



300627  
UNIVERSIDAD LA SALLE

ESCUELA DE QUIMICA

INCORPORADA A LA U.N.A.M.

6  
24

## **DETERGENTES DE USO DOMESTICO**

### **IMPACTO EN EL SER HUMANO Y**

### **MEDIO AMBIENTE**

TESIS PROFESIONAL

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE

QUIMICA FARMACEUTICA BIOLOGA

P R E S E N T A :

ESTHER GONZÁLEZ MARTÍNEZ

ASESORA: DRA. ARACELI SANCHEZ GONZÁLEZ

MEXICO D.F.

1996

**TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN**

**TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN**



Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



**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 esta 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.

Jurado:

Presidente:

Vocal:

Secretario:

1er Suplente:

2º Suplente:

Asesora:

Sustentante:

---

Dra. Araceli Sanchez González

---

Esther González Martínez

Esta investigación es el resultado y la culminación de casi 20 años de estudio, en este período he aprendido que las cosas se realizan solo si se pone el corazón en la realización de los objetivos que nos fijamos.

Sin la ayuda de mis padres, mis hermanos, mis compañeros, amigos y maestros que me guiaron en el camino de la vida y del conocimiento; este trabajo no habría visto la luz. En este momento, sin el amor incondicional de mi compañero en la vida y de mis hijos este trabajo no tendría mayor razón de ser.

Gracias a todos desde lo mas profundo de mi alma.

Un especial agradecimiento a la Dra. Araceli por su apoyo y comprensión a través del tiempo de realización de esta investigación.

Esta investigación es el resultado y la culminación de casi 20 años de estudio, en este período he aprendido que las cosas se realizan solo si se pone el corazón en la realización de los objetivos que nos fijamos.

Sin la ayuda de mis padres, mis hermanos, mis compañeros, amigos y maestros que me guiaron en el camino de la vida y del conocimiento; este trabajo no habría visto la luz. En este momento, sin el amor incondicional de mi compañero en la vida y de mis hijos este trabajo no tendría mayor razón de ser.

Gracias a todos desde lo mas profundo de mi alma.

Un especial agradecimiento a la Dra. Araceli por su apoyo y comprensión a través del tiempo de realización de esta investigación.

Objetivos.	1
I. Introducción.	3
II Antecedentes Históricos.	10
III. Fabricación y Propiedades Físicoquímicas.	20
A. Componentes químicos:	21
1. Surfactantes o sustancias tensoactivas.	22
1.1. Surfactantes aniónicos.	25
1.1.1. Alquilaril sulfatos.	25
1.1.2. Alquilsulfatos y alcohol sulfatos.	29
1.1.3. Alquileter sulfatos.	31
1.1.4. Alcanosulfonatos.	33
1.2. Surfactantes cationicos.	35
1.3. Surfactantes no iónicos.	35
1.3.1. Esteres de ácidos carboxílicos.	38
1.3.2. Alcohol etoxilados.	38
1.4. Surfactantes anfotéricos.	39
2. Coadyuvantes inorgánicos.	40
2.1. Alcalis.	41
2.2. Fosfatos.	41
2.2.1. Tripolifosfato de sodio.	41
2.2.2. Pirofosfato tetrasódico.	41
2.2.3. Ortofosfato trisódico.	42
2.2.4. Fosfatos de potasio.	42
2.3. Silicatos.	42
2.4. Sales neutras solubles.	43
2.5. Ácidos.	43
2.6. Coadyuvantes inorgánicos insolubles.	43
2.6.1. Zeolitas.	43
2.6.2. Arcillas.	44

3. Reforzadores orgánicos.	44
3.1. Carboximetilcelulosa.	44
3.2. EDTA y sus sales.	45
3.3. Agentes espumantes.	45
3.4. Agentes ópticos de limpieza.	45
3.5. Disolventes y solventes.	46
3.6. Inhibidores de la corrosión y empañamiento.	46
3.7. Enzimas.	46
3.8. Agentes blanqueadores.	46
3.9. Controladores de espuma.	47
3.10. Otros materiales.	47
B. Sistemas deterivos:	47
1. Efecto de la concentración del surfactante.	48
2. Efecto de la estructura del surfactante.	48
3. Presencia de agua "dura" y coadyuvantes.	49
4. Naturaleza del sustrato.	50
5. Tipo de suciedad.	51
5.1. Suciedad líquida.	51
5.2. Suciedad sólida.	52
6. Tiempo y temperatura de lavado.	53
7. Condiciones de lavado.	54
7.1. Acción mecánica.	54
7.2. Espuma.	54
C. Fabricación de detergentes:	55
1. Líquidos.	55
2. Polvos.	55
2.1. Mezclas secas.	55
2.2. Polvos aglomerados.	55
2.3. Polvos secos por el método de spray-dry.	56
3. Formulaciones típicas.	57
D. Surfactantes comerciales.	58
IV. Efectos Fisiológicos.	61
A. Absorción, metabolismo y excreción.	63
1. Alquilbencensulfonatos.	63
2. Alquilsulfatos.	65
B. Dosificación parenteral.	66
C. Absorción percútanea.	66
D. Toxicidad aguda.	67

E.	Toxicidad crónica.	68
F.	Tolerancia en caso de ingestión de detergentes.	70
	1. Aspectos clínicos.	73
	2. Medidas terapéuticas.	74
G.	Tolerancia local.	75
	1. Prueba de compatibilidad en mucosas.	76
	2. Prueba de compatibilidad en la piel.	80
H.	Observaciones dermatológicas en humanos.	83
	1. Eczema del ama de casa.	83
	2. Dermatitis del ama de casa.	84
	3. Dermatitis de contacto.	87
I.	Reacciones debidas a los coadyuvantes.	88
J.	Propiedades carcinogénicas, mutagénicas y teratogénicas.	88
	1. Carcinógenos.	88
	2. Mutagenicidad.	89
	3. Teratogenicidad.	90
<b>V. Efectos en el Medio Ambiente.</b>		<b>91</b>
A.	Consideraciones generales.	92
B.	Consideraciones sociales.	94
C.	Consideraciones ecológicas.	96
D.	Consideraciones hidrológicas.	97
E.	Contaminación del medio ambiente acuático.	100
	1. Disminución del oxígeno debida a contaminantes orgánicos.	105
	2. Fertilización por aumento de nutrientes inorgánicos.	105
F.	Características polucionantes de los detergentes sintéticos.	110
	1. Principales compuestos.	110
	2. Impactos por elementos.	111
	2.1. Carbono.	114
	2.2. Nitrógeno.	116
	2.3. Fósforo.	117
	2.4. Azufre.	118
	2.5. Otros componentes.	118
	2.5.1. Cloruros.	119
	2.5.2. Silicatos.	119
	2.5.3. Boratos y perboratos.	119
	2.5.4. Sodio.	119
<b>VI. Biodegradación de Detergentes.</b>		<b>120</b>
A.	Definiciones.	123

1. Biodegradación.	123
2. Biodegradación Primaria.	123
3. Biodegradación Final.	124
4. Biodegradación Ambientalmente Aceptable.	124
5. Biodegradación Inmediata.	124
6. Biodegradación Inherente.	124
B. Biodegradación aplicable al control de los surfactantes presentes en aguas residuales.	125
1. Sistemas Bacterianos Mixtos.	125
2. Sistemas de Alimentos Mixtos.	126
3. Temperatura.	127
4. Concentración de Oxígeno.	127
5. Posibilidad de Tratamiento y Remoción.	128
6. Remoción Química.	128
C. Métodos de pruebas de biodegradación y sus limitaciones.	129
1. Sistemas Típicos.	129
2. Resultados Típicos.	131
3. Degradación Completa o Final.	132
4. Surfactantes Mixtos.	133
5. Variables.	133
5.1. Concentración y tipo de bacterias.	133
5.2. Aclimatación bacteriana.	134
5.3. Tipo de alimento.	134
5.4. Condiciones especiales de la muestra de agua.	135
5.5. Toxicidad del detergente.	135
5.6. Metodología analítica.	135
D. Métodos analíticos.	136
1. Limitaciones y precauciones.	136
1.1. Muestras representativas.	137
1.2. Conservación de la muestra.	137
1.3. Preconcentración y prepurificación.	139
2. Métodos fisicoquímicos.	140
2.1. Métodos colorimétricos.	140
2.2. Cromatografía.	141
2.2.1. Cromatografía en capa fina.	141
2.2.2. Cromatografía de gas.	142
2.2.3. Cromatografía de columna.	142
2.2.4. Cromatografía líquida de alta resolución (HPLC).	142
2.2.5. Electroforesis.	142

2.3. Espectroscopía.	143
2.3.1. Espectroscopía de Infrarrojo.	143
2.3.2. Espectroscopía de Ultravioleta.	143
2.3.3. Resonancia Magnética Nuclear.	143
2.3.4. Espectroscopía de Masas.	143
2.4. Marcadores radiactivos.	144
3. Métodos metabólicos.	144
3.1. Requerimiento de oxígeno	144
3.2. Relación de oxígeno.	144
3.3. Contenido de carbón orgánico.	145
3.4. Formación de bióxido de carbono.	145
3.5. Crecimiento bacteriano por conteo en placa.	145
3.6. Toxicidad en organismos.	145
3.7. Interacciones con enzimas.	146
VII. Problemática del D.F. y Area Metropolitana.	147
A. Características del Valle de México.	148
1. Localización.	149
2. Geología.	149
3. Clima.	149
4. Hidrología.	150
5. Demografía.	150
6. Requerimiento de agua.	152
B. Sistema de drenaje en el Valle de México.	153
C. Calidad fisicoquímica y bacteriológica de las aguas residuales.	156
D. Organismos gubernamentales.	158
1. Secretaría del Medio Ambiente, recursos Naturales y Pesca.	158
2. Instituto Nacional de Ecología.	159
3. Procuraduría Federal del Consumidor.	160
4. Secretaria de Comercio y Fomento Industrial.	162
5. Tratado de Libre Comercio.	163
6. Organización de Cooperación y Desarrollo Económico.	165
E. Consumo de detergentes en el D.F.	166
VIII. Conclusiones y Recomendaciones.	171
IX. Bibliografía y Hemerografía.	177

Anexo I. Toxicidad aguda y Toxicidad crónica de detergentes.	199
Anexo II. Localización del Valle de México.	203
Anexo III. Tipos comunes de plantas para tratamiento de aguas negras.	204
Anexo IV. Ley General del Equilibrio Ecológico y La Protección al Medio Ambiente 1988.	207

## OBJETIVOS.

## **OBJETIVOS:**

CONOCER EL IMPACTO QUE CAUSAN LOS DETERGENTES SINTÉTICOS DE USO DOMESTICO EN EL SER HUMANO Y EN EL MEDIO AMBIENTE QUE LO RODEA.

CONSIDERAR LOS DETERGENTES DE USO DOMÉSTICO MÁS FRECUENTE Y SU IMPACTO AL MEDIO AMBIENTE..

## *I. INTRODUCCIÓN.*

# I. INTRODUCCIÓN

(55,56)

Las personas vivimos en dos mundos. Como todos los seres vivos, vivimos en el mundo natural, creado durante los 5,000 millones de años de historia de la Tierra por procesos físicos, químicos y biológicos. El otro mundo es de nuestra propia creación: casas, coches, granjas, fábricas, laboratorios, alimentos, ropas, libros, cuadros, música, poesía. Aceptamos la responsabilidad de los sucesos que tienen lugar en nuestro propio mundo, pero no la correspondiente a lo que ocurre en el mundo natural. Sus tormentas, sequías e inundaciones son "Actos de Dios", ajenos al control humano y exentos de nuestra responsabilidad.

Sin embargo, a escala planetaria, esta división ha sido quebrantada. Bajo la forma de un agujero del tamaño de un continente en la capa protectora de ozono de la Tierra y bajo la amenaza de un caldeoamiento global, incluso las sequías, las inundaciones y las olas de calor puede convertirse en inconscientes actos del hombre.

Al igual que la creación, los presagiados acontecimientos globales son cósmicos: modifican las relaciones entre el planeta Tierra y su estrella, el Sol. La poderosa influencia del Sol sobre la Tierra es ejercida por dos fuerzas: la gravedad y la radiación solar. La gravedad es una fuerza casi constante que determina el camino que el planeta recorre alrededor del Sol. La radiación solar -luz visible y ultravioleta principalmente- constituye una vasta corriente de energía que baña la superficie terrestre, fluctuando del día a la noche y de una estación a otra. La

energía solar impulsa aquellos procesos de la vida que requieren energía. Da lugar al clima del planeta y rige la evolución gradual y el comportamiento habitual de su enorme y variada población de seres vivos. Hemos estado interfiriendo con esta poderosa fuerza, inconscientes, al igual que el aprendiz de brujo, de las consecuencias potencialmente desastrosas de nuestros actos.

Nos hemos acostumbrado hoy a la común imagen de la Tierra, tal como la hemos visto desde la primera expedición a la Luna, una hermosa esfera azul decorada por remolinos de nubes de algodón. Se trata de un espectacular objeto natural. A esa distancia, no hay señales visibles de actividad humana. Pero esta imagen, que se nos muestra una y otra vez mediante fotografías, carteles y anuncios, es engañosa. Aunque la catástrofe del calentamiento global nunca se materializara y el agujero de ozono siguiera siendo un esotérico fenómeno polar, la actividad humana ha alterado ya profundamente las condiciones globales en aspectos que no pueden ser registrados por la cámara. En todos los lugares del mundo existe, hoy en día, una radiactividad que antes no estaba allí, el peligroso residuo de las explosiones nucleares y de la industria de la energía nuclear. Los nocivos gases de la contaminación envuelven todas las grandes ciudades; plaguicidas sintéticos carcinógenos han sido detectados en la leche materna en todo el mundo; grandes selvas han sido taladas, destruyendo nichos ecológicos y las especies residentes.

Estos problemas demuestran un hecho básico, en el breve lapso de su historia, la sociedad humana ha ejercido un efecto sobre su hábitat planetario equiparable a la envergadura y el impacto de los procesos naturales que, hasta ahora, gobernaron por entero las condiciones globales del planeta.

energía solar impulsa aquellos procesos de la vida que requieren energía. Da lugar al clima del planeta y rige la evolución gradual y el comportamiento habitual de su enorme y variada población de seres vivos. Hemos estado interfiriendo con esta poderosa fuerza, inconscientes, al igual que el aprendiz de brujo, de las consecuencias potencialmente desastrosas de nuestros actos.

Nos hemos acostumbrado hoy a la común imagen de la Tierra, tal como la hemos visto desde la primera expedición a la Luna, una hermosa esfera azul decorada por remolinos de nubes de algodón. Se trata de un espectacular objeto natural. A esa distancia, no hay señales visibles de actividad humana. Pero esta imagen, que se nos muestra una y otra vez mediante fotografías, carteles y anuncios, es engañosa. Aunque la catástrofe del caldeoamiento global nunca se materializara y el agujero de ozono siguiera siendo un esotérico fenómeno polar, la actividad humana ha alterado ya profundamente las condiciones globales en aspectos que no pueden ser registrados por la cámara. En todos los lugares del mundo existe, hoy en día, una radiactividad que antes no estaba allí, el peligroso residuo de las explosiones nucleares y de la industria de la energía nuclear. Los nocivos gases de la contaminación envuelven todas las grandes ciudades; plaguicidas sintéticos carcinógenos han sido detectados en la leche materna en todo el mundo; grandes selvas han sido taladas, destruyendo nichos ecológicos y las especies residentes.

Estos problemas demuestran un hecho básico, en el breve lapso de su historia, la sociedad humana ha ejercido un efecto sobre su hábitat planetario equiparable a la envergadura y el impacto de los procesos naturales que, hasta ahora, gobernaron por entero las condiciones globales del planeta.

Está claro que precisamos comprender la interacción entre nuestros dos mundos:

- a) la ecosfera natural, que es la fina envoltura de aire que rodea al planeta. El agua, el suelo, los animales y las plantas entre otros, pertenecen a este mundo.
- b) y la tecnosfera, hecha por el hombre.

La Tecnosfera se ha vuelto lo bastante grande e intensa como para alterar los procesos naturales que rigen la ecosfera. Y, a su vez, la ecosfera alterada amenaza con inundar nuestras grandes ciudades, secar nuestras ricas granjas, contaminar nuestra comida y agua y envenenar nuestros cuerpos, disminuyendo catastróficamente nuestra capacidad de proveer las necesidades humanas básicas. El ataque humano contra la ecosfera ha instigado un contraataque ecológico. Los dos mundos están en guerra.

Las dos esferas en que vivimos se rigen por leyes muy distintas. La ecosfera tiene las siguientes:

1. "Todo está relacionado con Todo". Expresa el hecho de que la ecosfera es una elaborada red en la cual cada una de las partes que la componen está vinculada a muchas otras.

2. "Todas las cosas han de ir a parar a alguna parte". Pone de manifiesto la importancia fundamental de los ciclos en la ecosfera. En un sistema

cíclico cerrado no existen los "desechos". Todo lo que se produce en una parte del ciclo "van a parar a alguna parte" y es utilizado en una fase posterior.

3. "La naturaleza es la mas sabia". El ecosistema es consecuente consigo mismo. Sus numerosos componentes son compatibles los unos con los otros y con su conjunto. Una estructura tan armoniosa es el resultado de un período muy largo de ensayo y error -los 5,000 millones de años de evolución biológica-. El sector biológico de la ecosfera, denominada biosfera, está compuesto por seres vivos que han sobrevivido a esta prueba a causa de su lograda adaptación al nicho ecológico particular que ocupan. Esta frase resume la visión de que a lo largo de los varios miles de millones de años durante los cuales han evolucionado, los seres vivos han creado una serie limitada pero consistente de sustancias y reacciones que son esenciales para la vida.

