

300627

30

203



Universidad La Salle

Escuela de Ciencias Químicas

PROPUESTA DE UN DETERGENTE
BIODEGRADABLE PARA USOS
INDUSTRIALES MÚLTIPLES.

T E S I S

Que para obtener el Título de
QUIMICO FARMACEUTICO BIOLOGO

p r e s e n t a

María Andrea Sepúlveda Sánchez de la Barquera

Directora de Tesis: Dra. Araceli Sánchez de Corral

MEXICO, D. F. 1993.

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**



UNAM – Dirección General de Bibliotecas Tesis Digitales Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS © PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis está protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

INDICE

INTRODUCCION	1
CAPITULO 1.	
ANTECEDENTES Y PROSPECTIVA DEL USO DE DETERGENTES	3
1.1 Generalidades	4
1.1.1 Detergentes aniónicos	6
1.1.2 Detergentes catiónicos	7
1.1.3 Detergentes no iónicos	7
1.1.4 Detergentes biológicos	8
1.2 Impacto de los detergentes sintéticos sobre el medio ambiente	9
1.3 Características contaminantes de los detergentes sintéticos ..	12
1.3.1 Componentes	12
1.3.2 Efectos primordiales que ocasionan los detergentes sintéticos en el medio acuático	14
1.4 Ley General del equilibrio ecológico y la protección al ambiente (Norma Técnica Ecológica).....	16
1.4.1. Muestreo y Análisis de agua residual	17
CAPITULO 2.	
BIODEGRADACION	20
2.1 Definición	21
2.2 Mecanismo de biodegradación	22
2.3 Proceso químico de la biodegradación de los detergentes	23
2.3.1 Beta - Oxidación	23
2.3.2 Metil - Oxidación	26
2.3.3 Oxidación aromática	28

2.4 Métodos analíticos para evaluar la biodegradación de los detergentes	29
2.4.1 Métodos de evaluación de la alteración de las propiedades de los surfactantes	29
2.4.1.1 Formación de espuma	29
2.4.1.2 Tensión superficial	30

**CAPITULO 3.
DISEÑO EXPERIMENTAL** 32

3.1 Evaluación y criterio de selección de los constructores del detergente biodegradable	33
3.1.1 Selección del surfactante	33
3.1.2 Sustitutos de fosfatos	36
3.1.3 Solventes seleccionados	38

3.2 Desarrollo y propuesta de la formulación del detergente biodegradable	39
3.2.1 Formulación	39
3.2.2 Materiales y Métodos	40
3.2.2.1 Equipo	40
3.2.2.2 Desarrollo del detergente	40
3.2.2.3 Determinación de características finales y propiedades	41
3.2.2.3.1 Tensión superficial.....	42
3.2.2.3.2 Formación de espuma.....	43
3.2.2.3.3 Determinación de pH	43
3.2.2.3.4 Determinación de apariencia	44
3.2.2.3.5 Determinación de la eficiencia o poder de limpieza del detergente líquido biodegradable	44
3.2.2.3.6 Determinación del grado de biodegradabilidad del detergente líquido	45

**CAPITULO 4.
RESULTADOS Y DISCUSION** 47

4.1 Evaluación del detergente biodegradable propuesto	48
4.1.1 Propiedades obtenidas	48

4.1.2 Grado de limpieza obtenido	50
4.1.3 Evaluación de la biodegradabilidad del detergente líquido.....	52
CAPITULO 5.	
CONCLUSIONES	56
BIBLIOGRAFIA	58

INTRODUCCION

Los problemas relacionados con la contaminación ambiental son tan antiguos como la misma actividad del hombre sobre la tierra, pero en las últimas décadas se han acentuado notablemente algunos fenómenos tales como el crecimiento de la población, la migración del campo a la ciudad, la urbanización y la industrialización por nombrar los del área metropolitana de México; ésto ha provocado desequilibrios ecológicos que constituyen verdaderos desafíos para la humanidad y un reto para que el hombre ponga en juego sus mejores recursos tecnológicos; entendiendo por mejores, aquellos desarrollos que no son contrarios a la armonía del medio ambiente y así logre imponerse a un entorno que se deteriora gradualmente y se vuelve más agresivo.

El rápido e indiscriminado desarrollo tecnológico, si bien ha reportado grandes beneficios y comodidades, por otro lado, como un gran contrasentido, ha provocado serios desequilibrios ecológicos, extinguiéndose así paulatinamente recursos naturales que resultan en el deterioro de la calidad misma de la vida.(26).

Una de las causas de dicho problema es la contaminación de las aguas por acción de los detergentes sintéticos, misma que se espera sea controlada por el uso de los "DETERGENTES BIODEGRADABLES".

Los estudios relacionados con la biodegradación de detergentes han asumido gran importancia como consecuencia de la "Revolución Química" que ocurrió en la industria de los detergentes durante 1950.(28).

Los jabones, uno de los productos químicos más antiguos en su creación y utilización por el hombre que habían sido comercializados por generaciones anteriores a la nuestra se han visto rápidamente reemplazados por presentar desventajas: éstos en presencia de agua dura forman sales insolubles de hierro, calcio y magnesio que se depositan en los materiales sobre los que se han aplicado causando un deterioro constante, y unido ésto a su costo de producción que es elevado en relación con los detergentes. (27).

Un problema gradual se hace evidente; los detergentes comienzan a percibirse en las aguas de desecho, en aguas de ríos y en general en todas las aguas que son consideradas como residuales. Una de las principales causas por las que se induce el desarrollo de detergentes biodegradables y su uso, se debe a que presentan labilidad biológica. (19).

Es así, propósito de este trabajo desarrollar la formulación de un detergente con el atributo de biodegradable validándose esta acción y propiedades, con ayuda de métodos químicos analíticos.

CAPITULO 1.

ANTECEDENTES Y PROSPECTIVA DEL USO DE DETERGENTES.

1.1 GENERALIDADES.

Los jabones son sales alcalinas de los ácidos grasos superiores. Por ejemplo, el ácido esteárico, $C_{17}H_{35}COOH$, reacciona con hidróxido de sodio para formar la sal sódica $C_{17}H_{35}COO^-Na^+$, la cual es un jabón. Los otros compuestos utilizados comúnmente para la producción de jabones son: palmitato de sodio, $C_{17}H_{31}COO^-Na^+$ y oleato de sodio, $C_{17}H_{33}COO^-Na^+$.

La acción limpiadora del jabón, resulta principalmente de su poder emulsificante; considerándose así, la naturaleza dual del anión del jabón. La estructura del ión estearato consiste de una cabeza hidrofílica y una larga cola hidrocarbonada.

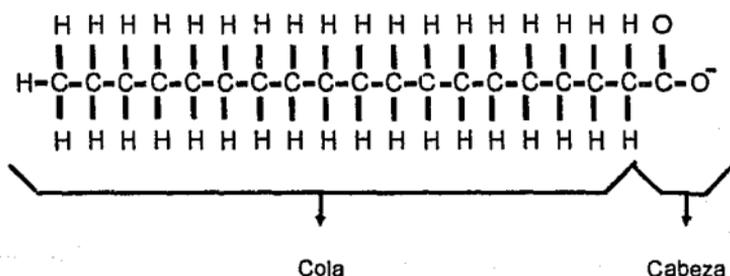


Fig. 1 : Ión estearato.

En presencia de aceites, grasas y otros compuestos orgánicos insolubles en agua o solventes no polares, la tendencia de la cola del anión, es la disolución de materia orgánica, mientras que la cabeza permanece en la fase acuosa. Por lo tanto, el jabón emulsifica o suspende el material orgánico en el agua.

Esto sucede en forma de micelas coloidales de jabón, así éste disminuye la tensión superficial del agua.(28).

Un detergente se puede definir cualitativamente como agente limpiador, surfactante, agente superficial o tensoactivo y por el término más concreto de detergente sintético, se entienden todos aquellos productos de este tipo obtenidos a partir de materias primas petroquímicas por la síntesis orgánica, distintos al jabón. Desde el punto de vista general químico por sus propiedades fisicoquímicas, los detergentes son sustancias que tienen la propiedad de reducir la tensión superficial de los líquidos en los que se encuentran disueltos, de este modo adquieren mayor poder de penetración a través de los poros de ciertos materiales extendiéndose así más fácilmente sobre la superficie de los cuerpos en los que se aplica.

La reducción de la tensión superficial no parece ser el único efecto de los detergentes. Estudios recientes han demostrado que una solución de un detergente tiene la habilidad de cargar negativamente cualquier interfase incluyendo las partículas de polvo, independientemente de su carga original. Por eso durante el proceso de lavado, la tela y el polvo se cargan negativamente y se repelen entre sí.(27).

