedimentación.

En el tratamiento biológico de las aguas residuales se recomienda un límite de sólidos disueltos de 16000 mg/L [19] , que por concentración obtenida, los detergentes A, B y C están en el lumbral para practicarles a las descargas provenientes de lavandería diversidad de tratamientos biológicos buscando su reducción para disminuir sus concentraciones en vertidos.

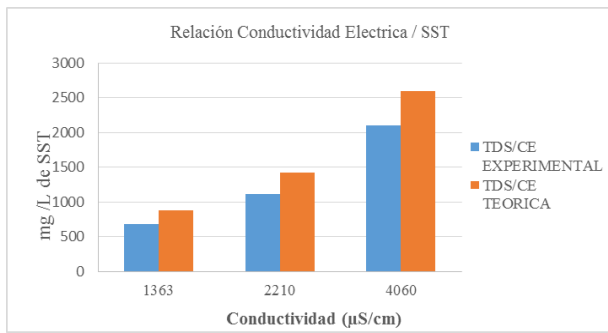


Fig 4. Relación Salinidad/Conductividad

Las concentraciones de SST reportadas por los detergentes, pueden provocar que las células se encojan, además pueden afectar a la capacidad de un organismo para moverse en una columna de agua, haciendo que flotan o se hundan más allá de su rango normal, así mismo los SST también puede afectar el sabor del agua, y, aumentar la alcalinidad o dureza.

• Salinidad

El detergente A, referencia en su composición contiene iones de sales de cloruro de sodio (NaCl), en lo cual son los mayores en la determinación en la medición de la salinidad, aunque los resultados denotan que el detergente A, obtuvo la menor cantidad (0,68 %) en diferencia del detergen B (1,13%) y del detergente C (2,16%), no se puede estimar su aumento en el porcentaje de salinidad con relación del detergente B y C, ya que no se encuentra con información suficiente para dar una posible presunción por su aportación, aunque por el contenido de surfactantes aniónicos y no aniónicos se está generando su mayor aporte.

Con referente a la relación conductividad – salinidad, se observó que entre mayor era la conductividad, mayor era la salinidad (Ver Figura 3). Esta relación se debió a que la salinidad del agua procedente del proceso de lavandería es una variable que se mide por un indicador según su conductividad eléctrica.

Los valores obtenidos en los análisis de laboratorio, no contemplan regulación en vertimientos ni disminución en relación a la conductividad o salinidad Resolución 0631/2010 [8], por lo que se entrevere que sin importar su aportación de iones positivos negativos, en cualquier magnitud de descarga se permite su vertimiento a los cuerpos de aguas, lo que ocasiona que sin una reglamentación regulada, estas grandes aportación de iones produzcan un desgaste en los suelos donde no se tiene con un sistema de alcantarillado, además de cantidad de sales en solución que afecta varios procesos físicos importantes, así como propiedades importantes del agua y de sustancias disueltas en agua [20] que puede provocarse en aguas receptores en zonas rurales o afectaciones por estos procesos en los sistemas de tratamiento.

Hay que reforzar estudios sobre la salinidad en productos de detergencia, en particular porque afecta la solubilidad del oxígeno disuelto. Cuanto mayor sea el nivel de salinidad, menor será la concentración de oxígeno disuelto y puede afectar los procesos metabólicos y fotosintéticos en cuerpos de agua receptores o en sistemas de tratamiento anaerobio y aerobio.

• Ortofosfatos

La determinación de fosfatos en los detergentes analizados muestra que ha venido en disminución la utilización debido a los altos niveles de fósforo procedentes del tripolifosfato, principal ingrediente de las formulaciones de los detergentes que se utiliza como efecto ablandador del agua para flocular y emulsionar a las partículas de mugre. [6]

Por lo anterior, han venido restricciones para la utilización de fosfatos en los productos de detergencia y se puede observar que entre los detergentes A y C, en sus composiciones no muestran ingredientes relacionados con fosforo a diferencia del detergente B que especifica que tiene de su composición menor al 0,15% (Tabla I). Esto se manifiesta en los resultados de la Tabla VII, que refleja la presencia de fosfatos menor al 1% entre el detergente A (0,21 mg PO₄⁻³/L) y el detergente B (0,39 mg PO₄⁻³/L) a diferencia del detergente B (8,45 mg PO₄⁻³/L).