En la Tecnosfera estas leyes no se emplean, las partes que la componen tienen una relación muy diferente con lo que lo rodea. La elaboración de los productos de consumo solamente tienen como objetivo el satisfacer una demanda particular del consumidor final, sin preocuparse por conocer el destino final del artículo.

La tecnosfera esta dominada por procesos lineales. Los cultivos y los animales que de ellos se alimentan son comidos por las personas. Sus desechos son arrojados al sistema de alcantarillado, alterados en su composición, pero no en su cantidad en una planta de tratamiento, y los residuos son vertidos a los ríos o a los océanos como desperdicios, lo cual altera el ecosistema acuático natural. El resultado final de este proceso lineal es la contaminación del aire y la amenaza de

un calentamiento global. El final del camino de los productos tecnificados, son siempre desechos, que son un ataque contra los procesos cíclicos que sustentan la ecosfera.

A diferencia de la ecosfera, la tecnosfera se compone de objetos y materiales que reflejan un rápido e inexorable proceso de cambio y variación. En menos de un siglo, el transporte ha progresado desde el carro tirado por caballos, pasando por el Ford modelo T, hasta la actual serie de coches y aviones que se modifican cada año. La química orgánica sintética comenzó muy inocuamente hace unos 150 años con la producción en laboratorio de una sustancia natural común, la urea, pero pronto se desvió de su actitud imitadora para producir una enorme variedad de componentes orgánicos jamás hallados en la naturaleza, y frecuentemente, incompatibles con la vida. El nilón, por ejemplo, a diferencia de un polímero natural como la celulosa, no es biodegradable, es decir, no hay ninguna enzima en ningún organismo viviente que pueda descomponerlo.

Por último, resulta útil comparar la ecosfera y la tecnosfera por lo que respecta a las consecuencias del fracaso. En la ecosfera el fracaso es expresado por el concepto de que "el almuerzo gratuito no existe", que implica que cualquier distorsión de un ciclo ecológico o la intrusión de un componente incompatible conduce inevitablemente a efectos perjudiciales. A primera vista, la tecnosfera parece estar extraordinariamente libre de errores, es decir, es un proceso o producto tecnológico que falló no a causa de un accidente imprevisto, sino porque fue incapaz de realizar aquello para lo que estaba destinado. Sin embargo, casi toda la tecnología moderna presenta graves defectos, que se manifiestan como un serio impacto al ambiente que lo rodea.

Puesto que las personas vivimos en ambos mundos, quedamos atrapados en el choque entre la ecosfera y la tecnosfera. Lo que llamamos crisis ambiental, la serie de problemas críticos no resueltos que van desde los vertidos tóxicos locales a la alteración del clima global, es producto del drástico desajuste entre los procesos cíclicos, conservadores y autocoherentes de la ecosfera y los procesos lineales e innovadores, pero ecológicamente inarmónicos, de la tecnosfera.

La ambigüedad creada por el hábitat dual en que vivimos ha dado lugar a una gama muy amplia de reacciones. Las interpretaciones extremas de la relación entre las dos esferas que ocupa la sociedad humana, y una impresionante serie de posturas intermedias, constituyen una prueba convincente de que todavía no hemos comprendido cómo han entrado en conflicto los dos sistemas y, en consecuencia, no estamos todavía capaces de resolver dicho conflicto.

Este trabajo de investigación se basa en el estudio de uno de los contaminantes de más uso dentro de los hogares de todo el mundo. A diferencia de los plaguicidas, fertilizantes, gasolina, fibras sintéticas y demás productos derivados del petróleo que tienen un uso particular y discreto, los surfactantes se presentan en uno de los mayores productos comercializados en el mundo: los detergentes sintéticos de uso doméstico. Debido a su uso tan extendido se consideran como productos inocuos para el medio ambiente, pero como se ha visto en los Grandes Lagos Americanos y Canadienses, pueden causar la muerte de un lago en menos de una década <sup>(45, 87, 88, 90, 290, 301, 302, 305)</sup>.

## *II. ANTECEDENTES HISTÓRICOS.*

## II. ANTECEDENTES HISTÓRICOS

(183, 224)

Podemos denominar en forma general como detergente a cualquier agente que limpia. Si ampliarnos este significado podemos definirlo como cualquier agente sintético que produzca una limpieza extraordinariamente intensificada de una solución acuosa del mismo.

Este agente limpiador o mezcla de agentes limpiadores sintéticos que manifiestan su actividad en solución se les denomina genéricamente como "detergente" para diferenciarlo de su predecesor natural, el jabón. La base principal de desarrollo son los agentes tenso activos sintéticos o surfactantes, desarrollados a principios del siglo XX.

El mayor problema al que se enfrentaban los industriales textiles del siglo pasado era la precipitación de los jabones empleados para la limpieza de los géneros de lana y algodón, manufacturados en Alemania e Inglaterra principalmente. Generalmente el jabón se precipita al entrar en contacto con el agua "dura" ya que reaccionan los ácidos grasos que conforman su estructura con los iones metálicos ( $\text{Ca}^{+2}$ ,  $\text{Mg}^{+2}$ ,  $\text{Fe}^{+2}$  y  $\text{Fe}^{+3}$ ) presentes en solución, formando depósitos en los tejidos difíciles de eliminar. Además, "corta" la solución de jabón provocando la reducción de espuma y por lo tanto disminuye su poder detergente. Económicamente se tenía un aumento en el costo de lavado ya que se empleaba una mayor cantidad de jabón para el proceso.

Al inicio del Siglo X, las investigaciones realizadas por la compañía alemana Henkel dieron como resultado el desarrollo del primer jabón con acción propia o auto activado, comercializado a partir de 1907 con el nombre de Persil. Esta era una mezcla de jabones con coadyuvantes como carbonato de sodio, silicato de sodio y perborato sódico. Estas sales ayudaban protegiendo al jabón base de los iones metálicos presentes en el agua y mejoraba sus propiedades de blanqueo de la ropa así como su poder limpiador.

En 1913 Reyhler anunció la síntesis del ácido cetilsulfónico (ácido hexadecano sulfónico-1) y del cloruro de cetil trietil amonio a partir de las grasas obtenidas de la esperma de ballena, estudió muchas de sus propiedades físicas e hizo resaltar sus características semejantes a la de los jabones. Sin embargo, sus publicaciones no recibieron la atención necesaria de la industria. Reyhler en realidad desarrolló los primeros agentes tenso activos sintéticos.

El bloqueo comercial al que sometieron los países aliados a Alemania durante la Primera Guerra Mundial provocó la escasez de grasas animales para uso industrial, por lo que se tuvieron que desarrollarse agentes tenso activos sintéticos que no provinieran de las grasas, para sustituir a los jabones.

La primera patente mundial para un tenso activo (pat. alemana 336 558) fue concedida en 1917 al Dr. Fritz Gunther de la compañía Badische Anilin-und Soda-Fabrik, la cual cubría la aplicación del diisopropil naftaleno sulfonato de sodio. Este surfactante se obtuvo a partir de la alquilación y posterior sulfonación del naftaleno presente en el aceite de ricino, y se comercializó en una mezcla ya denominada detergente.

En los primeros intentos de preparación de detergentes, con las buenas cualidades del jabón pero mas resistentes frente a aguas duras y ácidos, se usaron las moléculas del jabón como modelos. Se sabía con anterioridad que la sensibilidad de sus moléculas se debía a la presencia de los grupos carboxilos, por lo que se buscaron métodos para remplazarlo sin modificar la cadena alifática base.

Uno de los caminos condujo a remplazar el grupo carboxilo por un hidroxilo, y por tratamiento posterior con ácido sulfúrico, producir un alcohol graso sulfatado. De esta manera se mantenía la cadena de hidrocarburo y se introducía un grupo solubilizante mucho mas resistente que el carboxilo ante el agua dura. Sin embargo, con excepción del alcohol cetílico (hexadecanol-1), componente de la esperma de ballena, no había alcoholes grasos de los que se pudiera disponer a escala comercial.

Durante los años 20's las compañías alemanas desarrollaron la producción de alcoholes grasos saturados utilizando la hidrogenación catalítica a alta presión de los ésteres grasos.

Los ingredientes activos de los detergentes tienen estructuras químicas básicas derivadas de hidrocarburos petroquímicos. Los primeros representantes de los alquilarenosulfonatos aparecieron en 1925 en el mercado con el nombre comercial de Nekal (butilnaftaleno sulfonato de sodio) comercializados por IG-Farbenindustrie AG en Alemania y después en New York por la National Aniline AG, estos productos aun se usa en la industria textil de ambos países. Estos surfactantes son indispensables para tener espumas de alta calidad y son parte de las mezclas de los detergentes para limpieza de productos delicados. En 1929

fueron lanzados al mercado los productos de condensación del tipo "Igepone" y en 1930, los primeros éteres poliglicoles de alcoholes grasos, ácidos grasos y aminas.

Para finales de la década de 20's solo se usaban los detergentes en la industria textil. No fue sino hasta 1931 en que la compañía Procter & Gamble evaluó el alquilarensulfato de sodio de origen alemán para su posible aplicación como detergente para uso en el hogar. Se negociaron acuerdos con los dueños de la patente alemana formándose la sociedad "Gardinal Corporation" por Procter & Gamble y DuPont, quien también poseía la patente de aplicación del proceso para fabricar alcoholes grasos. Estos acuerdos dejaron en 1932 libre a la primera para desarrollar y comercializar detergentes sintéticos para utilizarse en las tareas domésticas de limpieza y en el lavado de ropa sucia. Con esta ruta química se podía producir detergentes sintéticos a partir de productos naturales, con propiedades superiores a la de los jabones clásicos.

Al poderse obtener alquilarenosulfonatos sintéticos basados en grasas naturales (aceite de coco, palma y olivo principalmente) se hizo posible que se desarrollara el primer detergente neutro para el uso personal, este fue comercializado en Alemania por Henkel con el nombre de "Fewa" en 1932 y en 1933 en USA por Procter & Gamble el "Dreft" con propiedades similares.

Dreft fue el primer detergente sintético americano empacado para uso en el hogar, era un polvo ligero que consistía en 40% de sulfato de sodio de los ácidos grasos del coco y el resto de sulfato de sodio y agua. Este detergente no formaba grumos en el agua dura y limpiaba las prendas ligeramente sucias adecuadamente,

no así las prendas muy sucias. Junto con este detergente sale al mercado el primer champú de aceites sulfonados o "carentes de jabón" denominado "Drene".

En 1936 se funda la GAF (General Aniline & Film Corp.) operando principalmente en la fabricación de surfactantes destinados a la elaboración de detergentes y emulsificantes.

En esta década se mejoraron los métodos de destilación, con lo que se profundizó en el conocimiento de los aceites esenciales. También se mejoraron los procesos industriales de desarrollo de mezclas para detergentes de uso pesado, de uso especial, para el lavado de vajilla, en cosméticos y lociones de uso personal. Se desarrollaron las etanolaminas, los aceites hidrogenados y sulfonados, las bases de absorción, el sorbitol y el manitol.

Antes de la II Guerra Mundial se contaba ya con tenso activos aniónicos derivados de los sulfonatos de alquilbencen naftaleno, estableciéndose su comercialización después de la Guerra, al ser utilizados como derivados isopropílicos. Estos productos tienen un poder humectante excelente, con resistencia marcada a la precipitación con óxido de calcio, por lo que se usaron solamente con este propósito en las mezclas de blanqueo en textiles, a pesar de tener un buen poder detergente.

En Inglaterra, Thomas Hedley introdujo el detergente "Orvus" en polvo para uso en la industria textil, esta era una mezcla equivalente al Dreft americano. Hacia 1937, Unilever comercializó el producto "Leda" en polvo utilizando como componente activo al surfactante "Igepon 702K" y cloruro de sodio como diluyente.

En esta misma época, la compañía Colgate-Palmolive-Peat lanza al mercado el producto "Vel" usando sulfato mono glicérido de amonio como ingrediente activo. Sin embargo, en esta época todavía no se obtenían los monoglicéridos puros a bajos costos ni se adicionaban pirofosfatos o metafosfatos como coadyuvantes, por lo que no se comercializaron de manera adecuada.

Al finalizar la década se introdujeron dos nuevos tipos de productos químicos que se usaron como coadyuvantes: los derivados del ácido etiléndiaminoacético (EDTA, EDMA, etc.) y los agentes de blanqueo fluorescentes (blanqueadores ópticos).

En la posguerra se observaron las ventajas del uso del tripolifosfato de sodio en las formulaciones de detergentes pero no estaba disponible en cantidades industriales, no fue sino hasta 1948 cuando se obtuvo en cantidades apreciables como para ser comercializado.

Otros progresos fueron la obtención de ácidos grasos sintéticos obtenidos directamente de la refinación del petróleo, los bisulfatos de alcoholes secundarios y finalmente los ácidos grasos del coco.

Los productos líquidos para el lavado de loza de uso doméstico tuvieron su origen en 1947 con la introducción del producto "Glim", que originalmente consistía de 82% de nonilfenol etilenoilado con 10 moles de óxido de etileno y el resto de agua. Este producto tenía como característica principal una espuma abundante y estable ante las grasas, además de ser mas suave la piel.

A partir de esta formulación se mejoraron los detergentes para ser usados en lava vajillas automáticas, ya que estos mecanismos necesitan de una menor concentración de espuma para un enjuague mas rápido. En este caso se usaron productos secos muy alcalinos que contenían carbonato de sodio o sesquicarbonato sódico, silicato sódico, fosfato trisódico y de 1 a 3 % de surfactante no iónico (polipropilen glicol condensado con un 20 % de óxido de etileno o éteres de alquilfenoles etilenoxidados) poco espumoso, este se adicionaba principalmente para evitar las manchas que deja el agua dura.

Los productos derivados del queroceno fueron rápidamente reemplazados como resultado del desarrollo comercial de los alquilbencensulfonatos, principalmente los producidos a partir de un tetraméro de propileno ensamblado a un núcleo bencenico denominado TPBS. En pocos años el cambio fue casi completo en los Estados Unidos, ya que estaba presente en casi todos los productos de aseo personal y de lavandería, con excepción de las barras de jabón. Esto se hizo posible gracias al mejor comportamiento del detergente en presencia de agua dura así como por el menor costo con un mayor rendimiento del producto final.

El tetrapropilen bencensulfonato de sodio fue un producto usado en todo el mundo durante más de una década desde 1950 a 1965 en donde empezó a prohibirse su uso por razones ecológicas. A partir de su empleo tan extendido se iniciaron con más ímpetu los estudios de biodegradación debido a los grandes problemas que empezaron a presentarse en todo el mundo a causa del aumento de la formación de espuma tanto en los tanques de tratamiento de aguas negras como en los desagües directos a ríos y lagos <sup>(300)</sup>.

Este problema se debió a la misma propiedad que causó su éxito comercial, es decir, la retención de las propiedades detergentes (léase espumante) en aguas naturales en concentraciones cercanas a 1 ppm, la cual es muchísimo menor que la concentración mínima de cualquier otro compuesto químico en solución para ser reconocido a simple vista en las aguas residuales.

En los años de 1958-59, apareció en el mercado un grupo nuevo de detergentes especiales para uso en el hogar, estos contenían hasta un 50% de aceite de pino o de queroseno refinado, con un 4-8% de surfactante no iónico de nonilfenol con 10 moles de óxido de etileno como agente de acoplamiento y emulsionantes, denominados genéricamente como "pinol".

En 1965 la industria manufacturera americana abandonó casi en su totalidad el uso de los TBS debido a la gran estabilidad biológica de algunos de sus componentes, este cambio fue en favor de los surfactantes de cadenas lineales o LAS. En todo el mundo se inició el mismo cambio con mayor o menor celeridad, sin embargo en México no fue sino hasta 1990 que empezó esta sustitución.

En 1954 se inicia en México la producción de detergentes empleando materia prima básica importada como el etilbenceno, fosfatos y sulfatos de sodio. El detergente es una respuesta tecnológica a la escasez de oleaginosas que padecen algunas naciones metropolitanas como Alemania y Estados Unidos, pero paradójicamente se difunde e impone en las naciones productoras de oleaginosas. A ello debemos de agregar que en los países desarrollados y con tecnología, la legislación del país obliga a los industriales a utilizar materia prima no contaminante para el medio ambiente, cosa que no ocurre en México por lo que la facilidad

económica y legislativa provoca que se manufacturen detergentes en base a materiales inorgánicos derivados del petróleo.

En la década de los noventas, con el inicio del Tratado de Libre Comercio para América del Norte, para su exportación, los productos nacionales tuvieron que ser modificados en sus formulaciones ya que presentaban materias primas no aceptadas en Canadá o en Estados Unidos, como es el caso de los tensoactivos no biodegradables de cadenas duras, de gran uso en los detergentes nacionales de uso doméstico.

Además, las compañías manufactureras tuvieron que modificar las concentraciones de fosfatos de sus productos y en algunos casos eliminarlos sustituyéndolos por otro tipo de coadyuvante de lavado permitido en Canadá o Estados Unidos como son los carbonatos.