Los detergentes se clasifican de acuerdo a su comportamiento electrolítico en soluciones acuosas, que depende de la naturaleza del grupo polar y así se pueden establecer tres tipos:

1.1.1 Detergentes aniónicos.

En los que la porción hidrofílica es un anión. Son los detergentes más usados y los ejemplos más comunes de éstos son los alquil bencén sulfonatos lineales (LAS) y los ramificados (ABS).

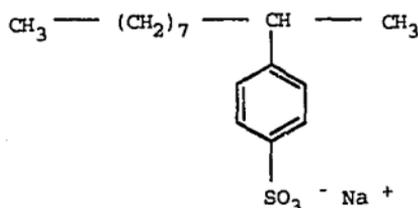


Fig. 2 Alquilbencénsulfonato lineal (LAS).

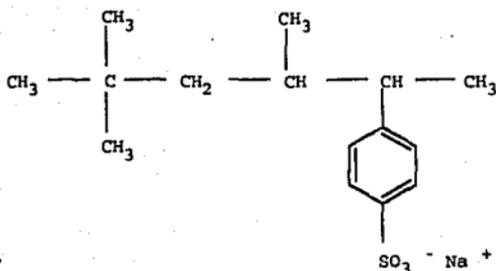


Fig. 3 Alquilbencénsulfonato ramificado (ABS).

1.1.2 Detergentes catiónicos.

En los que la porción activa se localiza un complejo con carga positiva, por lo general un derivado orgánico cuaternario de amonio. Estos compuestos son más utilizados por sus propiedades bactericidas que por sus propiedades detergentes, limitándose así su uso.



Fig. 4 Fórmula general de un detergente catiónico.

1.1.3 Detergentes no iónicos.

Son aquellos que no tienen carga eléctrica y son el resultado de la polimerización de moléculas de óxido de etileno.

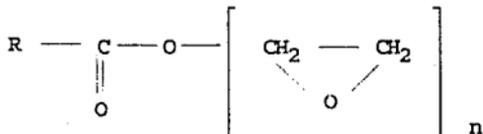


Fig. 5 Fórmula general de un detergente no iónico.

1.1.4 Detergentes Biológicos.

Son una mezcla de detergentes comunes, aromatizantes, colorantes y un agente biológico, que es generalmente una enzima proteolítica producida por una bacteria llamada *Bacillus subtilis*. Esta enzima al encontrarse en condiciones favorables de temperatura, humedad y pH provoca la desintegración de las moléculas de grasa y de proteína.(27).

1.2 IMPACTO DE LOS DETERGENTES SINTETICOS SOBRE EL MEDIO AMBIENTE.

Los detergentes sintéticos han sido aceptados por los consumidores modernos y su uso supone una necesidad en la vida diaria. Durante el período inicial de su desarrollo y utilización (1942-50), se mostró poco interés hacia el impacto ambiental que estos podrían originar. En realidad, sólo transcurrieron 15 años a partir de su lanzamiento al mercado para que los detergentes sintéticos manifestaran consideraciones apreciables de deterioro en relación a su efecto sobre el medio ambiente.(19). Esta preocupación reciente ha originado modificaciones tanto en las formulaciones de los detergentes como en los sistemas de tratamiento de aguas residuales.

Para lograr una verdadera evaluación sobre el impacto que ejercen los detergentes sintéticos sobre el medio ambiente, es preciso considerar principalmente los siguientes aspectos:

1. Especificación de la calidad del Medio Ambiente deseado.
2. Elucidación de las principales relaciones biológicas, químicas y bioquímicas inherentes a la calidad ambiental deseada.
3. Identificación de los contaminantes potenciales que constituyen a los detergentes sintéticos.
4. Efecto de los contaminantes potenciales que forman a los detergentes sintéticos sobre la calidad del Medio Ambiente deseado si éstos son arrojados al drenaje público.
5. Evaluación de tecnologías generales y futuras en el tratamiento de aguas de desecho en relación a los elementos potencialmente contaminantes.

Es difícil, sin embargo, obtener una idea rápida y acertada en relación a los aspectos anteriores con el objetivo de lograr su perfecta integración, por lo que se sugiere el uso del siguiente diagrama que fue realizado utilizando simuladores con ayuda de una computadora.

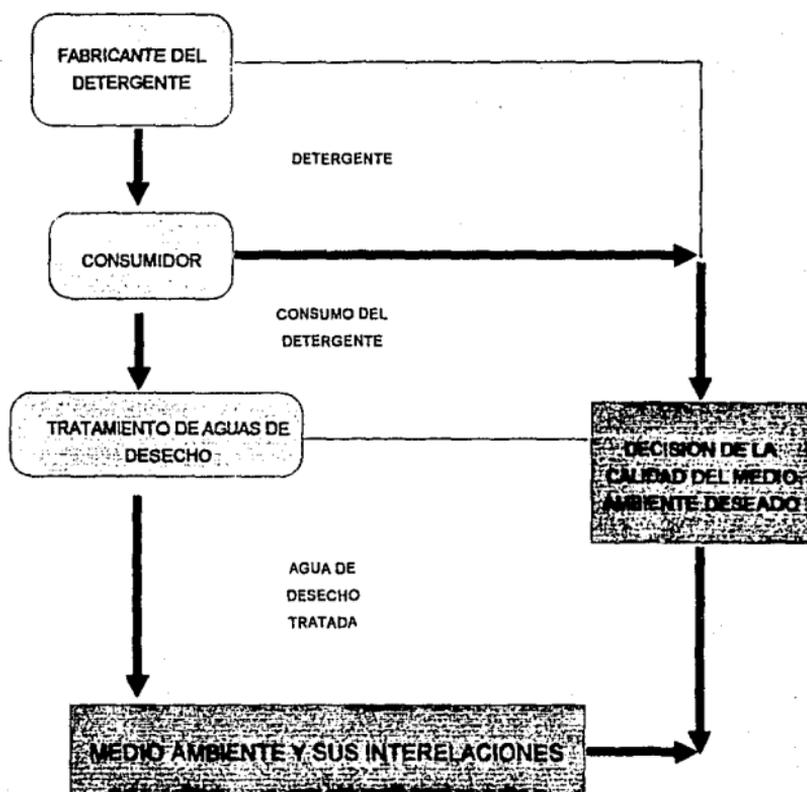


Fig. 6 Diagrama de Flujo para un Detergente Sintético desde su manufactura hasta que es arrojado al drenaje público.

La naturaleza dinámica del sistema es aparentemente inmediata cuando se considera que en cualquier tiempo las formulaciones de los detergentes se mejoran constantemente. La demanda de los consumidores está cambiando, los métodos de tratamiento de aguas de desecho son atendidos, y el nivel deseado de calidad del medio ambiente se cuida con mayor esmero, de tal manera que muchas industrias ya poseen procesos para evitar impactos al mismo.(27). La tendencia de este sistema es la de alcanzar un estado estable condicionado a las contribuciones características de cada uno de los primeros tres componentes de la Fig. 6 (Fabricante del detergente, demanda del consumidor y capacidad en el tratamiento de aguas de desecho). Como se indica la decisión final de si es aceptable o tolerable el nivel de calidad del medio ambiente lo establecen inicialmente por sí mismos los ciudadanos (por ejemplo: los consumidores) después de considerar tanto las características generales de los detergentes sintéticos como el estado en el que se encuentre el sistema de tratamiento de aguas de desecho que por localización les pertenece.

1.3 CARACTERISTICAS CONTAMINANTES DE LOS DETERGENTES SINTETICOS.

1.3.1 Componentes.

Pueden ocurrir múltiples variaciones en la formulación de detergentes de una marca a otra. No obstante, todos los componentes pueden agruparse para fines únicos del impacto sobre el medio ambiente en dos grupos : orgánicos e inorgánicos.

El compuesto orgánico predominante de un detergente sintético es un surfactante que está estructurado generalmente por una fracción de un hidrocarburo no polar y de una fracción polar que puede contener un grupo funcional catiónico, no iónico o aniónico.

Los surfactantes aniónicos comúnmente contienen sulfatos o sulfonatos como grupos funcionales y son totalmente biodegradables si el hidrocarburo que acompaña la estructura es lineal.

Otros compuestos orgánicos presentes en los detergentes sintéticos, aunque en menor cantidad, son los agentes dispersantes, solubilizantes de manchas, alcoholes, carboximetilcelulosa y colorantes (con agentes blanqueadores fluorescentes).

La principal fracción con características inorgánicas en los detergentes sintéticos esta constituida por los agentes quelantes que se adicionan a las formulaciones con el objetivo de eliminar los efectos de las aguas duras, debido a su capacidad secuestrante de iones metálicos. El agente quelante más común utilizado para este propósito es el tripolifosfato de sodio ($Na_5P_3O_{10} + 2H_2O$) que puede integrarse solo o en conjunción con otros polimeros de fosfatos.