TABLA VII
Análisis Fosfatos

DETERGENTE	ORTOFOSFATOS mg P/L	FOSFATOS mg PO ₄ ⁻³ /L
A	0,07	0,21
B	2,76	8,45
C	0,13	0,39

Con referencia al detergente B, aunque se presenta el mayor valor de fosfatos, no deja de ser estimativo por su baja concentración debido a que pueden unirse a otros fuentes de aportación de fosfatos (efluentes con presencia de fosforo, procesos y vertimientos con fosfatos, etc.) y aumenten su concentración en aguas residuales en la que se estima que el 20% de presencia de fosfatos en las plantas de tratamiento de aguas residuales proviene de los productos de detergencia en la que se debe limitar las fuentes de aportación para el control del crecimiento de las algas sobre las paredes e instalaciones de los sistemas de proceso que proliferan el crecimiento de las mismas.[21]

La normatividad con relación al límite máximo permisible de vertimiento de ortofosfatos no especifica ningún valor referente, solo que deberán estar en proporción que no ocasionen eutrofización, el cual deja un vacío existencial para el control de descargas con contenido de fosfatos dejando a demás el ecosistema carente a las descargas sin control normativo.

Por último, cabe referenciar que se están realizando acciones en pro de que los productos de detergencia para que estos no tengan contenidos de fosfatos debido a las consecuencias sobre el medio ambiente y agua anteriormente mencionadas, esta reducción del contenido de fosfatos en las aguas residuales dará un respiro a la vida acuática y mejorará la calidad de las aguas en general [22], sin embargo ya hay fórmulas libres de fosfatos en el mercado (como los reflejados en el detergente A y C) e innovaciones constantemente para ofrecer productos que cumplan con las expectativas en términos de limpieza.

- **Surfactantes**

Actualmente, los surfactantes más utilizados en la fabricación de detergentes son los aniónicos LAS o ácido dodecibenceno sulfónico lineal, los cuales comprenden más del 40 % de todos los surfactantes utilizados [23] y más del 80% del uso en detergente doméstico, mientras que el resto son no iónicos, catiónicos y anfóteros.

Esta presencia de surfactantes se ve claramente referenciado en la composición de los detergentes B y C (Tabla I), en el cual el detergente B especifica contenido de tipo aniónico y no iónico con relación al del detergente C que no especifica el tipo de surfactantes que está utilizando para la remoción de suciedad provocando afectaciones a cuerpos de aguas receptores que adelante se referenciarán.

Los surfactantes presentes en los detergentes B y C, como lo muestra la Figura 5, superan la concentración con referencia a los efluentes de la fabricación de productos de detergencia que se encuentran en 200 mg SAAM/L, además del valor máximo permisible de vertimiento en cuerpos de agua que se encuentra en el valor de 5 mg SAAM/L.

En comparación a estudios realizados, superan la concentración especificada promedio que indican las concentraciones típicas de surfactantes no iónicos en las aguas residuales municipales que actualmente se encuentra en el intervalo de 3-4 mg SAAM/L.