### *III. FABRICACIÓN Y PROPIEDADES FISICOQUÍMICAS.*

### III. FABRICACIÓN Y PROPIEDADES

#### FISICOQUÍMICAS.

Podemos definir a los "detergentes" como la mezcla de varios materiales, en el que por lo menos uno es un surfactante sintético, que se emplea para la limpieza de superficies sucias. Por lo que el término "detergencia" se emplea de forma amplificada para señalar el poder limpiador o el efecto limpiador, según se refiera al detergente o al sustrato. De esta manera la expresión detergencia del laurilsulfato de sodio sobre el algodón denota el efecto limpiador que tiene una solución de laurilsulfato de sodio sobre el algodón sucio.

Los detergentes pueden clasificarse según su composición química (jabonosos, sintéticos, alcalinos, bactericidas, etc.); su estado físico (líquidos, polvo, barras, geles) y su aplicación (industriales, domésticos, de trabajo pesado, textiles, etc.). La clasificación más práctica usada se basa en el sistema suciedad-sustrato para cuya limpieza es preparado el detergente, por este criterio se distinguen los detergentes para limpieza de textiles, de uso doméstico, para superficies duras, para piel, para el cabello, etc.

#### A. Componentes químicos <sup>(175, 181, 224)</sup>

El detergente típico es una mezcla de varios componentes, cada uno de los cuales tiene una función específica. Las formulaciones tienen en cuenta las condiciones de lavado para obtener una máxima detergencia en el sustrato. En general se pueden tener las siguientes sustancias en una formulación:

1. Surfactantes: esta es la contracción del término "surface active agent" o en español agente tensoactivo, el cual denota la propiedad más importante de estos compuestos, se concentran en la superficie y en las interfaces de una solución alterando las propiedades de las mismas.

2. Sales, ácidos y bases inorgánicas: éstos son denominados "coadyuvantes" si contribuyen significativamente a la detergencia de la mezcla, en caso contrario se denominan "diluyentes" o "rellenos".

3. Reforzadores orgánicos y aditivos para fines especiales: son aditivos que aumentan la detergencia, el poder espumante, el poder emulsivo o el efecto dispersor de la mezcla sobre las partículas de suciedad. Además de los blanqueadores ópticos, suavizantes, bactericidas y emolientes, se toman en cuenta todas las sustancias que modifiquen o mejoren la forma física de la mezcla.

1. **Surfactantes o sustancias tensoactivas:** se caracterizan tecnológicamente por la capacidad de sus soluciones para producir humectación, dispersión, penetración, emulsificación, detergencia y en determinadas condiciones, para solubilizar sustancias normalmente insolubles. Aunque la mayoría de los agentes tensoactivos poseen en cierto grado todas las propiedades indicadas, algunos se distinguen por sólo una de esas propiedades útiles, por lo que se tienen agentes humectantes, emulsivos, detergentes, etc.

Desde el punto de vista fisicoquímico, se caracterizan por el comportamiento anómalo de sus soluciones en su actividad superficial e interfasal y en sus propiedades relativas al volumen. Tienen la capacidad extraordinariamente elevada

de reducir la tensión superficial y de interfases de las soluciones en las que están como solutos. Estas propiedades se deben a las características fisicoquímicas que definen a los surfactantes:

- a. Estructura ambipatica: la estructura química de la molécula se compone de 2 grupos de tendencia solubilizante opuesta, típicamente una cadena de hidrocarburo soluble en aceite y un grupo ionizante soluble en agua.
- b. Solubilidad: un surfactante es soluble, al menos en una de las fases de un sistema líquido.
- c. Adsorción en las interfases: en el equilibrio de la solución, la concentración del surfactante soluto es mayor en la interfase que la concentración del mismo en solución.
- d. Orientación en la interfase: las moléculas del surfactante, así como sus iones, forman monocapas con una sola orientación.
- e. Formación de micelas: los surfactantes forman agregados moleculares o de iones, denominados "micelas", cuando la concentración como soluto en la solución excede de un valor límite conocido como Concentración Crítica Micelar (CMC), característico de cada sistema soluto-solvente. Esta característica confiere a la solución características de coloide (fig.1).

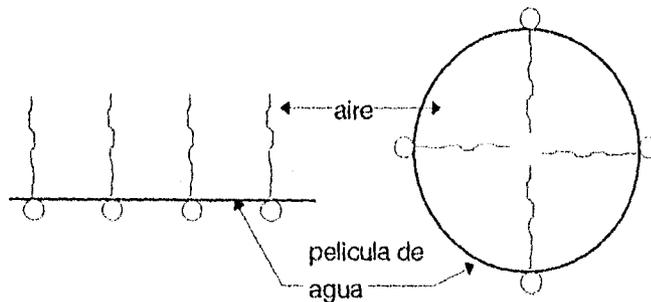
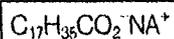


Fig. 1 Esquemización de la formación de espuma.

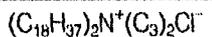
Básicamente, la diferencia que existe entre las burbujas de espuma y las micelas son la concentración de soluto requerido para formarlas, ya que las segundas necesitan concentraciones superiores a 1 000 ppm por lo que no son de gran interés en el estudio de los detergentes.

Para su estudio se pueden dividir en cuatro grandes grupos dependiendo de la carga del grupo hidrofílico que este presente en la molécula:

1.1. Aniónicos: son aquellos que en solución acuosa presentan carga negativa, debida a grupos sulfatos, sulfonatos y carboxilatos. Son los más usados en detergentes contribuyendo en un 70 %, siendo los más empleados los alquil aril sulfonatos.



1.2. Cationicos: poseen carga positiva en solución acuosa, característicamente son sales de amonio cuaternario. Solamente se emplean en detergentes como bacteriostáticos y suavizantes de telas.

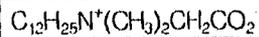


1.3. No iónicos: no tienen carga en la molécula ya que poseen grupos hidrofílicos que no se ionizan de forma apreciable en solución acuosa, como son los polioxi-etilenos. En general el grupo hidrófobo consiste en una cadena de hidrocarburo de longitud aproximada de 10 a 20 átomos de carbono. Las moléculas pueden contener oxígeno, anillos de benceno, amidas, ésteres y

otros grupos funcionales, incluyendo dobles ligaduras. Contribuyen a los detergentes en un 30 %.

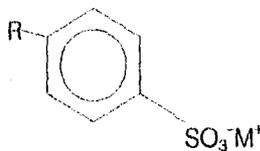


1.4. Anfotericos: presentan carga positiva y negativa en la misma molécula.



1.1. Surfactantes aniónicos: Se han enlistado cerca de 16 grupos y subgrupos de surfactantes aniónicos. Presentan grupos polares carboxilatos, sulfonatos, sulfatos y fosfatos, los primeros corresponden a jabones y surfactantes asociados. Los fosfatados no tienen aplicaciones en detergentes. Se tomarán en cuenta solamente los más usados en aplicaciones de detergentes.

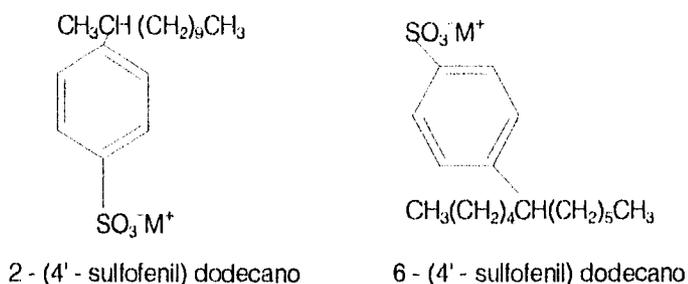
1.1.1. Alquil aril sulfonatos (ABS, LAS): Son los surfactantes más empleados debido a su excelente poder detergente, su bajo costo de fabricación y sus características detergentes atractivas para el consumidor. Consisten en cadenas alquílicas, usualmente en una mezcla de 10 a 15 átomos de carbono, con una tendencia al promedio de 11 y 12 carbonos, unidos a un anillo de benceno en posición para con respecto al grupo aniónico sulfonato  $-\text{SO}_3^- \text{M}^+$ :



en ocasiones se reemplaza al benceno por anillos de tolueno, xileno y naftaleno. La longitud media de la cadena es normalmente de 12, sin embargo, en algunos casos se tienen promedios de 13 y 14 carbonos.

Convencionalmente se denominan ABS a los alquilbencenos de cadena ramificada, dejando el termino LAS para los productos de cadenas lineales. Estos últimos se derivan de un sulfonato aromático con dos cadenas laterales cortas.

El anillo de benceno está unido a cualquiera de los átomos de carbono de C2 a C6 por lo que los LAS son una mezcla de alquilbencensulfonatos secundarios:

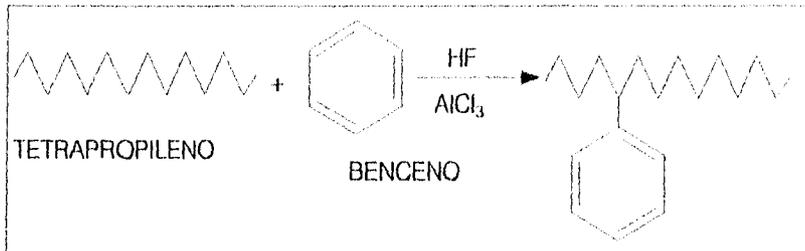


Los isómeros primarios no se forman por los métodos de producción empleados y el anillo aromático esta distribuido al azar dentro de los átomos internos de carbono. El uso de cloruro de aluminio como catalizador en la manufactura de LAS produce una mayor proporción de isómeros 2-fenil que si se utiliza ácido clorhídrico como catalizador.

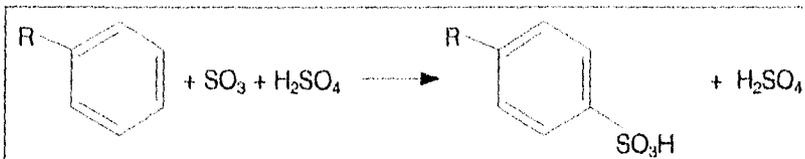
**1.1.1.1 Métodos de producción:** Los productos ABS originales fueron producidos por medio de una alquilación Friedel-Crafts del benceno con tetrapolipropileno, envolviendo la adición del benceno a la doble ligadura de la

olefina, usando como catalizador al cloruro de aluminio o al ácido fluorhídrico, seguido de la sulfonación con ácido sulfúrico o trióxido de azufre:

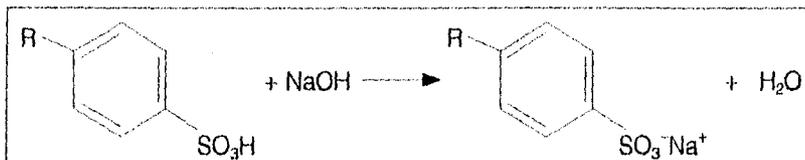
ALQUILACIÓN :



SULFONACIÓN:



NEUTRALIZACIÓN:



Los alquilbencen sulfonatos lineales, que son más aceptados ecológicamente, se sintetizan a partir de cadenas lineales de parafinas con una longitud promedio de 12 átomos de carbono. El alquilato de tetrapropileno lineal se obtiene de una fracción de petróleo utilizando un separador molecular. El alcano es monoclorinado y luego es usado directamente en una reacción Friedel-Crafts para alquilar el anillo de benceno utilizando como catalizadores el cloruro de aluminio anhidro o ácido fluorhídrico. La sulfonación se lleva a cabo con ácido sulfúrico o trióxido de azufre

gaseoso para obtener el ácido sulfónico, este al ser neutralizado da lugar a la formación de la sal deseada, que generalmente es de sodio o potasio.

Puede escogerse como materia de partida diversos grupos aromáticos, variando el número, posición y longitud de las cadenas laterales unidas a ella. Se prefiere utilizar alquilbenceno refinado de un peso molecular promedio de 233 a 245 que equivale a dodecibenceno, y entre 257 a 265 que equivale a una cadena de 13 carbonos. Este último presenta una mejor detergencia y espuma más estable en agua normal, mientras que el dodecibenceno tienen un bajo punto de turbiedad y menor viscosidad en formulaciones líquidas.

Los productos LAS son ácidos al salir de producción y se neutralizan inmediatamente o al mezclarse en las formulaciones. Se emplea generalmente la sal de sodio, pero se pueden producir sales de aluminio, calcio, magnesio, aminas y alcanolaminas para propósitos especiales.

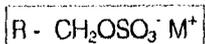
**1.1.1.2 Usos y aplicaciones:** Se emplean generalmente en formulaciones de detergentes para trabajo pesado tanto en forma líquida como en polvo. Las sales de isopropilaminas se emplean en geles para el lavado de manos y las sales de trietanolamina en detergentes cosméticos y geles para baño de burbujas.

Los LAS en forma ácida contienen menos del 10% de agua y son líquidos viscosos a temperatura ambiente, de color amarillo pálido a café oscuro dependiendo de su pureza. Las sales de sodio se distribuyen como ceras, pastas o suspensiones dependiendo del contenido de agua.

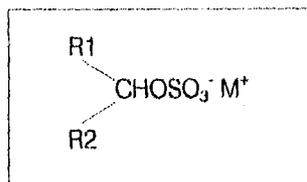
Las sales de ABS y LAS son neutras, relativamente estables en agua dura y resistente a la hidrólisis ácida o alcalina, además las sales de LAS son estables ante la oxidación.

La producción de alquibencensulfonatos reportada en Estados Unidos durante 1980 fue de 294,197 Ton, siendo el ácido dodecibencensulfónico (27176-87-0) y sus sales el 80% del producto obtenido.

1.1.2. Alquil sulfatos y alcohol sulfatos: Son sales sódicas de monoésteres del ácido sulfúrico con alcoholes n-alifáticos de 8 a 18 átomos de carbono. Muchos de los alquilsulfatos (AS) empleados en detergentes son alquilsulfatos primarios lineales (LPAS):



sin embargo, también se emplean alquilsulfatos secundarios lineales o ramificados (LSAS):



El grupo hidrofóbico usualmente contiene de 12 a 18 átomos de carbono para ser usado como detergente y de 8 a 10 átomos de carbono como humectante y formador de espuma. Normalmente se usa las sales de sodio, pero se producen además sales con otros cationes incluyendo amonio, magnesio, mono, di y trietanolamina y ciclohexilaminas. Poseen la misma estructura general de los

jabones, pero tienen el grupo carboxilo reemplazado por un grupo más hidrófilo por lo que son mucho más resistente a la acción del agua dura.

1.1.2.1 Nomenclatura: el número de átomos de carbono en la cadena alquídlica es descrita por un subíndice y la mezcla de longitudes de cadenas alquídicas se designa por un rango de números, y la proporción de largo de cadena se dan entre paréntesis, por ejemplo:

Na *n*-pri - C<sub>10-12</sub> (20:80) - AS

sal de sodio de alquilsulfato primario consistente de 20% de C<sub>10</sub> y 80% de C<sub>12</sub>, el dodecilsulfato de sodio se abrevia como SDS o C<sub>12</sub>-AS.

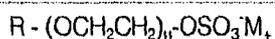
1.1.2.2. Métodos de producción: a partir de alcoholes por sulfatación convencional usando trióxido de azufre o ácido clorosulfónico, seguida de una neutralización del éster ácido con la base requerida (hidróxido de sodio o de amonio). La neutralización debe llevarse a cabo tan pronto como sea posible para prevenir la hidrólisis ácida del alquil sulfato.

Se emplean generalmente alcoholes del ácido oleico y la mezcla de alcoholes obtenidos por reducción del aceite de coco o de sus ácidos grasos. Se suele dar el nombre de alcohol laurílico (lauryl) a la mezcla así obtenida puesto que el alcohol laurílico verdadero (dodecanol-1) es su componente principal. Otros alcoholes empleados son los derivados del sebo, los tipo Ziegler o los lineales tipo "oxo", muchos son totalmente lineales pero algunos son ligeramente ramificados, conteniendo generalmente metilos.

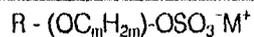
1.1.2.3. Usos y aplicaciones: Los AS se emplean principalmente como agentes de lavado para lana y como ingredientes activos de formulaciones de detergentes para uso ligero y pesado. Se emplean también en una variedad de productos especiales incluyendo dentífricos, champús para cabello, antiácidos, cosméticos y en ciertos alimentos ya que no tienen contraindicaciones para su ingestión.

Comparándolos con los alquilsulfonatos son más hidrofílicos, pero tienen una menor estabilidad particularmente en condiciones ácidas. Presentan propiedades similares a los jabones de las correspondientes longitudes de cadena. Los AS comercialmente se obtienen como sales de amonio o sodio en soluciones casi incoloras y viscosas, en concentraciones del 25 al 40% o como pastas, agujas, polvos y gránulos blancos o ligeramente coloridos. Se encuentra laurilsulfato de sodio purificado (90 - 99%) para usos especiales como dentífricos y champús.

1.1.3. Alquil éter sulfatos (AES): Los alquil éter sulfatos o alquil etoxisulfatos, son estersulfatos primarios derivados de los alquil etoxilados y tienen generalmente la estructura:



o, más generalmente, alquil alcoxilato sulfato:

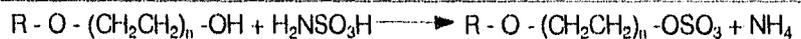


en donde m puede ser 2, 3, o 4. Normalmente R es una mezcla de grupos alquilo de cadenas ramificadas conteniendo de 12 a 14 átomos de carbono y en algunas ocasiones mayores de 16 átomos de carbono. Los alcoholes bases para surfactantes empleados en detergentes son normalmente primarios.