Existen además componentes inorgánicos que se encuentran en las formulaciones de los detergentes como el sulfato de sodio, boratos de sodio, cloruro de sodio, silicatos de sodio y carbonato de sodio que se utilizan como constructores en adición o como sustitutos de fosfatos dependiendo de su aplicación.(3).

Tabla 1. Formulaciones típicas para detergentes.

TIPO	COMPONENTE	ORGANICO	COMPONENTE	INORGANICO
Aniónico	15-20%	LAS surfactante	30-50%	STP
	0.5-1.5%	CMC	10-15%	Sulfato de sodio
	2-4%	Estabilizador de espuma	5-10%	Silicato de sodio
	0.1-0.2%	Perfume	0-5%	Perborato de sodio
	0.5-1%	Antiaglutinante	0.3-0.6%	Blanqueador fluorescente
No iónico	6-10%	Surfactante	30-50%	STP
	0.5-1.5%	CMC	0-10%	Sulfato de sodio
	0.1-0.2%	Perfume	5-10%	Silicato de sodio
	0.5-1%	Antiaglutinante	0-20%	Carbonato de sodio
	0.3-0.6%	Blanqueador Fluorescente	0-0.5%	Perborato de sodio
No contaminante	6-12%	Surfactante no iónico	8-20%	Silicato de sodio
	0.5-1.5%	CMC	20-70%	Carbonato de sodio
	0.5-1%	Antiaglutinante	0-45%	Cloruro de sodio
	0.3-0.5%	Blanqueador fluorescente	0-25%	Borato de sodio
			0-15%	Perborato de sodio
		0-45%	Sulfato de sodio	

Acróónimo : CMC -- carboxi metil celulosa $R-O-CH_2-COONa$

STP -- tripolifosfato de sodio $Na_5P_3O_{10} + 2H_2O$

LAS -- alquilbencensulfonato lineal

La relación anterior muestra formulaciones típicas para detergentes con surfactantes aniónicos, no - iónicos y los llamados "no contaminantes". Cada componente está clasificado en orgánico, o bien inorgánico según se indica.

1.3.2 Efectos primordiales que ocasionan los detergentes sintéticos en el medio acuático.

Una o más de las reacciones inmediatas que ocurren como resultado de descargar los detergentes sintéticos en el medio acuático son las siguientes:

A) Los componentes pueden reaccionar químicamente con otros iones suspendidos o disueltos, o bien con otros compuestos.

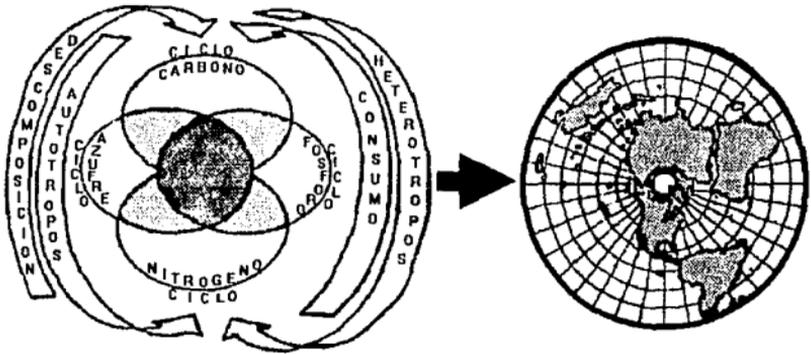
B) Los componentes pueden ser aceptados biológicamente y así estimular la actividad metabólica de cualquier organismo nativo del medio.

C) Los componentes pueden quedar en solución e incrementar la concentración total de especies disueltas en el sistema.

Conforme a la relación anterior, los principales elementos que son arrojados al medio acuático como resultado de descargar detergentes sintéticos al drenaje público son: carbono, nitrógeno, fósforo y azufre.(5). Cada uno de estos elementos pueden existir en diferentes formas, y en cada caso el potencial de transformación que pueda ocurrir se manifiesta dentro de un ciclo natural para cada elemento.

Nuestro medio ambiente está compuesto por numerosos ciclos biológicos y químicos, de su naturaleza y calidad depende el medio ambiente que hoy nos rodea. Ninguno de estos ciclos es independiente ya que en ocasiones el producto de alguno es necesario para el desarrollo de otro. En un sistema ecológicamente

cerrado como es el de el planeta tierra debe de existir un balance entre los elementos que entran y salen de cada ciclo, así la calidad ambiental dependerá del balance perfecto entre los ciclos.



Relaciones existentes entre los ciclos ecológicos de mayor importancia → Determinan → Calidad del medio ambiente

Fig. 7 Representación esquemática de las relaciones existentes entre los ciclos naturales de mayor importancia y sus efectos para determinar la calidad del medio ambiente.

1.4 LEY GENERAL DEL EQUILIBRIO ECOLOGICO Y LA PROTECCION AL AMBIENTE (NORMA TECNICA ECOLOGICA).

Para prevenir el deterioro ecológico en los cuerpos receptores se requiere controlar, entre otras cosas las descargas de aguas residuales que contengan desechos orgánicos, inorgánicos y microbiológicos a dichos cuerpos, ya que cuando rebasan los límites de su capacidad de autodepuración, modifican las características físicas, químicas y biológicas naturales de éstos.

Por el tipo y la cantidad de contaminantes que caracterizan a las aguas residuales de la industria de los jabones y los detergentes, sus descargas a los cuerpos receptores, además de impedir o limitar su uso, producen efectos adversos en los ecosistemas, por lo que es necesario fijar valores de los límites máximos permisibles de los parámetros de contaminantes que deberán satisfacer estas descargas.

Para la determinación de dichos límites máximos permisibles se estudiaron las posibilidades técnicas de remoción de contaminantes que generan estas actividades de acuerdo con las experiencias nacionales y la bibliografía internacional al respecto.

Asimismo, se consideró la factibilidad técnica y económica de instrumentar procesos de depuración por parte de los responsables de las descargas y la efectividad de estos procesos.

Es posible observar los valores de los límites máximos permisibles de los parámetros de los contaminantes, en las descargas de aguas residuales a cuerpos receptores, utilizando alguno o la combinación de los siguientes procesos: neutralización, floculación, sedimentación, aireación, separación de grasas y aceites, filtración, coagulación, homogeneización, tratamiento biológico, tratamiento anaerobio o, en su caso, aquellos tratamientos

que aseguren resultados similares a los que se obtienen con la aplicación de los procesos mencionados.(18).

1.4.1 Muestreo y Análisis de agua residual.

El muestreo y análisis de agua residual se realiza de acuerdo a la Norma Técnica Ecológica NTE-CCA-030/91, que establece los límites máximos permisibles de los parámetros de los contaminantes, para las descargas de aguas residuales provenientes de la industria de jabones y detergentes a cuerpos receptores.(18).

Los parámetros a analizar son los siguientes:

PARAMETROS OBLIGATORIOS.

- Sólidos suspendidos.
- Potencial de hidrógeno.
- Sólidos sedimentables.
- Grasas y aceites.
- Sustancias activas al azul de metileno (SAAM).
- Demanda bioquímica de oxígeno (DBO).
- Demanda química de oxígeno (DQO).
- Cloro libre residual.

PARAMETROS ADICIONALES.

- Alcalinidad/Acidez.
- Color.
- Fósforo.
- Nitrógeno.
- Sólidos disueltos.
- Temperatura.
- Turbiedad.

PARAMETROS ANEXOS.

- Sólidos totales.
- Coliformes totales.
- Materia Flotante.

Los valores de los parámetros de los contaminantes en las descargas de aguas residuales se obtendrán del análisis de muestras compuestas que resulten de la mezcla de muestras simples, tomadas en volúmenes proporcionales al caudal, medido

este en el sitio y el momento del muestreo, de acuerdo a la siguiente tabla:

HORAS POR DÍA QUE OPERA EL SERVICIO GENERADOR DE LA DESCARGA.	NUMERO DE MUESTRAS.	INTERVALO ENTRE LA TOMA DE MUESTRAS SIMPLES (HORAS).	
		MINIMO	MAXIMO
Hasta 8	3	2	4
Más de 8 y hasta 12	4	2.6	4
Más de 12 y hasta 18	4	4	6
Más de 18 y hasta 24	5	4.5	6

Tabla 2. Indica como debe realizarse el muestreo en el caudal.