La concentración elevada de surfactantes reportado por los análisis de los detergentes B y C, se debe a que en su mayoría, por no ser productos biodegradables, tienen un contenido de 10% al 30% de surfactantes de origen natural o sintético, agentes reforzadores, inhibidores de corrosión, agentes auxiliares, blanqueadores y perfumes como lo referencian otros.[23]

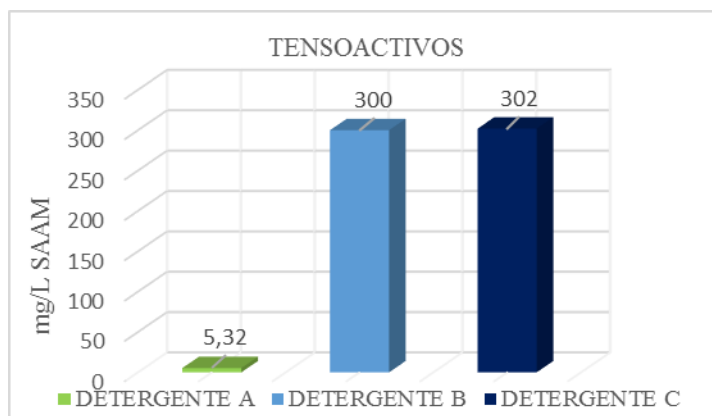


Fig 5. Valores de Surfactantes

Los valores de los detergentes B y C exceden cada uno en más del 600% del valor admisible de agua para consumo humano con valor referenciado de 0,5 mg SAAM/L [24], estas altas concentraciones de surfactantes reportados por los detergentes B y C, es potencialmente peligrosos para la fauna acuática, y los agentes reforzadores con polifosfatos son los más peligrosos, los primeros por ser muy tóxicos para organismos acuáticos [25] , ya que su modo de acción es amplio, debido a su carácter anfílico y a sus propiedades de solubilización de membranas y disrupción endocrina, entre otras.[7]

De lo anterior, conllevaría a un riesgo aguas abajo donde son descargados los vertimientos por los productos de detergencia que también pueden alterar las características hidráulicas de los suelos, que afectan a la circulación de los contaminantes a través de los suelos y en las aguas subterráneas[26]. Aguas abajo, puede ocasionar un problema de salubridad pública por aquellos asentamientos donde recolectan agua para consumo humano, y esta al estar tan concentrada con surfactantes puede ocasionar problemas a la salud humana.

Con referente al detergente A, fue el que obtuvo el menor valor de surfactantes (5,32 mg SAAM/L) a diferencia de los detergentes homólogos. Su mayor razón estriba en que en su composición no contiene surfactantes, además de que su principio activo para la limpieza es por medio de enzimas proteasas que sustituyen los agentes aniónicos y no iónicos.

Las enzimas utilizadas proteasas en el detergente A, optimizan su eficiencia, a la vez que permiten el trabajo de limpieza a bajas temperaturas y períodos más cortos de lavado, reduciendo significativamente el consumo de energía y las emisiones de CO₂. Una fuerte diferencia con relación a los valores obtenidos entre los detergentes A y los detergentes B y C, deriva en el primero por el uso activo de enzimas no produce espuma en su utilización, mientras que los dos siguientes por contenidos de surfactantes promueven la espuma para aumentar la superficie y poder situarse en la interface.

Esta espuma produce problemas como puede ser la lectura errónea de diversos equipos utilizados para el control del proceso en aplicaciones como temperatura, nivel, oxígeno disuelto entre otros en los sistemas de tratamiento de agua una vez las descargas por productos de detergencia hallan arribado al sistema.