1.1.3.1. Nomenclatura: Los alquil etersulfatos tienen diversos nombres alquiletoxi sulfatos, alquil polieter sulfatos, alcohol etoxi sulfato, alcohol poli glicol éter sulfato y aún "alketh" sulfato. El grupo alquil es designado por C<sub>12</sub> como dodecil de cadena ramificada; C<sub>12-14</sub>(40:60) como mezcla de 40% de dodecil más 60% de tetradecil; y C<sub>x</sub> como número desconocido de átomos de carbono.

Las cadenas ramificadas de los alcoholes primarios como 2-butil, 2-hexil etil (dodecil ramificado) se nombran como: (C<sub>4</sub>)(C<sub>6</sub>)CC-. Los alcoholes secundarios se nombran con el prefijo sec-.

1.1.3.2. Métodos de producción: El alcohol graso, ya sea natural, tipo Ziegler o tipo oxo, es condensado primero con óxido de etileno de manera de no adicionar más de 4 moléculas de óxido de etileno, por lo que se emplea hidróxido de potasio, carbonato de potasio o metilato de sodio como catalizador. En este momento el producto no se puede considerar como surfactante. El éter es sulfatado usando ácido clorosulfónico o trióxido de azufre y neutralizado con sosa cáustica, o con ácido clorosulfónico obteniendo directamente la sal de amonio.



1.1.3.3. Usos y aplicación: Se emplean generalmente en combinación con otros surfactantes aniónicos y no iónicos en las formulaciones de detergentes para limpieza del hogar y para aumentar la detergencia de los productos líquidos basados en LAS, reemplaza aproximadamente al 20% del total de materia activa.

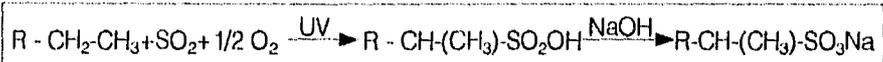
Se utilizan especialmente las sales de monoetanolamina en champús, baño de burbujas y geles de baño. Cortes especiales de ácidos grasos se emplean para champús para bebés y niños, así como en cosméticos para limpieza de la piel del cutis ya que presentan menor irritabilidad de mucosas y mayor solubilidad en agua .

Contienen del 10 al 40% de óxido de etileno calculado en relación al peso del alcohol inicial. Se ofrecen comercialmente como líquidos incoloros e inodoros en concentraciones del 35 al 60% del ingrediente activo. En formas concentradas del 70% como líquidos viscosos incoloros o ligeramente amarillos diluidos en etanol. Son excelentes detergentes pero no presenta una espuma estable y exhiben "solubilidad inversa", es decir, son más solubles en agua fría que en agua caliente. Los productos son estables y compatibles con diferentes coadyuvantes tanto en las formulaciones líquidas como sólidas.

1.1.4. Alcanosulfonatos (SAS): Los alcanos alifáticos o alquil parafina sulfonatos son normalmente mezclas de alcanos sulfonados secundarios. La cadena alquil, normalmente de 14 a 18 átomos de carbono, es lineal teniendo al grupo  $-SO_3$  colocado en cualquier parte de la cadena. En el caso de los SAS de 14 átomos se encuentran 6 diferentes isómeros en la mezcla.

1.1.4.1. Nomenclatura: La naturaleza del grupo alquil se denomina con  $n$ -C<sub>x</sub>SAS o como  $n$ -C<sub>x</sub>ave SAS. Normalmente no se hacen diferenciaciones en las mezclas en cuanto la posición del grupo sulfonato.

1.1.4.2. Métodos de producción: Las parafinas son inertes ante el ácido sulfúrico por lo que no pueden ser directamente sulfonadas, en este caso se emplea la sulfo-oxidación. Se emplean parafinas del petróleo, separadas de las isoparafinas y de los hidrocarburos aromáticos, procesadas por medio de dióxido de sulfuro, añadiendo oxígeno en proporciones adecuadas, bajo radiación UV. Finalmente se extrae el producto por medio de hexanol, seguido de neutralización con hidróxido de sodio y lavados continuos. La reacción puede ocurrir en cualquier hidrógeno de la cadena parafínica dando lugar a una mezcla de sulfonatos isómeros.



En Europa, Hoechst AG produce SAS secundarios con el nombre comercial de Hostapur (224).

1.1.4.3. Usos y aplicaciones: Los SAS no son usados con el mismo éxito que los LAS debido a la fabricación dificultosa y su elevado precio. Se emplean generalmente en detergentes líquidos y en champús concentrados especiales. No se emplea en polvo ya que no es posible utilizar el método del "spray-dry" para secarlo. Sin embargo, por su característica de ser estable en medio alcalino, se emplean en preparaciones para limpieza de metales y en baños de decapado.

La presentación comercial es en escamas al 90% de materia activa, pastas amarillentas con el 65% de materia activa y líquidos incoloros a ligeramente amarillentos con el 20% de concentración. Presenta excelente detergencia, espuma y propiedades de humectación buenas en un rango de temperatura bastante amplio. Tienen mayor estabilidad en agua dura y en condiciones alcalinas que los homólogos LAS.

1.2. Surfactantes cationicos: La carga positiva se encuentra en un nitrógeno de amina o de sal cuaternaria. Se emplean ampliamente en sistemas acuosos ácidos así como en sistemas no acuosos como suavizantes, dispersantes, emulsificantes, humectantes, sanitizantes, agentes de fijado de color, estabilizadores de espuma e inhibidores de la corrosión <sup>(254, 256)</sup>.

En general son incompatibles con los surfactantes anionicos ya que reaccionan ambas moléculas formando una sal insoluble en agua. Algunos de los surfactantes de benceno cuaternario son germicidas, fungicidas o alguicidas, por lo que se emplean en mezclas con surfactantes no ionicos como detergentes sanitizantes para hospitales.

1.3. Surfactantes no ionicos <sup>(322)</sup>: Es uno de los grupos más variados y de más diversa aplicación en la industria en general. Estos productos, al igual que todos los agentes tenso activos, se caracterizan por poseer un grupo hidrófobo y un grupo hidrófilo; pero en contraposición con los surfactantes aniónicos y catiónicos, la parte hidrófila tiene tres caracteres importantes que son netamente distintos de los otros dos grupos, que son:

- a) llevan poca o ninguna carga eléctrica.
- b) la porción hidrófila debe ser muy grande para que la sustancia sea soluble en agua.
- c) los grupos hidrófilos se caracterizan por enlaces de poli éter y radicales hidroxilos.

La hidrofobicidad es dada por los enlaces hidrógeno de los oxígenos de la molécula de surfactante con las moléculas de agua <sup>(96)</sup>, estos proveen solubilidad en medios neutros o alcalinos. En medios fuertemente ácidos, los átomos de oxígeno se protonan, confiriendo un carácter casi cationico a la molécula.

Presentan como peculiaridad una solubilidad inversa, al aumentar la temperatura de la solución se precipitan debido a que disminuye el grado de hidratación de la molécula y aumenta el tamaño de las micelas <sup>(11, 66)</sup>. La temperatura en la que aparece una segunda fase definida se denomina como punto de turbiedad o "cloud point". La adición de pequeñas cantidades de surfactantes aniónicos puede aumentar el punto de turbiedad en varios grados.

Son resistentes al agua dura. La presencia de pequeñas concentraciones de iones sodio disminuyen su solubilidad, en cambio los iones calcio y el ácido clorhídrico la aumentan. Son capaces de formar complejos de yodo que tienen la peculiaridad de mantener el poder bactericida del mismo disminuyendo la toxicidad del mismo para el ser humano <sup>(314, 319)</sup>.

Tiene como única desventaja el que tecnológicamente no es de fácil incorporación en productos pulverulentos, ya que solamente se presentan como

líquidos o ceras de bajo punto de fusión. Los surfactantes no iónicos se caracterizan en términos de Número de HLB (se refiere al balance hidrofílico-lipófilo). Para los alcoholes etoxilados el # HLB se calcula con la sig. fórmula:

$$\text{HLB} = E / 5$$

en donde E corresponde al porcentaje en peso de óxido de etileno de la molécula.

La funcionalidad de los surfactantes no iónicos se designan de la siguiente manera:

RANGO #HLB	APLICACIÓN
3 a 6	Emulsión agua en aceite
7 a 9	Agente humectante
8 a 15	Emulsión aceite en agua
13 a 15	DETERGENTE
15 a 18	Solubilizante

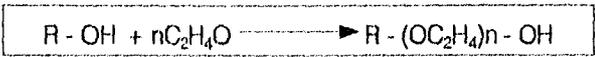
La alquilación base tanto de los alcoholes alifáticos como de los alquifenoles y ácidos grasos procede en dos etapas: formación de un aducto monoetoxilado y de la adición de óxido de etileno en el monoaducto para formar la cadena de polioxitileno.



La primera ecuación es la ecuación control, la frecuencia de los hidrófobos de la reacción disminuye en el orden siguiente: alcoholes primarios > fenoles > ácidos carboxílicos. La polimerización continúa hasta que reacciona todo el óxido de etileno. La reactividad de la reacción es independiente del largo de la cadena. Para aumentar la efectividad de la catálisis se emplean hidróxido de sodio, hidróxido de potasio o  $\text{NaOCH}_3$  para aumentar la basicidad del medio.

1.3.1. Esteres de ácidos carboxílicos: Se obtienen por esterificación de un polietilenglicol con un ácido graso, por su estructura son susceptibles a la hidrólisis ácida por lo que no son empleados con regularidad con excepción de los productos derivados del aceite de pino. Este último es una mezcla de ácidos grasos  $\text{C}_{18}$  insaturados y ácidos resínicos de la colofonia. Los productos etilenoilados a partir de esta base muestran notable estabilidad aún en condiciones muy pesadas por lo que se emplean en detergentes de uso doméstico de uso pesado.

1.3.2. Alcoholes etoxilados: En las pasadas dos décadas ha aumentado el consumo de estos productos en las mezclas de detergentes, esto debido a que presentan bajo costo y buena biodegradabilidad. Los alcoholes usados más extensamente son los obtenidos del aceite de coco, el laurílico, el oleico, del sebo, el cetílico, el estearílico, el hidroabietílico, el tridecílico y el 2,6,8-trimetil-4-nonílico.

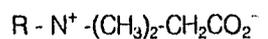


los derivados del alcohol tetrapropílico no se emplea ya en cantidades importantes debido a su resistencia a la biodegradación. Reaccionan primero los alcoholes primarios, luego los secundarios y finalmente los terciarios.

Las presentaciones comerciales varían desde líquidos a ceras dependiendo de la concentración de óxido de etileno, teniendo que a mayor concentración, mayor viscosidad.

Las cadenas de polioxetileno son variables en la mezcla de reacción por lo que en un alcohol etoxilado comercializado como de 8 unidades de óxido de etileno se pueden encontrar cadenas de 1 a 20 unidades, con un promedio de 8 unidades. La distribución observada es parecida a la de Poisson. En 1980 se presentó una patente para usar hidróxido de bario como catalizador para obtener una distribución más cercana al producto seleccionado<sup>(224)</sup>.

1.4. Surfactantes anfotericos.- se caracterizan por contener grupos básicos y ácidos en la misma molécula. Por ejemplo tenemos a los aminoácidos y sus derivados, así como a las alquilbetainas:



que presentan cargas opuestas discretas en todos los valores de pH.

Se consideran como productos especiales, la producción de los mismos a incrementado debido a la comercialización de los derivados del imidazolinium. Estos productos no irritan la piel ni los ojos, presentan buenas propiedades

surfactantes en un rango amplio de pH y son compatibles en mezclas con surfactantes aniónicos y catiónicos.

Los derivados del imidazolinium no se han caracterizado completamente. Se comercializan como productos especiales de cada marca, por lo que es difícil relacionar sus propiedades con las estructuras moleculares.

Se recomienda su uso como detergente, emulsificante, agentes acondicionadores para el cabello, agentes espumantes, suavizantes de telas y agentes antiestáticos. Existe evidencia de que ciertos derivados del imidazolinium utilizados en preparaciones cosméticas reducen la irritación ocular causada por los surfactantes sulfatados o sulfonados que se emplean comúnmente.

## 2. Coadyuvantes Inorgánicos.

Los coadyuvantes o "builders" son sustancias que aumentan los efectos deterisivos de los surfactantes. Su función principal es la de remover los iones calcio y iones magnesio presentes en el agua dura.

Esta función es importante para evitar la interacción de los mismos con el surfactante que provoca la formación de sales insolubles de valor detergente nulo, por otra parte evita que estas moléculas insolubles se depositen tanto en las telas a lavar como en el equipo de la lavadora.

Los componentes inorgánicos más importantes de los detergentes pueden agruparse en seis categorías:

2.1. Alcalis: En las mezclas de detergentes se emplean para mantener el pH de la solución a niveles operacionales así como para saponificar los constituyentes de la suciedad, promoviendo la limpieza de la tela. En detergentes para loza actúan como detergentes primarios aún sin la presencia de surfactantes. El carbonato de sodio ( $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ) se emplea como coadyuvante o relleno de jabones y surfactantes sintéticos. El bicarbonato de sodio ( $\text{NaHCO}_3$ ), el sesquicarbonato de sodio ( $\text{NaHCO}_3 \cdot \text{Na}_2\text{CO}_3$ ) y el borato de sodio (bórax,  $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ ) sustituyen al carbonato de sodio anhidro cuando se desea que la preparación tenga pH bajo. Las sales de potasio análogas se incluyen en formulaciones de alta solubilidad.

2.2. Fosfatos: Se emplean principalmente como agentes secuestrantes de iones de metales pesados (principalmente iones calcio y magnesio), ablandando el agua para facilitar el lavado. Los más empleados son.

2.2.1. Tripolifosfato de sodio o trifosfato pentasódico ( $\text{Na}_5\text{P}_3\text{O}_{10}$ ): es el coadyuvante más empleado por su efectividad en los detergentes para uso pesado. Es un excelente secuestrante de iones calcio y magnesio, presenta un gran poder de suspensión de sólidos. Debido a esto también se emplea en formulaciones de detergentes para lava-vajillas. Forma hidratos estables por lo que ayuda en la manufactura de los detergentes al usar el secado tipo "spray-dried".

2.2.2. Pirofosfato tetrasódico ( $\text{Na}_4\text{P}_2\text{O}_7$ ): es menos efectivo que el anterior y poco a poco fue reemplazado en las formulaciones. Funciona como coadyuvante y como álcali.

2.2.3. **Ortofosfato trisódico o Fosfato trisódico ( $\text{Na}_3\text{PO}_4$ ):** es un constituyente importante de limpiadores de superficies duras difíciles como cerámica, metal o superficies pintadas. Puede emplearse con jabón, surfactantes y otros álcalis. Funciona precipitando iones pesados.

2.2.4. **Fosfatos de potasio:** son más solubles que los análogos de sodio por lo que se utilizan en formulaciones líquidas.

A partir de 1970, en los Estados Unidos limitó el uso de fosfatos como coadyuvantes en los detergentes, sin embargo, en México siguen empleándose en gran escala.

2.3. **Silicatos:** Mucho antes de la era de los detergentes sintéticos se usaban mucho los silicatos de sodio como coadyuvantes en las formulaciones de jabones para lavanderías. La especificación más importante es la relación  $\text{SiO}_2/\text{Na}_2\text{O}$  en el producto. Según el valor de la relación los silicatos de sodio comercialmente se denominan orto, meta y sesquisilicatos. El más alcalino es el ortosilicato ( $\text{Na}_4\text{SiO}_4$ ) con relación de 0.5, el metasilicato ( $\text{Na}_2\text{SiO}_3$ ) con relación de 1 y el sesquisilicato con relación intermedia entre los dos. Son compuestos cristalinos que se emplean mucho como coadyuvantes de los jabones de lavandería, además se emplean como protectores de corrosión para las partes metálicas de las máquinas lavadoras. Son más efectivos como secuestrantes de iones magnesio que de iones calcio. Actúan como detergentes primarios en las mezclas para lavadoras automáticas.

2.4. Sales neutras solubles: El sulfato de sodio actúa como diluyente y compuesto de normalización, además de reducir la Concentración Micelar Crítica de los surfactantes disminuyendo la concentración del mismo en la formulación para obtener un buen lavado. El cloruro de sodio es un verdadero coadyuvante ya que aumenta la detergencia de los surfactantes sintéticos iónicos o aniónicos.

2.5. Ácidos: Se agregan en ocasiones con la finalidad de disolver o aflojar por acción química la suciedad, que de otra manera sería muy difícil de desprender. Se emplean generalmente en detergentes de uso industrial. En otras ocasiones se usan para controlar el pH de productos cosméticos que deben tener un pH menor de 7, con este fin se emplean ácidos orgánicos como el acético y el cítrico.

#### 2.6. Coadyuvantes inorgánicos insolubles:

2.6.1. Zeolitas: se usan como coadyuvantes en las formulaciones para lavado pesado. La más común se denomina Zeolita Tipo A, presenta una composición empírica de  $\text{Na}_2\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 4.5\text{H}_2\text{O}$  con un tamaño de partícula aproximado de 10 micras.

Funcionan como intercambiadores de iones reemplazando los iones calcio presentes en el agua dura, por iones sodio del cristal. No es efectivo con los iones magnesio debido a la lentitud de intercambio por impedimento estérico.

Se utilizan principalmente para sustituir parte de los fosfatos presentes en las formulaciones destinadas a lugares en donde el uso de los mismos es

restringido. Sin embargo, no se puede emplear solamente las zeolitas ya que requieren que los protejan los fosfatos.