LIMITES MAXIMOS PERMISIBLES.		
Parámetros.	Promedio diario.	Instantáneo.
-pH (unidades de pH).	6 a 9.	6 a 9.
-Sólidos suspendidos (mg/l).	50.00	100.00
- Grasas y aceites (mg/l).	40.00	80.00
- Sólidos sedimentables (ml/l).	1.0	2.0
- Demanda bioquímica de oxígeno (DBO) (mg/l).	50.00	100.00
- Demanda química de oxígeno (DQO) (mg/l).	150.00	300.00
- Sustancias activas al azul de metileno (SAAM) (mg/l).	5.00	10.00
- Cloro libre residual (mg/l).	0.2	0.4

Tabla 3. Indica los límites máximos permisibles en los parámetros obligatorios a evaluar según la Norma Técnica Ecológica NTE - CCA - 030/91 para descargas de aguas residuales provenientes de la industria de jabones y detergentes a cuerpos receptores.

CAPITULO 2.

BIODEGRADACION.

2.1 DEFINICION.

La Biodegradación en una definición particular sencilla es la destrucción de compuestos químicos por la acción biológica de organismos vivos.(28).

Así, para este propósito se pueden limitar a ser los surfactantes los compuestos químicos presentes en los detergentes y los organismos vivos son concretamente aquellos microorganismos que se encuentran en el ambiente en el cual se reciben las aguas de desecho, tales como las bacterias que son capaces de utilizar como nutrientes una infinita variedad de compuestos orgánicos. Esta extraordinaria adaptabilidad es el resultado de su organización simple y de estructura relativa. Estas bacterias pueden vivir y propagarse indefinidamente aún teniendo nutrientes tales como gasolina, benceno, fenol, y otros múltiples compuestos que ordinariamente son considerados como tóxicos.(2).

Algunos de los géneros de microorganismos que se encuentran comunmente en el ambiente de las aguas residuales son: *Achromobacter*, *Aerobacter*, *Alcaligenes*, *Arthrobacter*, *Bacillus*, *Citrobacter*, *Corynebacterium*, *Empedobacter*, *Escherichia*, *Flavobacterium*, *Klebsiella*, *Lophomonas*, *Micrococcus*, *Mycobacterium*, *Neisseria*, *Paracolobactrum*, *Proteus*, *Pseudomonas*, *Serratia*, *Sphaerotilus*, *Stretococcus* y *Zoogloea*.(13).

El proceso total de biodegradación implica una oxidación, esto significa que la materia orgánica sufre rupturas en su estructura molecular hasta obtenerse fracciones más simples que pueden ser utilizadas como nutrientes por los organismos vivos.(10).

2.2 MECANISMO DE BIODEGRADACION.

Un surfactante se denomina de esta forma debido a que sus moléculas tienen ciertos elementos estructurales responsables de sus propiedades.

Debido a la presencia de un grupo hidrofílico un surfactante es más o menos soluble en agua. Sin embargo, el grupo hidrofóbico es repelido por el agua, es por esto que manifiesta una porción de la molécula, la tendencia de abandonar la fase acuosa.

En la superficie de una solución, donde se establece la interfase aire - agua, las moléculas del surfactante se orientan por sí solas con los grupos hidrofílicos hacia la fase acuosa, los grupos hidrofóbicos se orientan lo más lejanamente posible hacia la dirección opuesta considerando sus dimensiones moleculares, geometría y las fuerzas intermoleculares que actúan entre ellas.

El resultado de esta película superficial formada es la disminución de la tensión superficial del agua y la gran tendencia de la formación de espuma. En presencia de un líquido inmisible se presenta una tendencia similar en la interfase líquido - líquido, los grupos hidrofílicos se orientan hacia el agua y los hidrofóbicos hacia el otro líquido no polar. Esto promueve una dispersión y una emulsificación en pequeñas gotas esféricas. En interfases líquido - sólido ocurre un fenómeno similar.(28).

Así pues, podemos decir que la biodegradación primaria ha ocurrido cuando la molécula del surfactante ha sido completamente oxidada, o bien totalmente alterada, de tal modo que por la acción bacteriana ha perdido sus propiedades originales antes mencionadas. Sin embargo el proceso de biodegradación continúa hasta llegar a la biodegradación en su etapa final o terminal, en la cual la molécula del surfactante es completamente convertida a dióxido de carbono, agua, sales inorgánicas y productos

asociados con el proceso normal del metabolismo de las bacterias.(27).

2.3 PROCESO QUIMICO DE LA BIODEGRADACION DE LOS DETERGENTES.

La biodegradación de detergentes es esencialmente resultado de la acción bacteriológica, tal como sucede con los otros componentes de las aguas residuales. Las reacciones metabólicas bioquímicas involucradas, parecen ser muy similares ya sea que se trate de detergentes o de cualquier otro tipo de compuesto orgánico; sin embargo ciertas peculiaridades que aparecen en su biodegradación son debidas a la estructura característica de los detergentes con grupos hidrofílicos e hidrofóbicos juntos en la misma molécula.

En la biodegradación de detergentes podemos considerar principalmente tres mecanismos bioquímicos de oxidación que son:

Beta - Oxidación.

Metil - Oxidación.

Oxidación - Aromática.

2.3.1 Beta - Oxidación.

Los ácidos grasos son degradados por este proceso, la reacción es una oxidación de dos carbonos de la cadena del ácido graso a la vez, para formar grupos acetilo, los cuales son usados por la célula para la obtención de energía o para reacciones de síntesis.

Los ácido grasos son activados, en primer lugar, por esterificación para formar tioésteres acílicos de la Coenzima A

(CoA). Posteriormente son eliminados dos hidrógenos de los átomos de carbono 2 y 3 por acción de las deshidrogenasas de acil - graso - CoA dependientes del FAD, para dar un derivado alfa - beta no saturado que sufre una hidratación resultante del efecto de la enoil - hidratasa para producir el derivado beta - hidróxi que a su vez pasa a ser un beta - ceto derivado. Finalmente otra molécula de la de la Coenzima A se adiciona entre carbonos y rompe el acetyl Coenzima A dejando así un éster de Coenzima A de ácido graso de tamaño más corto que el original y listo para sufrir una secuencia igual de reacciones para continuar la degradación.

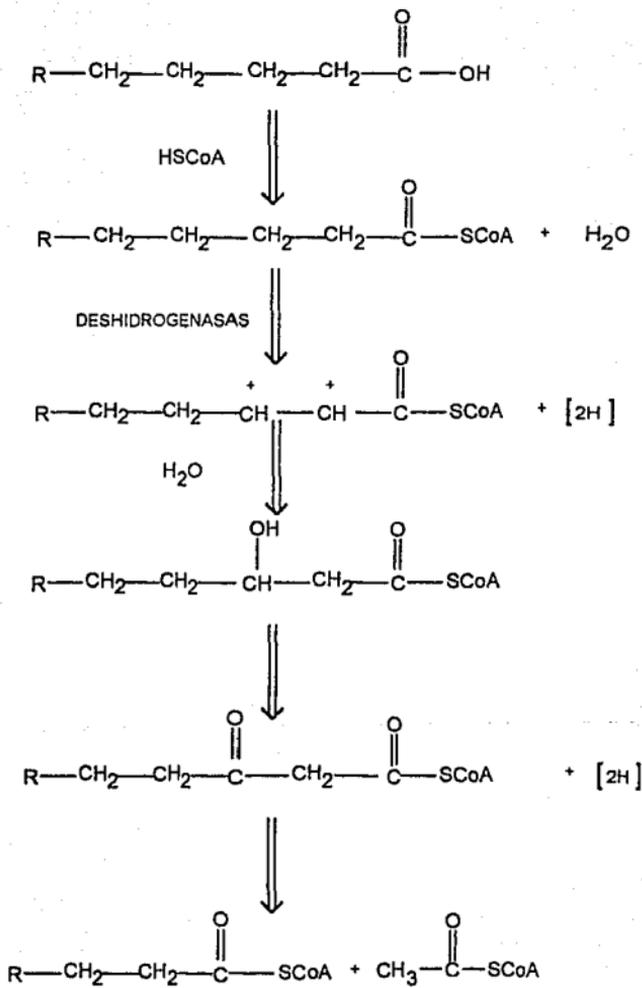


Fig. 8 Representación esquemática de las Etapas de la Beta - Oxidación. (HSCoA - Coenzima A).

Cada una de las reacciones indicadas anteriormente, constituyen en realidad una serie de reacciones; que se catalizan específicamente por una enzima y pueden ser reversibles bajo circunstancias apropiadas.

El hidrógeno no aparece tal como se indica (hidrógeno atómico), sino que es tomado por agentes de transferencia de hidrógeno como difosfopiridina o nucleótidos.(14).

2.3.2 Metil - Oxidación.

Si el grupo metilo terminal de un detergente puede ser oxidado a carboxilo, la degradación debe proceder con más facilidad por el mecanismo de Beta - Oxidación que se lleva a cabo en todos los seres vivientes. La evidencia de la oxidación de grupos metilo, se encuentra en que muchos microorganismos pueden vivir de hidrocarburos como única fuente de nutrición.(17).