CONCLUSIONES

- Según los resultados obtenidos para la determinación de biodegradabilidad bajo la norma ASTM, se obtuvo que los detergentes A y B superando el 60% de relación DBO₂₁/DQO proclamándose biodegradable. El detergen C obtuvo un valor superior respecto a la relación DQO/DBO₅ (3,5) y un valor inferior al porcentaje de relación DBO₂₁/DQO (56%), entre los dos no alcanzando los valores correspondientes para ser considerado biodegradable.
- Dada la relación DQO/DBO₅, el detergente A y B, igualmente se encuentra entre los rangos de biodegradabilidad con valores de 1,6 y 2,5 siendo inferiores a 3,0., notificándose biodegradables.
- Los resultados de biodegradabilidad concuerdan con las especificaciones de los fabricantes de los detergentes A y B (Ver Tabla I) en que el primero que se proclama biodegradable y el siguiente se referencia como detergente ecológico, que mientras a lo que corresponde el detergente C, sus ingredientes con surfactantes y fosfatos no dejar entre ver acciones de sensibilidad ambiental, ni tecnologías con productos biodegradables para mitigar sus efectos a los cuerpos de agua.
- Los resultados obtenidos por los tres productos de detergencia con referencia a la DQO y pH, no cumplen con el valor límite máximo permisible de vertimientos puntuales de aguas residuales domesticas contemplada en la resolución 631/2015.
- Las altas concentraciones de surfactantes reportados por los detergentes B y C, están ocasionando grandes afectaciones a los cuerpos de agua y suelos receptores, en que en muchas veces poco se les considera como principales garantes, aún más crece la preocupación ya que no se cuenta con un límite máximo de vertimiento por normas colombianas.
- Los resultados del detergente C, correspondieron a determinarse como el más pernicioso para el medioambiente por la utilización de fosfatos, aunque aumenta la preocupación ya que se encuentra como el producto de mayor consumo para acciones de lavandería.
- El detergente A referencio las más bajas concentraciones de contaminantes aportadas al agua gracias

a su principio activo por enzimas que remplazan los surfactantes presentes en los detergentes B y C.

- El detergente B se destacó por los mejores resultados de biodegradabilidad, que no quiere decir que sean totalmente inofensivos para el medio ambiente, sino que tienen una elevada y rápida degradabilidad, aunque para alcanzar tales concentración requiere mayor consumo de oxígeno, adicionalmente de su problemática por el uso dos clases de surfactantes: anionico y no iónico.

REFERENCES

- [1] Ivanković T., Hrenović J., Surfactants in the Environment. Division of Biology, Faculty of Science, University of Zagreb, Zagreb, Croatia. Review. Arh Hig Rada Toksikol 2010; 61:95-110
- [2] Morales Quintana, L. A. Estudio del proceso de transferencia de calor convectivo en nanofluidos, Maestría en Ingeniería Mecánica, Barranquilla, Fundación Universidad del Norte. 2007. 70 p.
- [3] Varó Galván, P. J. Contribución al estudio sobre el comportamiento ambiental y degradación de jabones. Tesis Doctoral. España. Universidad de Alicante. Departamento de Ingeniería Química. 2002. p.
- [4] Colombia Ministerio de la Protección Social Resolución 1974 del 2008. Por la cual se adopta el reglamento técnico sobre requisitos que deben cumplir los detergentes polvos limpiadores abrasivos de uso doméstico. Disponible en: https://www.invima.gov.co/images/pdf/normatividad/cosmeticos/resoluciones/resolucion_1974.pdf. Consultada el: 14 de abril de 2017
- [5] Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. Water environment federation, (1999).
- [6] Gender Cevallos, K. ; Arnao Ramirez, J. Estudio de la biodegradación de los detergentes comerciales domésticos de nuestro país. Repositorio Institucional de la Universidad de Guayaquil. Ecuador, 2016. 3-94 p.
- [7] Rusell, G. Determinación de la concentración letal media (CL50) de cuatro detergentes domésticos biodegradables en *Laeonereis Culveri* (webster 1879) (polychaeta: annelida). Mexico, 2011. 2 p.
- [8] COLOMBIA. MINISTERIO DE AMBIENTE Y DESARROLLO SOSTENIBLE. Resolución 0631. (17, Marzo, 2015). Por lo cual se establecen los parámetros y los valores límites máximos permisibles en los vertimientos puntuales a cuerpos de agua superficiales y a los sistemas de alcantarillado público y se dictan otras disposiciones. Bogotá, D.C.: El Ministerio, 2015. 6 p.
- [9] MINISTERIO DEL MEDIO AMBIENTE. Formulación de planes de pretratamiento de efluentes industriales. Guía Ambiental. Programa Fortalecimiento Institucional para la Gestión Ambiental Urbana – FIGAU. Bogotá.: SINA, 2002. 19, p.
- [10] Características de las aguas residuales Disponible en: <http://cidta.usal.es/cursos/ETAP/modulos/libros/Caracteristicas.PDF> 6. Citado el 5 Octubre del 2016.
- [11] Díez Caballero T., Rodríguez Albalat, G. et. al. La DBO en el control del funcionamiento de las EDARs (1995).
- [12] MINISTERIO DEL MEDIO AMBIENTE. Formulación de planes de pretratamiento de efluentes industriales. Guía Ambiental. Programa Fortalecimiento Institucional para la Gestión Ambiental Urbana – FIGAU. Bogotá.: SINA, 2002. 19, p.
- [13] MINISTERIO DEL MEDIO AMBIENTE. Formulación de planes de pretratamiento de efluentes industriales. Guía Ambiental. Programa Fortalecimiento Institucional para la Gestión Ambiental Urbana – FIGAU. Bogotá.: SINA, 2002. 25, p.
- [14] AMAYA, W. F. Control de pH para planta de tratamiento de aguas residuales. Ciencia e Ingeniería Neogranadina. Universidad Militar Nueva Granada Colombia, 2004. 1,3 p.
- [15] CASTAÑON, A. Ecosistemas acuáticos: Acidez y alcalinidad del agua. (2012).