2.6.2. Arcillas: como el caolín, las montmorillonitas y las bentonitas. Se han empleado en determinadas formulaciones de detergentes, en condiciones óptimas (agua suave, temperatura moderada y bajo contenido de sólidos en la solución) las suspensiones de arcillas presentan un efecto detergente marcado en telas naturales.

Las bentonitas actúan como agentes de suspensión proporcionando un ligero efecto suavizante del agua al absorber iones calcio, pero son menos efectivas que las zeolitas.

Las montmorillonitas se emplean en Estados Unidos como absorbentes de compuestos de amonio cuaternario en formulaciones de detergentes aniónicos con cualidades suavizantes.

### 3. Reforzadores orgánicos:

Algunos aditivos orgánicos que no poseen actividad de superficie aumentan la detergencia y otras buenas propiedades de las preparaciones limpiadoras. Generalmente, las fórmulas sólo tienen pequeñas cantidades de estos aditivos, que son incorporados para llenar una o más de las siguientes funciones específicas:

3.1. Carboximetilcelulosa (CMC): se emplea para disminuir el redeposición de la suciedad sobre el sustrato cuando este se encuentra en el baño detergente. principalmente se emplea en detergentes destinados a la limpieza de tejidos de

algodón. Otros coloides hidrófilos tienen también esta propiedad como el almidón, la metilcelulosa, el alcohol polivinílico, la polivinil pirrolidona y otras proteínas solubles en agua, estas son más efectivas en telas sintéticas <sup>(132)</sup>.

3.2. EDTA y sus sales: se emplean para secuestrar iones de metales pesados en el detergente concentrado y en el baño limpiador diluido, el ácido cítrico se emplea cuando la baja toxicidad es condición importante. Solo se utilizan si no es posible el uso de fosfatos debido a su alto costo.

3.3. Agentes espumantes: se usan para aumentar el poder espumante y la estabilidad de la espuma. Normalmente se encuentran como impurezas o subproductos de fabricación de los surfactantes, pero en ocasiones se adicionan en forma controlada para obtener los efectos deseados. Generalmente el efecto reforzador de la espuma es específico y las sustancias que sirven para un tipo de detergente pueden tener poco efecto en otro, además que las características de espuma varían con la relación de agente/detergente presente en la formulación. Las monoetanolamidas de ácidos grasos se usan comercialmente como reforzadores de espuma para los alquilsulfatos.

3.4. Agentes ópticos de limpieza: son cromóforos orgánicos del tipo de los triazinilstil bencenos sulfonados, tienen la peculiaridad de no absorber o reflejar normalmente la luz de la región visible del espectro. Absorben la luz ultravioleta de la luz del sol reflejándola como luz azul visible; eliminando visualmente el amarillamiento normal de las telas blancas. Es efectivo principalmente en las telas de algodón. En las fibras sintéticas como el poliéster, el cromóforo se adiciona a las fibras antes de tejerlas.

3.5. Disolventes y solventes: funcionan aumentando o modificando la solubilidad del detergente. Se tienen diferentes tipos químicos de disolventes como los alcoholes inferiores, los glicoles y los éteres glicólicos por una parte, los surfactantes de alta solubilidad y por último la urea y la dicianodiamida.

3.6. Inhibidores de la corrosión y empañamiento: siempre que es posible se adiciona a la mezcla de detergente inhibidores de la corrosión y del empañamiento con el fin de proteger los objetos que se lavan (piezas de aluminio, loza de porcelana fina) y el equipo de lavado (partes porcelanizadas y plásticas), el más empleado es el silicato de sodio <sup>(201)</sup>.

3.7. Enzimas: En 1991 se estimó que  $\frac{3}{4}$  partes de los detergentes comercializados para uso doméstico las utilizaban en sus formulaciones. Las más empleadas son las enzimas proteolíticas que atacan a las manchas de proteínas presentes en las prendas <sup>(63)</sup> y las amilasas, que se utilizan para atacar manchas de carbohidratos. Ambas enzimas actúan catalíticamente y son relativamente específicas. Se pueden emplear satisfactoriamente en concentraciones bajas por lo que son seguras para las fibras y colores textiles. Su uso se está incrementando en las formulaciones de detergentes que requieren de pre-lavado. Las enzimas son obtenidas de cepas mutadas de B. subtilis y B. licheniformis <sup>(61,60)</sup>.

3.8. Agentes blanqueadores: se emplea el perborato de sodio ( $\text{NaBO}_3 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ ) en México, requiere un tiempo de prelavado para que actúe. En los Estados Unidos se emplean preferentemente las sales de cloro del tipo del ortofosfato trisódico clorinado que es una combinación física de  $\text{NaOCl} \cdot \text{H}_2\text{O}$  y  $\text{Na}_3\text{PO}_4$ , o dicloroisocianuro de potasio en la formulaciones de detergentes para lavavajillas.

Todos los detergentes que contienen blanqueador incluido son sólidos secos ya que no son estables en las mezclas líquidas <sup>(60)</sup>.

3.9. Controladores de espuma: son productos adicionados para disminuir o estabilizar la espuma de detergente comercial para obtener productos de espuma controlada aptos para el uso en lavadoras automáticas. Se pueden adicionar aminas condensadas, alquilamidas, alcoholes grasos y óxidos de aminas. El jabón se emplea en gran escala por su economía.

3.10. Otros materiales: para aumentar la aceptación del producto por el consumidor se le puede adicionar perfume y color.

## B. Sistemas deterativos <sup>(234)</sup>:

Un sistema deterativo típico consta de los elementos siguientes:

- a. Un objeto sólido que hay que limpiar denominado "sustrato". Este puede variar sin limitación en lo que respecta a la configuración de su superficie, puede ser liso y plano (vidrio, loza) o presentar una superficie muy compleja (como un tejido), así como tener diferente capacidad de humectación.
- b. "Suciedad" unida al sustrato, que se ha de eliminar con el lavado, es aún más variable que los sustratos y, por lo general, su naturaleza física y química es menos conocida. Puede consistir en una sola fase sólida o líquida pero generalmente son mezclas dispuestas al azar en el sustrato.
- c. Un "baño" líquido que se aplica al sustrato sucio, es casi siempre una solución cuyo soluto es el detergente.

Las propiedades de detergencia de una solución de un detergente se ve principalmente afectada por:

1. Concentración del surfactante.
2. Estructura del surfactante.
3. Presencia de agua dura y de coadyuvantes.
4. Naturaleza del sustrato.
5. Tipo de suciedad que hay que eliminar.
6. Temperatura y tiempo de lavado.
7. Condiciones mecánicas del lavado.

Todas estas condiciones son estudiadas por los fabricantes en modelos matemáticos idealizados, las conclusiones principales las resumiremos a continuación:

1. Efecto de la concentración del surfactante: la concentración ideal para obtener la máxima detergencia es ligeramente menor a la correspondiente a la CMC del surfactante. En este momento se tiene una máxima absorción del mismo en las manchas y en el sustrato <sup>(72, 73, 119, 267)</sup>.

2. Efecto de la estructura del surfactante: la estructura química del surfactante es un factor importante en la efectividad del detergente. Dentro de una serie homóloga de surfactantes se presentan ciertas características regulares, sin embargo, no se puede hacer generalizaciones. Al tomar una relación de los grupos hidrofílicos se puede observar que la detergencia aumenta al incrementarse la cadena de carbonos, llegando a un máximo y luego disminuir. Este comportamiento

refleja el balance entre el incremento de la actividad superficial del monómero y la disminución de la concentración del mismo.

Los numerosos estudios del efecto de la estructura del surfactante en la detergencia incluyen el documento clásico relacionado al estudio de la serie de alcoholes sulfatados de cadena ramificada <sup>(79)</sup>, combinaciones de surfactantes-coadyuvantes <sup>(287)</sup>, mezclas de aniónicos con no iónicos <sup>(16, 293)</sup>, las series de polioxietilenos no iónicos <sup>(154, 189)</sup>, la detergencia de alquilbencensulfonatos isómeros <sup>(18)</sup>, el lavado práctico tipo casero <sup>(111)</sup>, el efecto del lavado casero y del uso de agua de mar <sup>(26)</sup> y el efecto de los orto y para alquilsulfonatos de cadenas lineales o ramificadas <sup>(131, 177)</sup>.

No obstante de los estudios realizados no se puede tener una generalización total debido a las características que se han observado en su fabricación.

**3. Presencia de agua "dura" y coadyuvantes:** En los estudios realizados se ha observado que la detergencia de los surfactantes disminuye en presencia de iones calcio y magnesio que se encuentran en el agua "dura".

El calcio presente en el sistema no sólo se debe al agua dura sino también a las manchas de comida de la ropa a lavar. Esta suciedad puede aportar otros iones de metales pesados como el aluminio o hierro. Para secuestrar estos iones y tener una mejor detergencia se requiere que la formulación del detergente contenga un coadyuvante secuestrante de calcio con un  $pK > 7$  <sup>(81)</sup>.

Uno de los principales problemas en las formulaciones de detergentes es el redeposito de la suciedad, principalmente al utilizarse más de una vez el agua del lavado. Esto se evita al tener un buen secuestrante de los iones calcio, ya que estos presentan la peculiaridad de provocar que la suciedad se vuelva a precipitar y se introduzca nuevamente en las fibras de las prendas. La carboximetilcelulosa de sodio reduce considerablemente la redeposición de las manchas en los sistemas en donde el sustrato es tela de algodón, necesitándose un mínimo de 10 a 20 ppm para su funcionamiento.

Otro problema al que se enfrentan los productores de detergentes tiene que ver con las regulaciones presentes en diversas partes de mundo con respecto a la cantidad de fosfatos que puede contener una mezcla comercial. No se ha podido encontrar otra sustancia que sea tan efectiva para el secuestro de los iones calcio y magnesio del agua dura y que tenga un costo bajo. Actualmente las formulaciones de detergentes en estos países son más complejas, más costosas, menos efectivas que las originales, pero con la ventaja de ser más suaves para la piel y las mucosas, así como ser biodegradables.

4. Naturaleza del sustrato <sup>(256)</sup>: Debido a que los sistemas idealizados para el estudio de la detergencia de una mezcla comercial puede ser muy compleja, solo se tomarán en cuenta los sustratos de telas de fibras sintéticas o de fibras naturales.

Se ha encontrado que ciertas fibras son más fáciles de limpiar que otras. La principal característica a tomar en cuenta es la dureza de la superficie de la fibra así como el terminado final de la prenda a lavar. Se puede generalizar que las telas

suaves se ensucian más fácilmente reteniéndola por más tiempo debido al amplio contacto que permiten entre la suciedad y la fibra.

La suciedad también penetra dentro de las fibras. En el caso de las fibras naturales como el algodón y la lana se observa que son huecas, por lo que pueden ensuciarse más profundamente, sin embargo se tiene la ventaja de poderse extraer fácilmente por medio de agua caliente.

En cambio las fibras sintéticas, como el poliéster, a pesar de ser sólidas y presentar la suciedad solamente en la superficie, no se recomienda lavarlas con agua caliente ya que si se sobrepasa la temperatura de cristalización de la fibra ( $T_g$ ), los aceites presentes en las manchas pueden mezclarse íntimamente con la fibra. Cuando la mancha penetra en la fibra es prácticamente imposible removerla.

## 5. Tipo de suciedad:

5.1. Suciedad Líquida: Se consideran manchas líquidas las producidas por fluidos y pueden ser de tipo acuoso o de tipo oleoso. Las manchas líquidas son removidas de las fibras por el mecanismo denominado de "roll-up" o de boleado <sup>(6)</sup>. Los detergentes alteran el ángulo de contacto  $\theta$  de la interfase grasa -- agua, aumentándolo a casi  $180^\circ$ , por lo que se forman burbujas o glóbulos de grasa, que se desprenden fácilmente (Fig. 2).

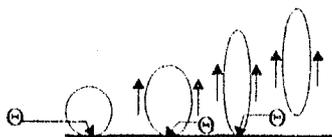


Fig. 2. Esquematización del mecanismo del boleado.

Este mecanismo se ha observado en fibras como lana, rayón - viscosa y rayón cupramonio <sup>(162)</sup>. La remoción de grasas depende principalmente de su naturaleza en el siguiente orden: aquellas que contienen ácidos grasos libres > glicérido neutros > grasas no polares correlacionando con las diferencias en los ángulos de contacto <sup>(286)</sup>.

La suciedad líquida puede ser removida por emulsión y solubilización así como por rollback (formación de glóbulos) <sup>(148)</sup>.

5.2. Suciedad sólida: Se denomina así a toda aquella mancha provocada por partículas sólidas, estas pueden ser desde arena hasta productos alimenticios como huevo, etc. Los diferentes tipos de manchas presentan un comportamiento distinto tanto en su remoción como en el redepósito de las mismas. Estas diferencias se relacionan tanto con el tamaño de partícula como con la unión al sustrato.

Los primeros estudios realizados sistemáticamente se refieren a estudios realizados con muestras de negro de carbón aplicado en fibras de algodón por medio de una suspensión acuosa y agitación vigorosa <sup>(57)</sup>. Se observó que a un tamaño de partícula menor a 50 nm. el depósito del carbón era severa, y a mayor tamaño esta sedimentación disminuía independientemente del tamaño de partícula. Además, la disposición de la mancha por este procedimiento de las partículas < 50 nm. se incluían en la estructura de la fibra provocando que la prenda de algodón quedara "teñida" de gris. Con estas evidencias concluyeron que la mancha creada con este sistema se microincluía en el tejido, haciendo casi imposible la limpieza de la misma.

Por otro lado se observó que en los tejidos suaves operan fuerzas de van de Waals que atraen a las partículas finas de entre 0.5 a 2.0 nm, siendo más importante que las fuerzas inerciales y gravitacionales <sup>(163,270)</sup>.

Estos datos indican que los mecanismos de unión de las manchas al sustrato de la tela no son homogéneas. Dependen del tamaño de partícula, así como de las características químicas del mismo.

**6. Tiempo y temperatura de lavado:** Al aumentar la temperatura del agua del lavado se aumenta generalmente la eficiencia del mismo, y por consiguiente, aumenta la cantidad de manchas removidas por un ciclo de lavado. Este efecto se ve más fácilmente en dos temperaturas críticas. La primera es la correspondiente a la fusión de las grasas presentes en las manchas del sistema, después de este punto, la detergencia aumenta en forma constante.

La segunda temperatura crítica se encuentra en el punto de ebullición del sistema, en este momento se incrementa la detergencia por la acción mecánica de las burbujas de vapor al formarse, expandirse y finalmente, romper en la interfase sólido - líquido.

Sin embargo, se puede observar que en general, en América, no se emplean temperaturas altas para el lavado de ropa de forma doméstica. En estos casos se tienen en el mercado detergentes que tienen en su formulación blanqueadores y enzimas que actúan mejor en agua templada y fría.

## 7. Condiciones de lavado:

7.1 Acción mecánica: en los estudios relacionados se utilizan dos aparatos especiales denominados "Launder-Ometer" <sup>(174, 320, 323)</sup> y, más actualmente el "Ter-O-tometer" (U.S. Testing Co.) que en realidad son mini máquinas de lavado domésticas o "lavadoras" <sup>(255)</sup>, estas se emplean con diferentes sistemas de manchas y sustratos para evaluar los nuevos detergentes.

Se ha observado que la experiencia de la persona que lava es más importante que las recomendaciones dadas por el fabricante de cada detergente, ya que cotidianamente se encuentran diferencias enormes en las manchas caseras, debido a que son extremadamente complejas y heterogéneas, por lo tanto los tiempos de lavado pueden variar entre los diferentes lotes de ropa.

Aún más, en los nuevos detergentes con enzimas se recomienda el "remojo", es decir, el prelavado de las prendas para aumentar la acción de las mismas. En los hogares mexicanos esta es una práctica común dejando la ropa hasta 24 horas en contacto con la solución del detergente.

7.2 Espuma: en los detergentes la espuma es un subproducto, sin embargo los consumidores asocian la formación de espuma con un mejor poder detergente. La espuma no tiene relación directa con la detergencia, tecnológicamente hablando es una desventaja ya que dificulta la acción mecánica de las lavadoras automáticas así como el buen enjuague de la ropa. En determinados casos, como los detergentes de limpieza "seca" para alfombras y los shampoos, la espuma es un producto deseable ya que por medio de ella se obtiene la limpieza del sustrato.

## C. Fabricación de detergentes.

Las mezclas comerciales de detergente se pueden encontrar en dos formas físicas:

1. Líquidos.

2. Polvos:

2.1 Mezclas secas.

2.2 Polvos aglomerados.

2.3 Polvos secos por el método de spray-dry.

1. Líquidos: Es la forma más simple de elaboración, solamente se solubilizan las diferentes materias primas en agua desmineralizada y purificada por medio de agitación y temperaturas elevadas. En estos productos no se pueden emplear coadyuvantes insolubles como el caolín, ni tampoco se emplean determinadas asociaciones de compuestos ya que pueden precipitarse.

2. Polvos: en general se pueden decir que son mezclas sólidas y pueden obtenerse por tres formas diferentes de elaboración:

2.1. Mezclas secas: Se mezclan directamente los productos primarios en polvo por medio de mezcladoras de listón o de pantalón. Se tiene poco control de la densidad final del producto, solo se controlan las densidades y tamaños de partícula de las materias primas. Son productos económicos, no estandarizados, que no requieren de una inversión elevada en equipo ni en energía.