El mecanismo bioquímico de la Metil - oxidación no se ha estudiado tan a fondo como la Beta - oxidación; sin embargo se ha demostrado que el ataque de oxígeno a un grupo metilo terminal de un detergente, origina un hidroperóxido, reacción de importante mecanismo. Las reacciones subsecuentes convierten a este intermediario en un alcohol primario, continuando a aldehído y finalmente a ácido carboxílico.(15).

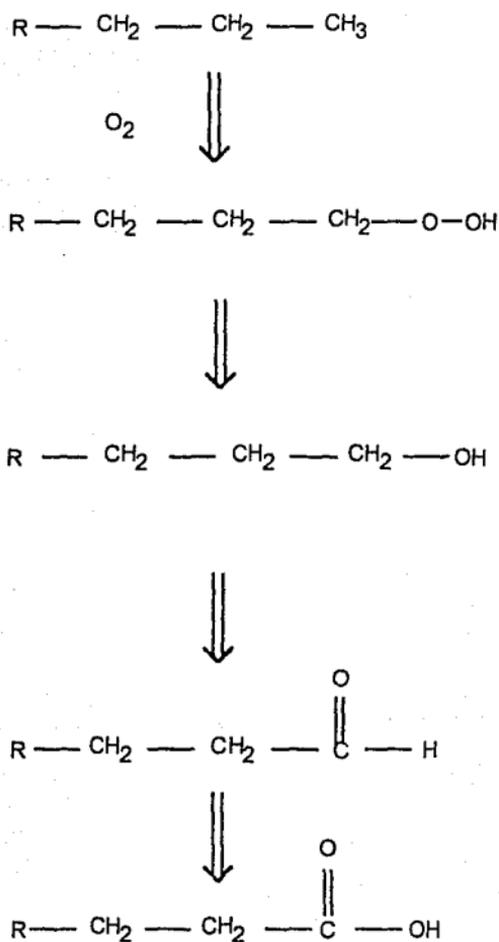


Fig. 9 Representación esquemática de las Etapas de la Metil - Oxidación. Cada etapa es catalizada por sistemas enzimáticos apropiados.

2.3.3 Oxidación Aromática.

El anillo bencénico aparece en todos los sistemas vivos, por ejemplo en varios de los aminoácidos y por lo tanto no debe causar extrañeza que se puedan llevar a cabo la síntesis y degradación de los compuestos aromáticos mediante mecanismos metabólicos.(28).

Uno de los mecanismos más comunes es el que lleva a cabo el ácido benzoico así como el fenol, el ácido salicílico y el benceno mismo. En cada caso se forma un catecol debido a una oxidación catalizada por enzimas y oxígeno molecular; así se logra la apertura del anillo originando un ácido dicarboxílico y debido a tres rearrreglos moleculares sucesivos éste se convierte en un ácido Beta - ceto adípico que puede dividirse por los mismos medios usados en el proceso de Beta - oxidación resultando así un grupo acetato y un succinato; estos compuestos se involucran en los procesos metabólicos intracelulares.(17).

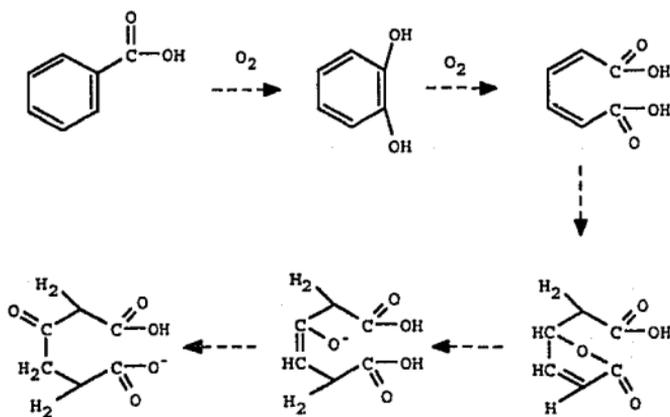


Fig. 10 Representación esquemática de las Etapas de la Oxidación Aromática.

2.4 METODOS ANALITICOS PARA EVALUAR LA BIODEGRADACION DE LOS DETERGENTES.

Existen gran variedad de métodos mediante los cuales se puede estimar la biodegradación que está experimentando un detergente en un sistema que esta bajo observación. Se pueden considerar propiedades químicas y físicas otorgadas por el surfactante a la mezcla y así evaluar los productos intermedios de la degradación. También se pueden medir funciones relativas a la biodegradación como es la cantidad de oxígeno absorbido, o dióxido de carbono producido por los organismos del sistema.

Sin embargo, debido a que en muchos casos las muestras de experimentos de biodegradación no pueden ser evaluadas desde el inicio de su recolección, se recomienda para este estudio los llamados Métodos de evaluación de la alteración de las propiedades surfactantes.(28).

2.4.1 Métodos de evaluación de la alteración de las propiedades de los surfactantes.

Estos métodos únicamente evalúan el proceso de la biodegradación que experimenta un detergente analizando la variación de dos de las propiedades importantes del surfactante: su capacidad para formar espuma y la tensión superficial.

2.4.1.1 Formación de espuma.

La espuma se define como una dispersión ordinaria de un gas en un líquido; siendo el mayor volumen de la fase ocupado por el gas y el líquido se encuentra entre las burbujas del gas en forma de hojas delgadas denominadas laminillas.(21).

El mayor interés en el estudio de la biodegradación de un surfactante radica en que los residuos de los detergentes en las

aguas de desecho son capaces de formar espuma y a pesar que intervienen otras propiedades físicas para su formación se puede establecer una relación aunque no del todo lineal entre el fenómeno de formación de espuma y la cantidad de surfactante presente.(28).

Para la determinación de la capacidad espumante de un detergente se han creado varios métodos debido a que la estimación cuantitativa no es del todo confiable para esta evaluación; sin embargo el método más adecuado es el denominado Ross - Miles ASTM D1173.

El método Ross - Miles consiste en hacer pasar un volumen constante de solución (ejem: 200 ml) a través de un embudo de cola corta que se encuentre sobre una probeta graduada de 500 ml y que contenga un volumen definido de la misma solución a evaluar (ejem: 50 ml). Así, la altura de la espuma formada es una medida de la espumabilidad de la solución. La lectura se realiza inmediatamente después de terminado el experimento y cinco minutos después.(24).

2.4.1.2. Tensión superficial.

En contraste con la complejidad que existe para evaluar la formación de espuma, la tensión superficial es una específica y medible propiedad física que presentan los líquidos y se considera como la fuerza que actúa por cm. de longitud en la superficie de un líquido y se opone a su aumento de área.

Para realizar determinaciones de tensión superficial se utiliza el denominado Tensiómetro, equipo que mide la fuerza requerida para levantar un anillo de platino - iridio sumamente delgado y de perímetro variable que yace en la superficie del líquido.(6).

Es importante considerar que en presencia de un surfactante en concentraciones de solo partes por millón la tensión superficial del agua se ve significativamente disminuida.(28).

CAPITULO 3.

DISEÑO EXPERIMENTAL.

3.1 EVALUACION Y CRITERIO DE SELECCION DE LOS CONSTRUCTORES DEL DETERGENTE BIODEGRADABLE.

3.1.1 Selección del surfactante.

Frecuentemente, los surfactantes son denominados como el "ingrediente activo" en un detergente, esto es debido a que su acción es determinante para la eficacia del producto final.(13).

En el desarrollo de un detergente biodegradable la selección del surfactante representa cierta dificultad, ya que no se encuentran con facilidad en el mercado de los surfactantes y además estos productos por su cualidad de ser biodegradables, presentan características especiales que dificultan su incorporación a la fórmula y requieren de formulaciones, casi de ensayos aleatorios para definir una mejor constitución.

Sin embargo, después de una profunda revisión se determinó optar por la selección de a 2 surfactantes que se describen a continuación:

SURFACTANTE A.
U. S. PATENT 4481,731.
UNION CARBIDE CORPORATION.

El Surfactante A es un agente tensoactivo no-iónico de la familia de los ésteres grasos polioxi-etilenados. Es compatible con tensoactivos aniónicos, catiónicos, anfotéricos y no-iónicos, soporta medios moderadamente alcalinos. Es biodegradable y se degrada en medios fuertemente ácidos o alcalinos. (30).