- [16] LECHUGA, M. Biodegradación y toxicidad de tensoactivos comerciales. Tesis Doctoral. Granada, Universidad de Granada, 2005. 43, 235 p.
- [17] OMS, 2003: Total dissolved solids in drinking-water. Documento de referencia para la elaboración de las Guías de la OMS para la calidad del agua potable. Ginebra (Suiza), Organización Mundial de la Salud (WHO/SDE/WSH/03.04/16).
- [18] RECINTO UNIVERSITARIO DE MAYAGÜEZ. Parámetros Físicoquímicos: Sólidos Disueltos Totales. (2010). 2,3 p.
- [19] UNIVERSIDAD NACIONAL ABIERTA Y A DISTANCIA. Lección 2. Características de las aguas residuales. Disponible en: <https://es.slideshare.net/carodiaz7906/capitulo-2-caracteristicas-de-las-aguas-residuales>. Citado: 3 Agosto de 2017.
- [20] RECINTO UNIVERSITARIO DE MAYAGÜEZ. Parámetros Físicoquímicos: Salinidad. (2010). 3,7 p.
- [21] Nebel, B. J. Ciencias Ambientales, ecología y desarrollo sostenible. Ed. Prentice Hall. 311-313 p.
- [22] Eliminar Los Fosfatos De Los Detergentes Para Mejorar La Calidad Del Agua. En: PORTADA DEL PARLAMENTO EUROPEO. (16-06-2011); p. Ref.: 20110610STO21210.
- [23] Cain, R. B. Biodegradation of detergents. University of Newcastle upon Tyne, Newcastle upon Tyne. UK, 1994. 1 p.
- [24] MINISTERIO DE SALUD Decreto 475 de 1998 (Marzo 10 de 1998) Por el cual se expiden normas técnicas de calidad del agua potable Bogota D.C.: El Ministerio 8 p.
- [25] Pettersson A., Adamsson M. y Dave G. (2000). Toxicity and detoxification of Swedish detergents and sostener products. Chemosphere 41, 1611-1620 p.
- [26] Ortega Pesantez F. A. Desarrollo De Procedimientos De Análisis Químicos En Aguas Limpias Y Residuales Para La Validación En El Laboratorio De Medio Ambiente. Para aspirar al título de Ingeniería. Ecuador, Escuela Politécnica Del Ejército 2009. 15,18 p.