2.2 Polvos aglomerados: Se mezclan de forma convencional los ingredientes secos y se colocan en una mezcladora especial en donde se adiciona en forma de

rocío los ingredientes líquidos. Esta solución debe de estar finamente dividido y tanto líquido como polvo deben de mantenerse en agitación para estar siempre en contacto <sup>(167)</sup>. Mediante este proceso se elaboran los detergentes lava-vajillas. Es un proceso de costo intermedio <sup>(110)</sup>.

2.3 Polvos secos por spray-dry: es el proceso más costoso y requiere de una mayor tecnología. El producto final cuenta con las siguientes características:

- a) se puede tener una alta concentración de surfactante en el producto final.
- b) consiste de partículas huecas (esferas) que se disuelven con mayor rapidez.
- c) presentan menor "polvo" suelto.
- d) las densidades son más estables y controlables en rangos de 0.25 a 0.65 g/L.
- e) no se compactan en exceso, por lo que es más fácil empacarlos. Tienen mejor aceptación por el consumidor.

El primer paso para preparar estos polvos es la elaboración de una lechada o lodo en una marmita con agitación. Los componentes secos se mezclan en agua de la manera más homogénea posible. Los ácidos presentes son neutralizados con sosa, dejándose en reposo la mezcla durante 20 a 30 minutos, en este tiempo se hidrata el tripolifosfato de sodio. Por medio de una bomba de alta presión la mezcla se lleva a la torre de Spray-dry en donde se tiene una presión de 100 atmósferas y una temperatura de 80 a 100 °C, se hace pasar a través de inyectores con un diámetro de salida de 2.5 a 3.5 milímetros. En la torre la mezcla se encuentra con aire caliente en un rango de 250 a 350 °C, en una corriente que puede ser

ascendente o descendente. Estas corrientes se obtienen por medio de dos ventiladores, un tercer ventilador succiona las partículas finas extrayéndolas del cuerpo del reactor para llevarlas de nuevo a la mezcla de "lodo" original. Al salir de la torre el detergente esta listo para empacar. Una torre puede general de 10 a 20 toneladas de detergente por hora dependiendo de las condiciones de operación. Las torres de salida de aire tienen trampas de agua con solución salina para recuperar todas las partículas sin formar espuma.

Algunas materias primas como las alcanolamidas y los surfactantes no ionicos, son lábiles a la temperatura, por lo que se adicionan al final a la mezcla.

### 3. Formulaciones típicas:

Un detergente en polvo tipo para lavado de ropa presenta la siguiente composición:

Concentración	Componente
10 a 20 %	Surfactante
30 a 60 %	Coadyuvantes
5 a 10 %	Silicatos de sodio
menos de 5%	Agentes de blanqueo, enzimas, colorantes, perfume.
cbp 100%	Agua

Los detergentes que recomiendan el prelavado presentan una concentración mayor de enzimas, coadyuvantes y blanqueadores, principalmente perborato de sodio, y una concentración relativamente baja de surfactante.

Los detergentes líquidos para la ropa son similares en formulación a los polvos, se emplea pirofosfato de sodio como estabilizador así como hidrotopos y agua en abundancia, presentan una densidad mayor.

Los detergentes para lavado manual de vajilla, en contraste, son más económicos ya que no se requieren los coadyuvantes necesarios para la limpieza de telas. Una formulación típica consiste en 25 a 45 % de surfactante aniónico o iónico, el resto corresponde a solventes, hidrotopos, soluciones reguladoras de pH, colorantes, perfume y agua. En 1965 se registró el desarrollo experimental de un detergente biodegradable seguro para el medio ambiente, el cual no fue usado comercialmente <sup>(303)</sup>.

#### D. Surfactantes comerciales:

A continuación enlistaremos los surfactantes más empleados en los detergentes de uso doméstico con sus principales características:

ALQUILBENCENSULFONATOS  $R - C_n - H_{2n+1} - SO_3 - M$

Nombre comercial	R	M	Conc. %
Conco AAS-45 S <sup>a</sup>	dodecil	Na	45
Conco AAS-60 S <sup>a</sup>	dodecil	TEA	60
Conco AAS-Special 3 <sup>a</sup>	dodecil	IPA	98
Conoco C - 550 <sup>b</sup>	dodecil	Na	50
Conoco C - 560 <sup>b</sup>	dodecil	Na	60
Conoco C - 650 <sup>b</sup>	tridecil	Na	50
Conoco SA - 597 <sup>b</sup>	dodecil	H	97
Conoco SA - 697 <sup>b</sup>	tridecil	H	97
DDBSA 99 - B <sup>c</sup>	C <sub>10</sub> - C <sub>13</sub>	H	97
Witconate 1298 <sup>d</sup>	dodecil	H	95
Witconate 1298 Soft <sup>d</sup>	dodecil	H	--
Witconate P1059 <sup>d</sup>	dodecil	NH <sub>3</sub>	60

producido por: a) Continental Chemical Corporation; b) Conoco Incorporated; c) Monsanto;

d) Witco Chemical Corporation.

ALQUILSULFATOS R - OSO<sub>3</sub> - M

Nombre comercial	R	M	Conc. %
Avirol SL 1000 <sup>a</sup>	lauril	Na	30
Avirol SA 4110 <sup>a</sup>	2- decil	Na	30
Standapol A <sup>a</sup>	lauril	Na	28
Standapol MLS <sup>a</sup>	lauril	MEA	32
Standapol T <sup>a</sup>	lauril	TEA	40
Conco Sulfate A <sup>b</sup>	lauril	NH <sub>4</sub>	30
Conco Sulfate P <sup>b</sup>	lauril	K	30
Conco Sulfate EP <sup>b</sup>	lauril	DEA	35
Conco Sulfate WR dry <sup>b</sup>	lauril	Na	90
Duponol C <sup>b</sup>	lauril	Na	---
Equex S <sup>c</sup>	lauril	Na	30
Equex T <sup>c</sup>	lauril	TEA	40
Stepanol WA 100 <sup>d</sup>	lauril	Na	99
Stepanol MG <sup>d</sup>	lauril	Mg	29

producido por: a) Henkel Corp. división de Especialidades Químicas; b) Continental Chemical Corporation;

c) Procter & Gamble Co.; d) Stepan Chemical Co.

ALQUILETER SULFATOS R - (-OCH<sub>2</sub>CH<sub>2</sub>)<sub>n</sub> - OSO<sub>3</sub> - M

Nombre comercial	R	M	Conc %
Ifonic 1412 - 17 (n=3) <sup>a</sup>	C <sub>12</sub> -C <sub>14</sub>	NH <sub>4</sub>	60
Ifonic 1412 - 5 (n=5) <sup>a</sup>	C <sub>12</sub> - C <sub>14</sub>	Na	60
Ilpal CD - 128 <sup>b</sup>	lauril	NH <sub>4</sub>	58
Standapol ES - I <sup>c</sup>	lauril	Na	25
Standapol EA - 3 <sup>c</sup>	lauril	NH <sub>4</sub>	59
Standapol EA - 40 <sup>c</sup>	miristil	Na	59
Sulfotex PAI <sup>c</sup>	capril/	NH <sub>4</sub>	47
Sulfotex PAI - S <sup>c</sup>	caprilil	Na	45

producido por: a) Conoco Inc.; b) GAF Corp.; c) Henkel Corp. división de Especialidades Químicas.

ALCOHOL ETOXILATOS R -(- OCH<sub>2</sub>CH<sub>2</sub> -)<sub>n</sub> -OH

Nombre comercial	R	n	Conc %
Alfonic 610 - 50 R <sup>a</sup>	C <sub>6</sub> - C <sub>10</sub>	3.0	100
Alfonic 1012 - 60 <sup>a</sup>	C <sub>10</sub> -C <sub>12</sub>	5.7	100
Alfonic 1412 - 60 <sup>a</sup>	C <sub>12</sub> -C <sub>14</sub>	7.0	100
Alfonic 1214 - 70 <sup>a</sup>	C <sub>12</sub> - C <sub>14</sub>	10.6	100
Alfonic 1218 - 70 <sup>a</sup>	C <sub>12</sub> -C <sub>18</sub>	10.7	100
Bio Soft EA - 10 <sup>b</sup>	C <sub>10</sub> -C <sub>12</sub>	---	100
Neodol 23 - 6.5 <sup>c</sup>	C <sub>12</sub> -C <sub>13</sub>	6.5	100
Neodol 25 - 7 <sup>c</sup>	C <sub>12</sub> -C <sub>15</sub>	7.0	100
Neodol 25 - 12 <sup>c</sup>	C <sub>12</sub> -C <sub>15</sub>	12.0	100
Neodol 45 - 7 <sup>c</sup>	C <sub>14</sub> -C <sub>15</sub>	7.0	100
Neodol 45 - 13 <sup>c</sup>	C <sub>14</sub> - C <sub>15</sub>	13.0	100
Neodol 91 - 6 <sup>c</sup>	C <sub>9</sub> -C <sub>11</sub>	6.0	100
Sulfonic JL - 80x <sup>d</sup>	alquil	---	100
Sulfonic LF - 17 <sup>d</sup>	lineal	---	100
Terjitol 25 -L- 7 <sup>e</sup>	C <sub>12-15</sub>	7	100
Terjitol 25 - L- 12 <sup>e</sup>	C <sub>12-15</sub>	12	100
Terjitol 15 -S- 5 <sup>e</sup>	C <sub>11-15</sub>	5	100
Terjitol 15 -S- 7 <sup>e</sup>	C <sub>11-15</sub>	7	100
Terjitol 15 -S- 9 <sup>e</sup>	C <sub>11-15</sub>	9	100
Terjitol 15 -S-12 <sup>e</sup>	C <sub>11-15</sub>	12	100
Trycol LAL - 8 <sup>f</sup>	lauril	8	100
Trycol LAL -12 <sup>f</sup>	lauril	12	100
Trycol TDA- 15 <sup>f</sup>	tridecil	15	100

producido por: a) Conoco Inc.; b) Stepan Chemical; c) Shell Chemical Co.; d) Texaco Chemical Co.;

e) Union Carbide Corp. división derivados de óxido de etileno; f) Emery Ind.

#### *IV. EFECTOS FISIOLÓGICOS.*

## *IV. EFECTOS FISIOLÓGICOS.*

En consideración de la protección ambiental se deben de tener en cuenta dos aspectos relacionados con el uso tan amplio de los surfactantes aniónicos en las formulaciones de los detergentes para uso en el hogar.

1. El aspecto más importante de la protección medio ambiente es la seguridad del ser humano. Por lo mismo la seguridad toxicológica para el ser humano tiene la máxima prioridad ya que el contacto con surfactantes se vuelve cada vez mas frecuente al incrementarse la población. Es por esto que las industrias manufactureras tienen que asegurar la seguridad toxicológica de los detergentes antes de ser puestos en el mercado.

En este renglón los datos de toxicidad aguda y crónica son importantes ya que la primera es de importancia en los casos de ingestión oral accidental, que se presenta principalmente en los niños. Por otro lado, los estudios a largo plazo de la ingestión diaria de pequeñas cantidades son de interés especial debido a que la mayoría de la población esta en contacto con los residuos que quedan en la comida y loza al ser lavadas con soluciones de detergentes.

2. El segundo aspecto relevante relacionado con la toxicidad ambiental se refiere a la causada a los organismos que se encuentran en los ríos, lagos y mares en los que descargan las aguas negras de las ciudades e industrias. Este merece una mención especial como toxicidad ecológica revisándose más ampliamente en el capítulo correspondiente.

En las investigaciones realizadas para conocer los efectos tóxicos de los detergentes debe de tenerse en consideración que los surfactantes empleados comúnmente no son sustancias puras teniéndose siempre como mezclas complejas con otras sustancias, las cuales varían entre los diversos productos comercializados por cada empresa productora. Es por esto que los datos obtenidos sólo pueden ser válidos para la mezcla en estudio sin embargo, pueden ser extrapoladas a otros detergentes equivalentes.

A pesar de la gran cantidad de surfactantes que se pueden obtener comercialmente solamente los del tipo aniónico son de interés para el presente estudio debido al consumo casi exclusivo de los mismos en los detergentes sintéticos de uso doméstico. Los alquil aril sulfonatos ramificados (ABS) y lineales (LAS) son los más empleados por lo que los estudios realizadas a nivel mundial se refieren casi exclusivamente a ellos.

#### **A. Absorción, Metabolismo y Excreción:**

1. Alquil bencen sulfonatos (ABS): La primera publicación relacionada con los estudios realizados sobre la absorción intestinal de los ABS se deben al dúo de investigadores Havermann y Menke <sup>(136)</sup> que fueron publicados en 1954. Estos investigadores utilizaron dodecil bencen [<sup>35</sup>S] sulfonato de sodio administrado a cobayas como animales de experimentación. Concluyeron que al menos el 35% de la dosis ingerida fue absorbida por el tracto gastrointestinal, sin embargo, no se empleó ninguna técnica de identificación de compuestos marcados con [<sup>35</sup>S] en heces ni en orina.

No fue sino hasta en 1968 en que el investigador Michael WR <sup>(156)</sup> publico datos adicionales que confirmaron y ampliaron los descubrimientos del estudio anterior. En este caso se emplearon dos tipos diferentes de surfactantes marcados con [<sup>35</sup>S]. El primero un LAS con un promedio de 12 átomos de carbono y el segundo un ABS de número de carbono equivalente. En este estudio se utilizó ratas como animales de experimentación administrándoseles 5 diferentes dosis de los surfactantes hasta un máximo de 250 mg/Kg. de peso para el LAS y de un máximo de 40 mg/Kg. de peso para el ABS.

Se observó que la ruta de absorción de los surfactantes se realiza a través de la pared intestinal y es acarreado por el sistema sanguíneo portal en un máximo del 70% de la dosis ingerida. Se encontró que la bilis es la más significativa ruta de excreción y que al ser reabsorbida a nivel intestinal parte del surfactante entra en la circulación enterohepática y que una proporción significativa del azufre marcado es excretado por la orina. Por último, se encontró que un 20% del contenido total del [<sup>35</sup>S] cuantificado en las heces corresponde al surfactante original, no así el correspondiente a la orina ya que no se encontró el surfactante lineal marcado.

En el caso del surfactante ramificado se recuperó solo un 10% del azufre marcado en la orina y el remanente 80% en heces. Esto es debido a que la forma de la molécula no permite la metabolización de la misma por el organismo.

En conclusión, podemos decir que tanto los ABS y los LAS se absorben a través del tracto intestinal de los mamíferos siendo rápidamente metabolizados después de ser transportados por el sistema portal, por medio de la oxidación de la cadena alquílica, pero no se transforma el grupo polar. Se encontró que la forma

de la molécula afecta el mecanismo de degradación en el organismo y que, finalmente se recobran ácidos carboxílicos sulfofenilos como metabolitos finales.

2. Alquilsulfatos: Haverman y Menke<sup>(136)</sup> reportaron también el estudio de la absorción del dodecil [<sup>35</sup>S]sulfato de sodio administrado a cobayas. Los autores concluyeron que el surfactante se absorbe en el intestino delgado principalmente y solo pequeñas cantidades son degradadas hasta sulfato libre.

Denner WHB y col.<sup>(68)</sup> investigaron la absorción del dodecil [<sup>35</sup>S]sulfato de potasio administrado a ratas en dosis de 5 mg/Kg. de peso. Se recobró el 96% del total del azufre marcado en la orina en las 48 Hrs siguientes a su administración y solamente el 1% fue recuperado en heces en el mismo tiempo. Utilizando autoradiografías de cuerpo entero se encontró que la absorción se realizaba en el intestino delgado y que el hígado es el principal órgano de acumulación. De este estudio se concluyó que las ratas son capaces de metabolizar n-alkil sulfatos por medio de  $\alpha$ -oxidación del hidrófobo seguida de  $\beta$ -oxidación, resultando como metabolitos ácidos carboxílicos.

Estos resultados fueron comprobados por Ottery y col.<sup>(225)</sup>, así como por Burke y col.<sup>(41)</sup> utilizando diversos surfactantes con diferentes longitudes de cadenas alquidilicas. Todos los datos obtenidos sugieren un modo común de degradación de los surfactantes alquilsulfatos en los mamíferos basados en la  $\alpha$  y  $\beta$  oxidación de la cadena de carbonos. Es claro además que la absorción de los mismos es muy eficiente en el intestino delgado.

## B. Dosificación Parenteral:

Debido a los pocos datos obtenidos en los estudios realizados a partir de la administración parenteral de surfactantes aniónicos solo podemos decir que en general son rápidamente metabolizados y excretados por las mismas rutas que los surfactantes administrados por vía oral. Se recomienda la lectura de los siguientes artículos: 28 y 276.

## C. Absorción Percutanea:

Para los estudios de absorción percutanea de surfactantes se han presentado diversas dificultades, entre ellas la dificultad de obtener piel para proyectos *in vitro* así como para obtener sujetos de experimentación adecuados para los experimentos *in vivo*. Por otra parte se tiene dificultad de encontrar surfactantes purificados y marcados radiactivamente para poder realizarlos <sup>(29, 30, 31)</sup>.

Al principio los investigadores se abocaron a la experimentación de la absorción de diferentes tipos de detergentes a través de piel humana obtenida de cadáveres y de la piel de diversos animales. Se estudiaron las características de permeabilidad aumentada del agua, electrolitos y compuestos orgánicos al utilizar surfactantes como vehículos. Primordialmente estas investigaciones aumentaron los conocimientos del uso de los surfactantes para la elaboración y comercialización de productos cosméticos y medicinales.