PROPIEDADES	Apariencia a 25°C Color pH (1% en agua) Punto de enturbiamiento (al 1% en solución de NaCl al 5% en agua) Humedad (Karl Fischer) Contenido de óxido de etileno	Líquido claro Ámbar 6.0 - 8.0 45.0 - 48.0°C 1.0% máximo 16.0 - 17.0 Moles
CARACTERÍSTICAS FÍSICO QUÍMICAS	HLB Tensión Superficial (0.1% en agua destilada a 25°C) Altura de la espuma (0.1% en agua destilada a 25°C Ross Miles)	14.2 36.7 dinas/cm. Inicial = 8.5cm Después de 5 min. = 7.0 cm.
SOLUBILIDAD	Agua Isopropanol Etanol Xileno Tolueno Kerosina Gas Nafta Etilenglicol	Soluble Soluble Soluble Soluble Soluble Insoluble Insoluble Insoluble

Tabla 4. Descripción del surfactante A.

SURFACTANTE B. U. S. PATENT 2608,875. ASHLAND CHEMICAL, INC.		
El Surfactante B es un agente tensoactivo no-iónico de la familia de los alcoholes secundarios etoxilados. Es biodegradable y se degrada en medios fuertemente ácidos o alcalinos.(1).		
PROPIEDADES	Apariencia a 25°C Color pH (1% en agua) Punto de enturbiamiento (al 1% en solución de NaCl al 5% en agua) Humedad (Karl Fischer) Contenido de óxido de etileno	Líquido claro Incoloro 7.0 - 8.0 47.0 - 49.0°C 1.5% máximo 18.0 Moles
CARACTERÍSTICAS FÍSICO QUÍMICAS	HLB Tensión Superficial (0.1% en agua destilada a 25°C) Altura de la espuma (0.1% en agua destilada a 25°C Ross Miles)	13.3 30.0 dinas/cm.. Inicial = 9.5cm Después de 5 min. = 8.0 cm.
SOLUBILIDAD	Agua Isopropanol Etanol Xileno Tolueno Kerosina Gas Nafta Etilenglicol	Soluble Soluble Soluble Soluble Soluble Insoluble Insoluble Insoluble

Tabla 5. Descripción del surfactante B.

Es indudable que ambos surfactantes presentan propiedades muy similares; sin embargo por cuestiones de costos el surfactante utilizado en la fórmula final será el Surfactante A, ya que la eficiencia en ambos casos es aceptable.

3.1.2 Sustitutos de Fosfatos.

Desde 1970 comenzó la era de los detergentes que no incluían en sus formulaciones fosfatos. Los compuestos tales como el tripolifosfato de sodio representaban entre el 40 y 60% de la fórmula total de los detergentes. Estos compuestos son considerados como nutrientes para la flora acuática ocasionando su presencia en grandes cantidades sobrepoblación, la cual al morir sufre una oxidación degradativa causando mayor demanda de oxígeno que perjudica a la fauna y afecta directamente las características del agua; a este fenómeno se le denomina eutroficación.(3).

Así, debido a los problemas ambientales que los fosfatos ocasionan a la industria de los detergentes, se emprendió la búsqueda de compuestos sustitutos que pudieran ser capaces de inactivar a los iones que ocasionan la dureza del agua y que pueden inhibir la acción del surfactante. Se estudiaron múltiples compuestos, pero por factores de costo, propiedades químicas y físicas, ambientales y toxicológicas, solamente los siguientes son considerados potencialmente sustitutos de fosfatos:

- 1.- Nitritotriacetato de sodio.
- 2.- Citrato de sodio.
- 3.- Carboximetiltartrato de sodio.
- 4.- Carboximetilsuccinato de sodio.

5.- Oxidiacetato de sodio.

6.- Benzopolicarboxilato de sodio.

7.- Acido polialfahidroxiacrilico de sodio.

De los sustitutos anteriores debido a las características finales del producto a desarrollar se seleccionó al Citrato de sodio para ser incluido en la formulación.

El Citrato de sodio es la sal trisódica del ácido cítrico y es uno de los sustitutos de los fosfatos más utilizados en los detergentes actuales; a pesar de que su costo es elevado presenta las siguientes ventajas:

Cumple con todos los requisitos adecuados para el cuidado del ambiente, no es tóxico ni contaminante.

Se considera ablandador de agua dura, ya que logra la precipitación de iones metálicos y evita así que interfieran con la efectividad del surfactante.

Confiere pH alcalino que es requerido en los detergentes.

Favorece la dispersión de aceites y grasas.

Puede disolver ácidos grasos por saponificación.(1).

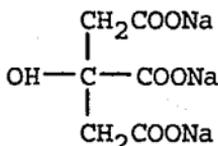


Fig. 11 Fórmula del Citrato de sodio.

Otro componente que se incluye en la formulación es el carbonato de sodio Na_2CO_3 , que no se considera como sustituto de fosfatos pero si favorece la alcalinidad final requerida para la función del detergente desarrollado.

3.1.3 Solventes seleccionados.

Considerando que el detergente a desarrollar tiene su principal aplicación en el área industrial, donde regularmente las superficies que se someten a limpieza se encuentran impregnadas de materiales tanto solubles como insolubles en agua y que frecuentemente son residuos del proceso, los solventes seleccionados deben presentar cierta facilidad para lograr solubilizar estos materiales; por lo que considerando experiencias anteriores y diversas formulaciones propuestas los solventes considerados para este desarrollo son: alcohol isopropílico, butil celosolve y agua.

El alcohol isopropílico es un derivado oxhidrílico de su respectivo hidrocarburo parafínico, es un alcohol secundario, soluble en agua y su punto de ebullición es de $82.7^{\circ}C(8)$. Se considera como un excelente removedor de grasas y tintas, además de ser un agente de enlace de fases y de tener propiedades como antiséptico.

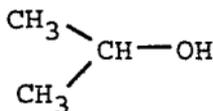


Fig. 12 Fórmula del Alcohol Isopropílico.

El butil celosolve corresponde al nombre comercial que se le designa a una serie de éteres monoalcohólicos del glicol que se obtienen por alcoholólisis del óxido de etileno.(12). Es totalmente soluble en agua, en alcohol y éter y su punto de ebullición es de $171.2^{\circ}C(8)$. Tiene un uso muy amplio como disolvente de resinas.

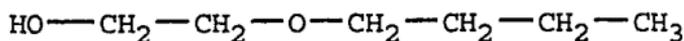


Fig. 13 Fórmula del butil celosolve.(Eter Butil - *B* hidroxietílico).

3.2 DESARROLLO Y PROPUESTA DE LA FORMULACION DEL DETERGENTE BIODEGRADABLE.

3.2.1 Formulación.

Esta acción consiste en proponer una distribución de elementos constituyentes de un material que fijarán límites para ser reproducibles y poder llevar un control de calidad total en su producción.

Según lo determinado en el inciso anterior y habiéndose realizado múltiples ensayos se establece la siguiente formulación para el detergente biodegradable para usos industriales:

COMPUESTO	% EN PESO
Alcohol isopropílico	16.70
Butil celosolve	6.70
Carbonato de sodio	1.00
Citrato de sodio	2.40
Surfactante A	10.00
Agua	c.b.p. 100.00 g.

Tabla 6. Formulación propuesta para el detergente.

3.2.2. Materiales y Métodos.

3.2.2.1 Equipo:

- Tensiómetro Fisher Modelo 20.
- Potenciómetro Beckman con electrodo combinado Modelo 3500.
- Parrilla eléctrica con agitador magnético y magneto Thermoline 1000.
- Material básico de laboratorio.
- Balanza analítica Ohaus.
- Sistema de Refrigeración.
- Baño María.
- Termómetro con escala de 0 ° a 100 °C.

3.2.2.2 Desarrollo del Detergente.

Una vez seleccionados los componentes en cuanto a características y % en peso en la formulación se procede a elaborar el detergente como se indica:

a) Solubilización de las sales: En un vaso de precipitados se colocan el citrato de sodio y el carbonato de sodio; se les adiciona el 30% del total del agua a una temperatura de 40 ° C con agitación constante hasta disolución completa.

b) Incorporación de los solventes: En un vaso de precipitados se colocan el alcohol isopropílico y el butil celosolve con agitación hasta completa incorporación (aprox. 2 min.).

c) Adición del Surfactante: Una vez incorporados los productos anteriores se adiciona el surfactante A, con agitación constante durante 6 minutos.

d) Adición de las sales solubilizadas: A la mezcla homogénea de los solventes y el surfactante A, se le adicionan las sales lentamente y con agitación moderada hasta observarse enturbiamiento, puede ocurrir precipitación en caso de que las sales se hayan adicionado rápidamente; para este caso, continuar la agitación hasta eliminar el precipitado.

e) Eliminación del enturbiamiento: Agregue a la mezcla homogénea de los solventes, el surfactante y las sales el 70% restante del total del agua indicada en la formulación. El agua debe estar a temperatura ambiente y se debe agregar con agitación moderada hasta que se logre obtener un líquido transparente.