Los resultados obtenidos pueden resumirse de la siguiente manera:

1. La absorción de detergentes aniónicos a través de la piel es muy baja, casi despreciable, al ser determinada tanto *in vivo* como *in vitro* <sup>(29, 30, 31)</sup>.

2. Cada surfactante presenta diferentes tipos de unión con las proteínas de la piel<sup>(146, 283)</sup>.
3. El buen funcionamiento de la barrera de la piel se ve menguado al incrementar tanto el tiempo de exposición como la concentración llegando un momento en que el daño es irreversible<sup>(202)</sup>.
4. Por este motivo, el uso de detergentes o champús, aumenta la absorción de otros compuestos<sup>(109, 274)</sup>.
5. A pesara de esto último, la cantidad de detergente que se absorbe por la piel del ser humano es mínima, aún estando la totalidad de la piel del cuerpo expuesta al mismo<sup>(17, 41)</sup>.

Para asegurar la seguridad de uso en el hogar de los detergentes sintéticos, se utilizan varios métodos toxicológicos para orientar a los fabricantes de las posibles consecuencias de las exposiciones del producto durante el uso normal o el mal uso de los mismo por el consumidor. Entre ellos tenemos:

- a) Ingestión accidental (toxicidad aguda y crónica).
- b) contacto cutáneo y absorción percútanea (toxicidad crónica por contacto).
- c) contacto con la mucosa de los ojos.
- d) contacto con la piel: irritación primaria y sensibilización<sup>(325)</sup>.

#### D. Toxicidad Aguda:

En los estudios realizados para determinar la dosis letal oral promedio de los surfactantes (LD<sub>50</sub>) en la literatura consultada se encontraron diferentes sistemas biológicos de experimentación entre los mas empleados tenemos varias cepas de ratas<sup>(74, 91, 113, 219, 270)</sup> y ratones<sup>(113, 127, 145, 166, 217, 218)</sup> encontrándose también experimentación en cobayas<sup>(60)</sup>, hámsters y conejos<sup>(131)</sup>. Se reportan LD<sub>50</sub>

correspondientes a dosis mayores a 1g/Kg. de peso, por lo que se aduce una baja toxicidad aguda oral. En la tabla 1 del Anexo I se muestran los resultados obtenidos de diferentes surfactantes. Generalmente se han reportado dosificaciones orales, pero en ciertos casos se emplearon dosificaciones intraperitoneales <sup>(91, 113, 217)</sup>, dérmicas <sup>(50)</sup> e intravenosas <sup>(145, 217)</sup>. Se demostró que en las administraciones de surfactantes por vía intravenosa o intraperitoneal se tienen LD<sub>50</sub> menores que las expresadas por vía oral, concluyendo que por vía oral se tiene una menor absorción de los surfactantes así como una conversión a metabolitos menos tóxicos mediada por vía enterohepática. Esto concuerda con los estudios realizados para observar la vía de absorción de los surfactantes.

En la tabla 1 del Anexo I, podemos observar los resultados reportados de los estudios que involucran alquilsulfato de sodio. En ellos se advierte que las LD<sub>50</sub> se expresan en un rango uniforme para un solo ensayo y que aumentan considerablemente al cambiar la sal del surfactante, es decir son mas tóxicas las sales de sodio que las de litio, amonio, mono, di y tri etanolamina en ese orden <sup>(223)</sup>.

En el caso de los alquilbencen sulfonatos son mas tóxicos los de cadenas ramificadas o "duros" <sup>(33, 74)</sup> que los de cadenas lineales o "suaves" <sup>(160, 223, 258)</sup>.

### E. Toxicidad Crónica:

Los estudios de toxicidad realizados con dosificaciones mínimas diarias de surfactantes aniónicos en largos periodos de tiempo son importantes debido a que no es posible cuantificar la cantidad de surfactante que se ingieren diariamente. Estas pequeñas dosis que ingerimos diariamente se presentan en pequeñas cantidades tomando en consideración que el agua potable contiene cantidades

Infimas de surfactantes y que igualmente ingerimos en los alimentos cantidades equivalentes al tener que elaborarlas con la misma agua, así como en los productos de aseo personal (pasta de dientes, jabones, "champús").

Generalmente se emplean cepas especiales de ratas en los estudios toxicológicos de ingesta crónica, sin embargo, se pueden emplear otras especies como los ratones <sup>(126, 156, 159)</sup>, cobayas <sup>(204, 223)</sup>, conejos <sup>(104, 307)</sup>, perros <sup>(74, 91, 106)</sup> y cerdos <sup>(21, 165)</sup>. Estos últimos son empleados ya que presentan un mejor patrón de referencia con el ser humano. Existen aún estudios realizados en ser humano <sup>(74, 91, 112, 141)</sup>.

Los rangos de dosis administradas varían desde 20 miligramos <sup>(159)</sup> hasta cantidades tóxicas de 100 gramos <sup>(50)</sup> en algunos casos. En muchos estudios se dosifican las sustancias en estudio con la comida, pero también se emplean la administración en el agua <sup>(33, 34, 50, 223)</sup>. La duración del estudio varía desde unas cuantas semanas a 2 años.

Los datos obtenidos se encuentran sumarizados en la tabla 2 del Anexo II. Se observa que no se tienen daños extensos en los experimentos. La observación mas significativa es la reducción del peso de los sujetos en estudio, relacionándolo a la modificación de la ingesta proteica debido a la mezcla con el surfactante. Estos hallazgos concuerdan con los daños encontrados en las membranas mucosas del tracto gastrointestinal. En algunos casos se encontraron pequeños cambios en el hígado o riñones debidos a la ingesta masiva de surfactante <sup>(249)</sup>.

Las dosis que el ser humano ingiere diariamente por contaminación exógena representa sólo un 10% de la dosis necesaria para producir lesiones en los órganos

internos. Esta dosis es ingerida diariamente a través de rutas directas o indirectas. De las primeras tenemos la ingestión de pasta de dientes o enjuagues bucales, entre los segundos tenemos: la ingestión de trazas en frutas y verduras lavadas con detergentes, residuos en sartenes y ollas en las que cocinamos y acumulación en tejidos de peces y carne en general que consumimos. El agua potable también tiene trazas de detergentes. El total ingerido diario en ciudades grandes se estima entre 1.0 y 10 mg de surfactantes aniónicos por día <sup>(140)</sup>.

#### F. Tolerancia en caso de ingestión de Detergentes: <sup>(166)</sup>

Los surfactantes aniónicos no se encuentran aislados en los productos comerciales, los que se describen en la literatura mundial corresponden a la ingestión de mezclas usadas para la limpieza en el hogar cuyo componente tóxico principal es un surfactante aniónico. Solamente en estudios de investigación controlados se tienen ingestas de surfactantes puros, es por esto que la parte más importante en las investigaciones toxicológicas son las relaciones que guardan los diversos componentes de la formulación y la acción sinérgica de los mismos para conocer la toxicidad real del producto que se expende comercialmente.

Los detergentes para lavado de ropa y loza, así como los productos de limpieza para el hogar y de tocador, se encuentran prácticamente en todos los hogares del mundo "civilizado" y se emplean cada vez en mayores cantidades. Es por esto que existe casos frecuentes de ingestión accidental de estos productos por los niños menores de cinco años de edad y que se encuentran reportados cada vez con mayor frecuencia en la literatura internacional <sup>(12, 36, 46, 67, 91)</sup>.

En la literatura médica internacional no se encuentran datos epidemiológicos precisos sobre los casos de ingestión de detergente. De los realizados con mas extensión se tiene como referencia el estudio realizado en 1975 para los Centros de Envenenamientos de los Estados Unidos (National Clearinghouse for Poison Control Centres) resumiendo los casos de ingestión de jabones, detergentes y agentes de limpieza en todo el país <sup>(37, 38, 39)</sup>.

Del total de caso reportados como problemas de intoxicación casera por productos que se encuentran en el hogar se tuvieron un total de 7627 casos reportados como ingestión exclusiva de detergentes (4.46% del total), y de ellos en 6339 casos se trataron de ingestión del producto por niños entre 1 y 5 años de edad (83%), de los cuales en 1828 casos el único componente tóxico fue un surfactante anionico.

En la tabla 4.1. se resumen los datos estadísticos obtenidos por la Berlín Poison Center, de Berlín, Alemania. De un total de 56,711 llamadas de auxilio recibidas por el centro durante el período comprendido de 1963 a 1975; 7,627 corresponden a ingestiones accidentales de productos de limpieza para el hogar que contenían como principal agente tóxico un surfactante anionico <sup>(196)</sup>.

Edad (años)	Nº de casos	Nº de casos con síntomas
< 5	6,339	478 ( 7.54%)
> 5	712	129 (18.11%)
desconocido	576	99 (17.18%)
<b>TOTAL</b>	<b>7,627</b>	<b>706 ( 9.25%)</b>

Tabla 4.1. Distribución por edades en caso de ingestión accidental de productos de limpieza para el hogar basados en surfactantes <sup>(196)</sup>.

A continuación la tabla 4.2 nos indica que productos fueron consumidos en estos casos informados:

Tipo de producto	# de casos	con síntomas	TOTAL
	ninguno	moderado/severo	
Detergente para lavado de trastes	1164	375	1,539
Detergente especial para ropa fina	56	17	73
Detergente para ropa	232	69	301
Ablandadores de agua	15	2	17
Otros productos	30	3	33
Suavizantes de telas	213	29	242
Detergente para lavavajillas	153	272	425
Limpiadores para el hogar	745	251	996
Limpiadores especiales	178	233	411
<b>TOTAL</b>	<b>2,786</b>	<b>1,251</b>	<b>4,037</b>

Tabla 4.2. Productos de limpieza del hogar de mayor consumo accidental por niños.

Sin embargo, se considera que estos datos corresponden a una tercera o cuarta parte de los casos atendidos en las salas de urgencia de los hospitales berlineses así como por médicos en la práctica privada.

Calandra y Fancher <sup>(46)</sup> realizaron una recopilación de las LD<sub>50</sub> de varios productos químicos detergentes que utilizaremos para fines de comparación dados en la tabla 4.3:

Producto químico	LD <sub>50</sub> en mg
Barra de jabón de tocador	7 - 10
Detergente en polvo todo uso	3 - 7
Detergente líquido todo uso	4 - 9
Limpiador de uso pasado	8 - 10
Detergente para ropa con enzimas	3 - 7
Detergente para trastes líquido	4 - 12
Champú normal	5 - 6
Champú anticaspa	3 - 4
Cloruro de sodio	3.1 - 4.2
Gasolina	0.5 - 6.0

Tabla 4.3. Dosis letal oral promedio de varias sustancias presentes en el hogar.

## 1. Aspectos Clínicos:

En contraste con la alta incidencia clínica de este tipo de accidentes, sólo unos cuantos casos han llegado a ser objeto de publicación en alguna revista especializada.

Generalizando, no existe problemas de consideración al ingerir productos detergentes ya que la cantidad que entra en el organismo es muy pequeña debido tanto al sabor desagradable que presentan así como por la formación de espuma que se obtiene al contacto con la saliva. Sin embargo, en caso de una ingestión intencional mayor, que es el caso de consumo con fines suicidas o para provocar un aborto, se pueden observar los siguientes síntomas:

- a) vómitos, diarrea y/o dolor abdominal;
- b) náusea, salivación profusa, sequedad bucal e hipo;
- c) quemaduras leves en mucosa oral, escaldado y quemaduras en garganta por los productos cáusticos presentes en la formulación;
- d) espuma en la boca, aspiraciones profundas por ahogo, inicio de aspiración pulmonar;

Las quemaduras de mucosas sólo se encuentran en casos de ingestión de productos con una elevada concentración de fosfatos y con un pH de 9.5 a 10.5 como se ha reportado con el producto Ajax Flüssig de la Muster Proper de Alemania (233)

Debido a que la información sobre el tamaño de la dosis ingerida es nula o incierta, se asume que lo máximo ingerido corresponde a dos bocados o mordidas en el caso de productos sólidos o en polvo, que corresponde a 0.5 g por Kilogramo de peso corporal <sup>(315)</sup>.

La situación clínica se agrava en los casos de pacientes que ingieren una dosis mayor, generalmente de detergente en forma normalmente líquida o de soluciones concentradas de detergentes en polvo, para provocarse la muerte o en algunos casos provocar un aborto. Existen casos reportados de personas que han caído en tinajas que contienen soluciones de detergentes, provocando la aspiración de los mismos <sup>(135, 147)</sup>.

En los casos en que se tiene aspiración de la solución jabonosa se debe de tomar en consideración la posibilidad de interacción de los surfactantes contenidos en la misma con las membranas del pulmón. Se puede presentar edema pulmonar y/o bronconeumonía, por lo que se debe de tomar en cuenta al efectuar las medidas terapéuticas <sup>(24, 54, 206, 298)</sup>.

## 2. Medidas Terapéuticas:

Se debe de administrar un silicón antiespumante como el Sab Simplex (distribuida por Parke-Davis), así como abundantes líquidos, preferentemente agua pura <sup>(49, 125)</sup>. El carbón activado tiene una buena capacidad de unión con el detergente por lo que puede ser usado en sustitución del silicón. El lavado gástrico sólo se requiere si se ha ingerido una dosis elevada de producto correspondiente a más de un gramo de surfactante aniónico por kilogramo de peso corporal o más de 4 ml de detergente líquido por kilogramo de peso <sup>(124, 126)</sup>.

En caso de diarrea severa se debe de mantener el balance electrolítico y evitar la deshidratación. Si la composición del producto ingerido no es conocida se debe de medir el pH de la solución para manejar las posibles quemaduras en boca y tracto gastrointestinal.

## G. Tolerancia Local: <sup>(155)</sup>

Los surfactantes aniónicos son muy usados en productos para lavado y enjuague de telas así como en productos de limpieza de superficies duras para uso en el hogar y de uso industrial. No solamente son importantes en las formulaciones de detergentes de ropa, sino que se encuentran en contacto directo con la piel y el cabello humanos, así como con las mucosas y membranas bucales y vaginales principalmente. En el caso de ciertos cosméticos como las duchas vaginales, los dentífricos y las soluciones bucales, el contacto es intencional, pero en el caso de otros, como las cremas de limpieza y tratamiento y los lápices labiales, el contacto puede ser accidental.

Estas son las razones por las que es necesario probar la toxicología oral y dérmica tanto de las materias primas como de los productos terminados, antes de enviarse al público consumidor. En el caso de los detergentes caseros se requieren pruebas de contacto con la piel tanto de exposición prolongada como exposición inmediata. Esto es de gran importancia para algunas personas ya que pueden provocar sensibilización y desencadenar problemas de alergia.

Los surfactantes aniónicos causan irritación al ponerse en contacto con el tejido vivo dependiendo de la estructura química, la concentración, la duración del contacto, así como los factores intrínsecos de la persona.

Para las pruebas de tolerancia se emplea en primer lugar la gran sensibilidad de las membranas mucosas para su evaluación, la prueba estandarizada se realiza en ojo de conejo, y en segundo lugar se utilizan las pruebas de contacto con la piel.

### 1. Prueba de compatibilidad en mucosas: <sup>(128)</sup>

Esta prueba es de gran importancia para el desarrollo de nuevos productos en los cuales se empleen surfactantes en su formulación ya que al ser usados pueden entrar en contacto con las membranas mucosas nasal, vaginal u oral de forma accidental. Esta prueba debe de llevarse a cabo debido a las siguientes razones:

- Para que al consumidor solo le lleguen productos que no presenten daños a las membranas mucosas al ser usadas de forma correcta.
- Para realizar predicciones relacionadas a los efectos de contacto accidental de las mucosas con el producto, así como la naturaleza primeros auxilios y recomendaciones de uso.

De acuerdo con el método descrito y aceptado por la Federal Drug Administration (FDA) de los E.U., la toxicidad de un producto en mucosas se determina mediante la prueba de Draize <sup>(77, 78, 233)</sup> usando los ojos de nueve conejos albinos. Se instilan 0.1 ml de la sustancia a evaluar en la conjuntiva del ojo derecho del conejo, dejando el ojo izquierdo como control, se divide el grupo en tríos, al primer grupo no se le lavan los ojos, a los otros dos grupos se les lavan en tiempos predeterminados con agua destilada estéril. Al final de la prueba se evalúan los cambios sufridos como síntomas de inflamación de la córnea, el iris y la conjuntiva bulbar y palpebral en intervalos de tiempo fijos de 24, 48, 72, 96 y 168 hrs después de la aplicación primaria, usando una tabla como referencia de puntaje (ver tabla 4.4).

Este método es muy subjetivo, depende de la capacitación del personal que evalúa los daños sufridos por la conjuntiva y no toma en cuenta los daños encontrados ya que se toma como resultado final una evaluación numérica.