3.2.2.3 Determinación de características finales y propiedades.

Al detergente líquido obtenido se le aplicaron las siguientes pruebas:

- Tensión Superficial.
- Formación de espuma.
- pH.

- Apariencia.

- Efectividad.

3.2.2.3.1 Tensión Superficial.

Para realizar determinaciones de tensión superficial se utilizó el Tensiómetro, equipo que mide la fuerza requerida para levantar un anillo de platino - iridio sumamente delgado y de perímetro variable que yace en la superficie del líquido.

a) Preparación: Limpieza del anillo: El anillo debe ser limpiado estrictamente en la siguiente secuencia:

1.- Limpieza con benceno (para eliminar residuos de hidrocarburos).

2.-Limpieza con acetona (para eliminar residuos de benceno).

3.-Dejar evaporar completamente la acetona.

b) Calibración del equipo: El Tensiómetro debe calibrarse con el anillo limpio según indica el manual (Fisher Surface Tensiometer Model 20).

c) Preparación de la muestra: Se colocan 70 ml. del detergente líquido dentro de un vaso de precipitados de 100 ml. de capacidad y se coloca sobre la plataforma principal del anillo.

d) Medición de la tensión superficial: Se hace girar la palanca lateral del tensiómetro hasta que el anillo se encuentre estable sobre la superficie del detergente líquido; posteriormente se comienza a girar lentamente la perilla que indica mediante una escala en dinas/cm. la fuerza que se está aplicando sobre la

superficie hasta que la burbuja formada sufra una ruptura total, en ese momento se detiene la perilla y se efectúa la lectura.

3.2.2.3.2 Formación de espuma.

Para realizar la medición de la formación de espuma se utilizó el Método de Ross - Miles como se indica:

a) Utilizando una probeta graduada de 100 ml. se miden 50 ml. del detergente líquido y se colocan en una probeta graduada de 500 ml. marca Pyrex (Modelo 1000.).

b) Se coloca un embudo de cola corta y tamaño estándar sobre la probeta de 500 ml.

c) Con una probeta graduada de 100 ml. se miden 200 ml. del detergente líquido y se vacían a través del embudo que se encuentra sobre la probeta de 500 ml.

e) Se mide la altura de la espuma formada inmediatamente después de terminado el experimento y cinco minutos después.

3.2.2.3.3 Determinación de pH.

La medición de pH se realiza mediante un potenciómetro con electrodo combinado como se indica:

a) Calibración del aparato: con sol. amortiguadora de pH 4 y pH 7.

b) Preparación de la muestra: Se toma una alícuota de 10 ml. de detergente líquido con una pipeta volumétrica y utilizando un matraz aforado de 100 ml. se lleva al aforo con agua destilada. Se agita vigorosamente hasta lograr la incorporación total.

c) Se vacía el contenido del matr az aforado a un vaso de precipitados de 200 ml.

d) Se introduce el electrodo y se realiza la medición de pH según indique la escala.

3.2.2.3.4 Determinación de Apariencia.

La determinación de apariencia del detergente líquido se realiza de manera visual y únicamente haciendo variaciones de temperatura como se establece a continuación:

a) Colocar 100 ml. del detergente líquido en un vaso de precipitados de 200 ml. de capacidad. Observar su apariencia a temperatura ambiente (aproximadamente 20  C) y anotar resultados.

b) Se colocan 100 ml. del detergente líquido en un vaso de precipitados de 200 ml. de capacidad. Se introduce la muestra a baño maría a una temperatura de 25  C por un tiempo de 5 hrs. ; se observa su apariencia y anotar resultados.

c) Se colocan 100 ml. del detergente líquido en un vaso de precipitados de 200 ml. de capacidad. Se introduce la muestra a un sistema de refrigeración a una temperatura de 4  C por un tiempo de 5 hrs.; se observa su apariencia y anotar resultados.

3.2.2.3.5 Determinación de la eficiencia o poder de limpieza del detergente líquido Biodegradable.

Para poder evaluar la eficiencia del detergente es necesario realizar pruebas de campo en el lugar donde el producto va a ser utilizado; para ésto es necesario acudir a industrias de diferentes ramos y realizar evaluaciones en áreas donde se realizará la limpieza.

a) Considerar una superficie de 40 x 40 cm. como el área de evaluación.

b) Derramar 20 ml. del detergente líquido a diversas concentraciones.

c) Dejar el producto sobre el área de evaluación por aproximadamente 3 minutos.

d) Eliminar el detergente con 1 lt. de agua.

e) Observar la superficie y anotar resultados.

3.2.2.3.6 Determinación del grado de biodegradabilidad del detergente líquido.

Para realizar esta determinación se llevarán a cabo los métodos descritos en los incisos 3.2.2.3.1 y 3.2.2.3.2.

a) Preparación de la muestra: Es necesario coleccionar 750 ml. de agua de río y en ese momento adicionarle 250 ml. del detergente líquido. La muestra deberá colocarse en un recipiente de vidrio de forma rectangular, capacidad adecuada y que tenga una buena aereación.

b) Durante un período de 6 días y a las 6:00 p.m.(los fenómenos fotosintéticos que realiza la flora y fauna nativa han transcurrido ya para esta hora) se realizarán las pruebas de Tensión superficial y Formación de espuma. Es importante tener precaución en el manejo de la muestra y evitar que sea susceptible a contaminaciones.

c) Elaborar un cuadro comparativo entre el grado de formación de espuma y la tensión superficial. Analizar los resultados obtenidos.

CAPITULO 4.

RESULTADOS Y DISCUSION.

4.1 EVALUACION DEL DETERGENTE BIODEGRADABLE PROPUESTO.

4.1.1 Propiedades Obtenidas.

De acuerdo a la formulación propuesta en el capítulo 3, las propiedades obtenidas a 2240 m. de altitud, 586 mm. de Hg de presión atmosférica y 20 °C en el detergente formulado y propuesto son las siguientes:

TENSION SUPERFICIAL.	32 DINAS/CM.
FORMACION DE ESPUMA.	INICIAL= 1 CM. DESPUÉS DE 5 MIN.= 0 CM.
pH.	8.94
APARIENCIA A TEMP. AMBIENTE.	LIQUIDO CLARO.
APARIENCIA A 25 °C.	LIQUIDO CLARO.
APARIENCIA A 4 °C.	LIQUIDO CLARO.

Tabla 7. Propiedades obtenidas en el detergente formulado y propuesto.

Según lo anterior se determina que la tensión superficial obtenida se encuentra dentro de los rangos normales (30 - 35 dinas/cm.) que corresponden a detergentes de este tipo; asimismo en lo que corresponde a la formación de espuma se observó que evidentemente es muy baja ya que la emulsión gas - líquido carece de estabilidad debido a las características del surfactante y del glicol.

Con lo que respecta al pH es adecuado por ser alcalino; esto favorece la efectividad del detergente.

Se observó que a temperatura ambiente, a 25 °C y a 4 °C la apariencia permanece sin alteración lo que es correspondiente a estabilidad.

4.1.2 Grado de limpieza obtenido.

Para esta evaluación se seleccionaron 3 de los mercados más concurridos: industria automotriz, industria de las artes gráficas y la industria de alimentos.

Se encontraron múltiples agentes causantes de suciedad, sin embargo los más incidentes en los mercados mencionados son: aceite y grasa, tinta y desechos orgánicos. Asimismo se encontraron "otros" agentes que se consideran de menor importancia como tierra, polvo, pigmentos, etc.

Para llevar a cabo la evaluación correspondiente se consideraron diferentes concentraciones del detergente líquido, las cuales se muestran en la Tabla siguiente:

CONCENTRACION % DE DETERGENTE.	ACEITES Y GRASAS.	TINTAS.	DESECHOS ORGANICOS.	OTROS.
100	MB	MB	MB	MB
90	MB	MB	MB	MB
80	MB	MB	MB	MB
70	MB	MB	MB	MB
65	MB	MB	MB	MB
60	B	MB	MB	MB
57	B	B	MB	MB
55	B	B	MB	MB
50	M	M	B	B
45	M	M	B	B
40	M	M	M	M

MB = Limpieza máxima.

B = Limpieza media.

M = Suciedad permanente.

Tabla 8. Resultados de la evaluación de la eficiencia del detergente líquido biodegradable.

Se observa que la eficiencia del producto se mantiene con una relación mínima del 65%; sin embargo en el caso de desechos orgánicos y otros, la eficiencia es similar a la obtenida con detergentes no biodegradables.

4.1.3 Evaluación de la Biodegradabilidad del Detergente líquido.

Los resultados obtenidos de las pruebas realizadas para la evaluación de la biodegradabilidad se muestran en la siguiente relación:

DIAS DE EVALUACION.	FORMACION DE ESPUMA. CM.	TENSION SUPERFICIAL. DINAS/CM.
Inicio	T1 = 1.00 T2 = 0.00	32
1	T1 = 0.56 T2 = 0.00	50
2	T1 = 0.41 T2 = 0.00	57
3	T1 = 0.29 T2 = 0.00	62
4	T1 = 0.21 T2 = 0.00	65
5	T1 = 0.16 T2 = 0.00	67
6	T1 = 0.10 T2 = 0.00	69

T1 = Altura medida inmediatamente después de terminado el experimento.

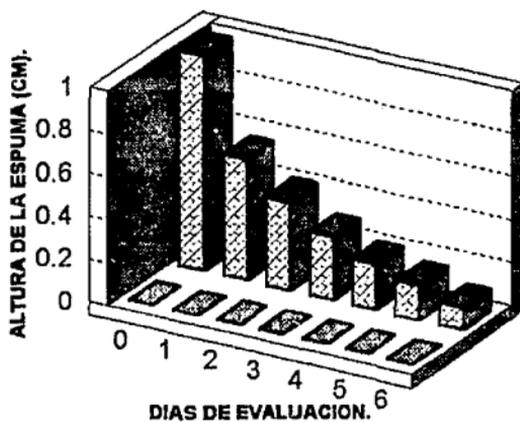
T2 = Altura medida 5 minutos después de terminado el experimento.

Tabla 9. Resultados de la evaluación de la biodegradabilidad del detergente.

Es evidente que se puede establecer una relación lineal, entre el fenómeno de formación de espuma y la cantidad de surfactante presente. La espuma desaparece por completo cuando el surfactante también lo hace, siendo esto un índice del grado de biodegradabilidad que ha experimentado el detergente.(Grafica 1).

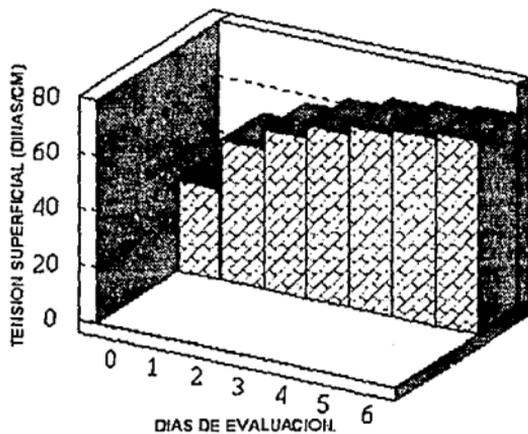
En presencia de un surfactante en concentraciones de tan solo partes por millón la tensión superficial del agua se ve significativamente disminuida, por lo que a medida que el surfactante desaparece la tensión superficial tiende a parecerse a la del agua (72 dinas/cm. a 25 °C). Esta tendencia se establece claramente en la experiencia realizada, pues al cabo de 6 días, de una tensión superficial de 32 dinas/cm. se alcanza una de 69 dinas/cm., por lo que se puede establecer relativamente que se está llevando a cabo la biodegradación del surfactante. El proceso no se continúa por más días debido a que se agota el sistema de microorganismos y se alcanzan como valores máximos 0.10 cm. de altura en la formación de espuma y 69 dinas/cm. de tensión superficial.(Grafica 2).

**BIODEGRADABILIDAD DEL DETERGENTE.
FORMACION DE ESPUMA CONTRA TIEMPO.**



Gráfica 1.

BIODEGRADABILIDAD DEL DETERGENTE.
TENSION SUPERFICIAL CONTRA TIEMPO.



Gráfica 2.

CAPITULO 5.

CONCLUSIONES.

Se logró la obtención de un detergente biodegradable para usos industriales múltiples con la formulación propuesta.

La determinación de tensión superficial y la de formación de espuma por los métodos realizados, resultan ser adecuados y reproducibles para la evaluación de la biodegradabilidad del detergente.

La eficiencia del detergente es adecuada y su uso se justifica ya que no causa impacto al medio ambiente.

BIBLIOGRAFIA.

(1) Ashland Chemicals & Solvents Div. Nonionic Surfactants Inf., p 43 (1990).

(2) Bock. K.J. Biological decomposition of surface active materials. Surf. Comg. 3, 282 - 286 (1975).

(3) Cutler. W.G., Davis R.C. DETERGENCY, THEORY AND TEST METHOTDS (Part III). First edition, Marcel Dekker Press, E.U.A., 1976.

(4) Cutler. W.G., Davis R.C. DETERGENCY, THEORY AND TEST METHOTDS (Part II). First edition, Marcel Dekker Press, E.U.A., 1976.

(5) Davis. R.C., perconal communication, 1992.

(6) Davies. J.T. & Rideal. E.K. INTERFACIAL PHENOMENA. Second edition, Academic Press. London 1985.

(7) Davodsohn. A. & Milwidsky. B.M. SYNTHETIC DETERGENTS. Sixth edition, George Godwin Limited Press, Great Britain, 1978.

(8) Dean. A. LANGE'S HANDBOOK OF CHEMISTRY. Twelfth edition, Ed. Mc Graw Hill., 1979.

(9) Durham. K., Garret. H.E., Janes. T.G. SURFACE ACTIVITY AND DETERGENCY. Second edition, Macmillan and Co. LTD Press, England, 1985.

(10)Ettinger. M.B. Biochemical oxidation characteristics of steam - pollutant organics. Ind. Eng. Chem., 48, 256 - 259 (1978).

(11)Ferguson. F.A. WATER AND WASTEWATER ENGINEERING. First edition, Wiley Press. E.U.A. 1989.

(12) Fieser F.L., Fieser Mary. QUIMICA ORGANICA. Tercera edición, Ed. Grijalbo, S.A. México 1970.

(13)Fontar.C.F., Strafford.D.A. SURFACTANT BIODEGRADATION IN WASTE WATERS TREATMENT OF INDUSTRIAL EFLUENTS. Second edition, A.G. Calley, E.U.A., 1977.

(14)Hofmann. K. FATTY ACID METABOLISM IN MICROORGANISMS. Second edition, John Wiley & Sons Press, E.U.A., 1970.

(15) Kelley. M.R. DETERGENTS. Second edition, Interscience Publishers, a division of Jonh Wiley & Sons Press, E.U.A., 1979.

(16)Klein. S.D. BIODEGRADATION OF BIOLOGICALLY SOFT DETERGENTS. First edition, Grant & Sons Press. E.U.A., 1981.

(17) Lehninger. A.L. BIOQUIMICA. Segunda edición. Ediciones Omega, S.A. España 1985.

(18)LEY GENERAL DEL EQUILIBRIO ECOLOGICO Y LA PROTECCION AL AMBIENTE. Colegio Nacional de Ingenieros Químicos y Químicos, Asociación Mexicana contra la Contaminación del Agua y del Aire, Instituto Mexicano del Seguro Social, Instituto de Seguridad y Servicios Sociales de los Trabajadores del Estado y la Secretaria de Desarrollo Urbano y Ecología. México 1991.

(19)Manaham. S.E. ENVIRONMENTAL CHEMISTRY. Third edition, Willard Grant Press, E.U.A., 1980.

(20)Martin Schick J. NONIONIC SURFACTANTS. First edition, Marcel Dekker Press, E.U.A., 1977.

(21)Mysels, Shinoda and Frankel. SOAP FILMS. First edition, Pergamon Press. London 1979.

(22)Pallerini. N.J. ADVANCES IN BIOLOGICAL WASTE TREATMENT. First edition, Macmillan Press. E.U.A. 1980.

(23)Perry R.H. & Chilton. C.H. BIBLIOTECA DEL INGENIERO QUIMICO. Quinta edición, Ed. McGraw Hill. México 1986.

(24)Ross J. and Miles. Oil & Soap. Ind. Eng. Chem., 18, 98 - 99 (1975).

(25)Rubinfeld J. (to Colgate Palmolive Co.) U.S. patentt 4,075, 118. 1978.

(26)Salinas de Gortari Carlos. PLAN NACIONAL DE DESARROLLO 1989 - 1994, Primera edición, México 1989.

(27)Schwartz. A.M., Perry. J.W. SURFACE ACTIVE AGENTS, THEIR CHEMISTRY AND TECHNOLOGY. First edition, Interscience Publishers LTD, E.U.A., 1980.

(28)Swisher. R.D. SURFACTANT BIODEGRADATION. Third edition, Willard Grant Press, E.U.A., 1979

(29)Swisher. R.D. J. WATER POLLUT. CONTROL FED., 35,877 (1973).

(30) Union Carbide Chemicals & Plastics Company, Inc.
Nonionic Surfactants Inf., p 20 (1989).

(31) Wittcoff. H.A. PRODUCTOS QUIMICOS ORGANICOS
INDUSTRIALES. Primera edición, Ed. Limusa S.A. de C.V. México
1991.