GRADOS DE LESIÓN OCULAR	VALORES
<b>CORNEA</b>	
Sin ulceración u opacidad	0
Escaras o áreas difusas opacas, detalles del iris claramente visibles.	{1}
Áreas translúcidas fácilmente detectables, detalles del iris ligeramente oscurecidos.	2
Opacidad corneal completa, iris no detectable.	3
<b>IRIS</b>	
Normal	0
Surcos profundos, congestión, inyección ciliar moderada (cualquiera de las tres o combinaciones)	{1}
Sin reacción a la luz, hemorragia, destrucción gruesa (una o todas)	2
<b>CONJUNTIVA</b>	
* Rojiza o hiperémica (referida a la conjuntiva bulbar o palpebral excluyendo cornea e iris)	
Vasos normales	0
Algunos vasos inyectados ostensiblemente	1
Vasos difusos, como tela de araña, no discernibles.	{2}
Rojizos difusos	3
* Quemosis	
Sin inflamación	0
Inflamación cercana a lo normal (incluyendo membranas nictálicas)	1
Inflamación obvia con eversión parcial de los párpados	{2}
Inflamación con párpados a medio cerrar	3
Inflamación con párpados casi cerrados.	4

Tabla 4.4: Grados de lesión ocular, las figuras en corchetes indican el grado mínimo para considerar positiva la prueba según el Código Federal de Regulaciones, USA <sup>(128)</sup>.

El nivel de irritación característica de cada período de tiempo se obtiene multiplicando los valores dados en las pruebas por el número de horas del período. Además el "Índice de irritación" se obtiene promediando de 6 a 9 ojos medidos. El índice de irritación del producto estándar, laurilsulfato de sodio purificado es de 10 y se emplea como parámetro estándar contra el cual comparar los demás productos.

Existen otros tejidos en donde se realizan las pruebas de tolerancia que son menos usados o más específicas:

a) Draize <sup>(77)</sup> describe un método usando la mucosa del pene de conejos machos, se aplican 0.2 ml de la sustancia a prueba a la mucosa peneana evaluándose las reacciones de la misma en relación a un sistema de puntos en intervalos regulares de tiempo.

b) Los surfactantes usados en dentífricos y enjuagues bucales se evalúan en las membranas mucosas de boca y carrillos de sujetos humano <sup>(27, 327)</sup>. Se observan microscópicamente las células implicadas para conocer su reacción y se evalúan de manera subjetiva sensorial la rugosidad de lengua y labios, las lesiones dolorosas y los disturbios del sentido del gusto <sup>(244)</sup>.

c) Bereson y Temple <sup>(25)</sup> examinaron el efecto de la ingestión de detergentes en las membranas mucosas de esófago y estomago de gatos. Dependiendo de la concentración usada se observaron efectos de descamación celular, edema, congestión y finalmente inflamación con reacciones severas que llegaron a la ulceración y necrosis de las mucosas.

La irritación causada por los surfactantes difiere ampliamente dependiendo de la estructura del mismo; por ejemplo Draize y Kelley <sup>(75, 76)</sup> reportaron una "concentración máxima tolerada" para los surfactantes cationicos de 0.5 a 1.0 %; para surfactantes anionicos del 10 al 20% y para no ionicos de 100%. Por otro lado, Hazleton <sup>(155)</sup> propone a los surfactantes anionicos y jabones como irritantes moderados, a los cationicos como fuertemente irritantes y a los no ionicos como leves.

Los estudios realizados han demostrado que existen aditivos específicos que aumentan la compatibilidad de los surfactantes con las mucosas, es decir, disminuyen las propiedades de irritación del surfactante. Estas características son

de máxima importancia para los productos cosméticos de uso infantil y para la limpieza de los ojos principalmente. La cuestión importante a contestar es: ¿Cuales de estos compuestos que reducen la irritación, no reducen simultáneamente sus propiedades de limpieza? <sup>(101)</sup>.

Reportado en la literatura se encuentra un estudio realizado por Opdyke et al. <sup>(220)</sup> en el cual se pusieron a prueba dos detergentes de uso doméstico usando el método de Draize. Los detergentes comparados presentaban una composición casi idéntica correspondiente a 20% de surfactante anionico (tipo 1: alquilbencen sulfonato de sodio y tipo 2: partes iguales de alquilbencen sulfonato de sodio y alquilsulfato de sodio). Instilaron 0.1 ml del detergente líquido o 0.3 mg de polvo en los ojos de los conejos y se reportaron las reacciones de los mismos después de 1 hr y con intervalos de 24 hrs. No se encontraron diferencias significativas concernientes a las propiedades irritantes en las membranas mucosas.

Por otro lado Beckley <sup>(20)</sup> experimentó con un detergente líquido con una concentración de 12% de alcohol etílico, 38% de Alquilbencensulfonato de sodio y 50% de agua. Lo probó en mucosas corneales de conejos, perros, monos y humanos aplicado sin diluir en porciones de 0.1 ml. Observó que las reacciones más severas se obtuvieron en los conejos y las menores en los monos. La irritación corneal desapareció en los monos después de 48 hrs y en los perros después de 7 días (168 hrs). En ningún sujeto humano se presentó daño corneal o inflamación a pesar de usar producto sin diluir. Solo los monos presentaron un comportamiento similar al ojo humano.

Otros métodos empleados se basan en el cultivo de tejidos específicos para evitar el uso de animales vivos para la experimentación <sup>(130)</sup>.

## 2. Prueba de Compatibilidad en la Piel.

Para evitar un posible daño a la piel que se encuentre en contacto con el surfactante o detergente es necesario conocer su toxicidad para la misma. Antes de que un ser humano use comercialmente una sustancia es necesario probarla en animales. Sin embargo, la prueba tiene varias limitaciones y los resultados no pueden extrapolarse directamente.

Entre las limitaciones tenemos las siguientes:

- a) debe evaluarse la concentración usada "normalmente" por el consumidor,
- b) se debe determinar si el producto a evaluar será usado como producto final o en combinación con otros compuestos o preparados,
- c) además debe relacionarse el tiempo de exposición del producto ya puede estar en contacto con la piel por cortos períodos o muy ocasionalmente, o puede estar en contacto por largos períodos o muy frecuentemente por períodos de tiempo cortos.
- d) Finalmente en las pruebas con animales de experimentación se prueban los productos en altas concentraciones para evaluar los resultados en períodos de tiempo más cortos.

Como la piel es una barrera natural para los agentes externos los animales para experimentación deben de tener la piel dañada, para este propósito se emplean diversos métodos entre los que se encuentran la Inmersión en agua con un pH ligeramente ácido o alcalino. Además de usarse para la evaluación de la toxicidad se emplea para conocer los efectos sensibilizantes, comedogénicos o acántogénicos.

El método de prueba más empleado y reconocido utiliza un parche oclusivo epicutáneo en el que se adiciona la sustancia a prueba, las reacciones de la piel se evalúan y se califican con respecto a la tabla 4.5 <sup>(76, 77, 318)</sup>.

EVALUACIÓN DE LAS REACCIONES DE LA PIEL.	
Eritema y formación de escaras.	
Sin eritema.	0
Eritema muy delicado (poco perceptible).	1
Eritema bien definido.	2
Eritema de moderado a severo.	3
Eritema severo a formación ligera de escaras.	4
Formación de edema.	
Sin edema.	0
Edema muy ligero.	1
Edema ligero (límite del área bien definidos).	2
Edema moderado (área de levantamiento de 1 mm).	3
Edema severo (elevación mayor a 1 mm, extendiéndose más del área de exposición).	4

Tabla 4.5. Grados de lesión en piel.

Otro método empleado es dañar la piel usando formaldehído<sup>(97)</sup>. La respuesta de la piel, como inflamación, puede leerse directamente o usando el método de la tinte<sup>(144)</sup>. El animal clásico de experimentación es el conejo albino, ya que es de fácil manejo y pueden usarse varias sustancias de prueba en un solo animal. Este método tiene los siguientes inconvenientes:

- a) es una prueba de contacto primario.
- b) el uso de material poroso que aísla la piel no corresponde con la realidad del uso normal,
- c) los irritantes suaves no son bien evaluados.

Para la prueba de contacto repetitivo se utilizan diversas pruebas con ligeras variantes utilizando piel intacta o dañada, sin cubierta (prueba de parche abierta) o cubierta con una banda plastificada (*prueba de parche cerrada*). El material del

parche puede ser poroso al aire (*prueba de parche sin oclusión*) o no porosa (*prueba de parche oclusiva*) <sup>(161)</sup>. Debido a estas diferencias los resultados obtenidos en ellas son totalmente diferentes. Para la aplicación repetida se emplean conejos, cobayas, ratas o ratones y de preferencia ratones de una cepa especial que genéticamente no produce pelo.

Para productos que entran en contacto con grandes áreas de la piel, como las sales de baño, se emplea la *prueba de inmersión* <sup>(220)</sup>. En esta se utilizan cobayas o ratones pelones que son sumergidos diariamente en una solución acuosa de la sustancia de prueba por un período de tiempo fijo.

Por lo anterior es importante que en los artículos que reportan datos y resultados de daño en piel se refiera al método empleado para obtenerlos ya que cada método da diferentes resultados.

Las principales reacciones que presenta la piel al ser expuesta a los detergentes son:

- a) presentan un efecto desengrasante de la capa superior de la piel que puede causar resequedad con la consiguiente sensación de piel de "lija", y finalmente descamación <sup>(80)</sup>;
- b) modifican la capacidad de la piel de protegerse contra los productos alcalinos al eliminar los ácidos grasos que protegen la piel <sup>(143, 218)</sup>;
- c) los surfactantes aniónicos pueden reaccionar con las proteínas superficiales de la piel formando compuestos solubles, que promueven la disolución de los grupos sulfhidrilo de las escleroproteínas, reaccionando

con las enzimas de la piel y finalmente, da lugar a la desnaturalización de las mismas;

- d) como consecuencia de la interacción con las enzimas se presenta una falla en la alimentación y funcionamiento de la piel, pudiéndose provocar hipoxia celular por modificación de la membrana lipoproteica celular <sup>(311)</sup>;
- e) los surfactantes penetran en la piel provocando irritación en la misma, esta propiedad aumenta las características comedogénicas de algunas sustancias al ser acarreadas a estratos más lábiles de la piel <sup>(203)</sup>;
- f) los surfactantes tienen propiedades acantogénicas por lo que aumentan las posibilidades de problemas en la piel;
- g) presentan también propiedades comedogénicas cuando son mezclados con compuestos bacteriostáticos <sup>(193)</sup>;
- h) los surfactantes aumentan la sensibilización de la piel de otros compuestos debido a sus propiedades irritantes <sup>(120)</sup> y acantogénicas <sup>(275)</sup>.

## H. Observaciones Dermatológicas en Humanos.

Las publicaciones a nivel mundial relacionadas con los problemas provocados por los detergentes domésticos son mínimas comparadas con las relacionadas a los surfactantes en general. Los principales temas tratados son el eczema de las manos del ama de casa, la dermatitis del ama de casa y la dermatitis de contacto.

### 1. Eczema del Ama de Casa:

El primer trabajo presentado con este problema data de 1921 <sup>(284)</sup> y se refiere a los problemas que tienen las amas de casa al exponerse al agua, calor, jabón líquido y en escamas, pulidores y fibras para tallar, así como a la limpieza y manejo de vegetales y carnes. Es de hacer notar que en esta época ya se empezaban a

emplear los primeros detergentes de uso doméstico. Este autor indica que las condiciones de la piel varían en varios grados y en extensión desde el eritema vesiculopapular y vesicular a las zonas de inflamación.

En otro artículo publicado en 1973 por Fisher <sup>(97)</sup> se describe que el eczema del ama de casa se presenta en dedos, palma y dorso de la mano, iniciándose con resequedad y aspecto rojizo de la piel, procede después la descamación, la formación de fisuras y eventualmente eczema crónico. Este es intensificado por los irritantes de uso común en el hogar como son el cloro, blanqueadores, amoníaco y sosa cáustica.

Como se puede observar esta etiología es multifactorial por lo que no se puede afirmar que los detergentes son los desencadenantes de dicho problema. Se ha observado que esta dermatitis inicia frecuentemente en el dedo anular debajo del o los anillos presentes, ya que este lugar se presenta como un depósito de jabones, detergentes, productos químicos diversos, suciedad y bacterias <sup>(109)</sup>.

## 2. Dermatitis del Ama de Casa:

El primer dermatólogo que estudió la etiología fue Suskind RR en 1963 <sup>(292)</sup>, quien junto con sus colaboradores evaluó el efecto de los detergentes en la piel y lo separó de los posibles efectos del medio ambiente de la persona que los empleaba.

Su principal motivación fue la gran cantidad de pacientes que presentaban dermatitis asociadas al incremento de la comercialización de los detergentes sintéticos. La forma en que diseñó su experimento fue novedoso ya que eliminó

totalmente el medio ambiente en el que se desarrollaban los pacientes al internarlos en el hospital durante todo el período de prueba.

Durante la prueba las manos de los pacientes fueron expuestas exclusivamente a soluciones de productos de lavado de ropa, tanto jabones como detergentes, con un pH de 10. Para que fuera mas representativa se pidió a los pacientes que estrujaran una esponja pequeña. Después de estar en contacto con la solución no se empleaba el lavado o enjuague con agua, solo se secaban las manos usando una toalla de algodón. La concentración del producto usado fue de 0.5% con exposiciones de 30 minutos en dos períodos al día, o de 10 minutos durante seis períodos de exposición (tiempo total = 60 minutos).

Las condiciones de la piel de las manos de los sujetos en experimentación fueron observadas por simple inspección ocular así como con microscopio estereoscópico empleando una tabla de puntaje estandarizada.

Los autores esperaban que la dermatitis de los pacientes fuera empeorando según pasaba el tiempo de la prueba, sin embargo se encontró que sucedía lo contrario. Con esta evidencia concluyeron que la sola acción de los jabones y detergentes no provocaba la dermatitis.

Los resultados obtenidos fueron evaluados estableciendo en primer lugar las condiciones de lavado reales de 267 amas de casa de la ciudad americana de Cincinnati al usar detergentes. Se reportó que la duración total de exposición de las manos al detergente por semana era de 131 minutos requeridos para el lavado de loza y utensilios de cocina; 29 minutos en el lavado de ropa y 32 minutos en lavados

varios, con un total de 192 minutos por semana. Estos tiempos son considerablemente menores a los períodos dados en el experimento<sup>(291)</sup>.

Por lo tanto a la luz de los resultados obtenidos se puede afirmar que existen otros factores coadyuvantes a la formación de la dermatitis y del eczema del ama de casa. Entre ellos tenemos la temperatura de la solución, la cantidad de agua empleada y las concentraciones del producto usado.

Blohm y col.<sup>(32)</sup> realizaron un estudio similar en Estocolmo, Suecia. Observaron que los resultados obtenidos eran compatibles con los resultados y conclusiones obtenidos por Suskind. En una serie de 200 paciente observaron que a pesar de que el fabricante de detergentes recomendaba una concentración máxima de uso del 25%, los consumidores usaban hasta 10 veces esta concentración. Este autor recomienda ampliamente la implementación de un programa educacional para evitar que la gente utilice una cantidad mayor a la recomendada de detergente ya que solamente se incrementa el costo de cada lavada y no aumenta significativamente la eficacia del producto.

En Inglaterra, un estudio posterior ratifico los resultados reportados anteriormente, agregando que las amas de casa emplean de 10 a 20 veces la concentración recomendada del detergente<sup>(180)</sup>.

En general encontramos que las investigaciones realizadas dan las siguientes recomendaciones para el uso de los detergentes:

- a) Se debe tener en cuenta las concentraciones de trabajo recomendadas por el fabricante<sup>(107)</sup>.

- b) Al finalizar las labores de lavado el consumidor debe de tener la precaución de enjuagarse perfectamente las manos y de secarlas con una toalla de tela, preferentemente de algodón <sup>(107, 108)</sup>.
- c) Se debe de procurar que los contactos con los detergentes sean pocos y de corta duración <sup>(109)</sup>, por lo que se recomienda el uso de barreras físicas protectoras de la piel (como son los guantes) en el caso de la necesidad de un contacto prolongado.

### 3. Dermatitis de Contacto:

La primera publicación acerca de la dermatitis de contacto relacionada con el uso de detergentes se realizó en 1954 en Suiza <sup>(203)</sup>, caracterizando a un detergente en polvo que contenía 20% de alquilaryl sulfonato de sodio y 6% de laurilsulfato de sodio. El autor propuso que la sustancia sensibilizante era el laurilsulfato de sodio que se presentaba como un subproducto de la fabricación del surfactante principal.

Después de este estudio se reportó otro caso en donde las impurezas presentes en el producto fueron las causantes de la dermatitis y problemas relacionados <sup>(59, 185)</sup>. Actualmente estos problemas dermatológicos son más controlados ya que el fabricante realiza pruebas de sensibilización antes de poner en el mercado su producto <sup>(133, 221, 231)</sup>.

Mediante estas pruebas se ha observado que tanto el alquil bencen sulfonato de sodio como el laurilsulfato de sodio no son es sí, sensibilizantes.

## I. Reacciones debidas a los coadyuvantes <sup>(325)</sup>.

Como apuntamos anteriormente, los detergentes no son entidades simples. Para un correcto funcionamiento las formulaciones de detergentes domésticos tienen una serie de productos químicos que aumentan la efectividad de los mismos. Entre ellas tenemos:

Enzimas.- en años recientes se empezaron a usar en las formulaciones de detergentes enzimas específicas que incrementan su eficiencia. Estudios extensivos indican que estos últimos presentan la misma seguridad de uso que los detergentes sin enzimas. Sin embargo, se necesita una mayor investigación requerida por los médicos alergólogos que indican que pueden ser causantes del incremento de las alergias respiratorias y del prurito cutáneo en el consumidor <sup>(114)</sup> principalmente si el enjuague de la ropa es deficiente.

Carbonatos.- a partir de las demandas ecológicas mundiales las concentraciones de fosfatos presentes en los detergentes de uso doméstico fueron modificadas en favor de los carbonatos. Sin embargo, en caso de ingestión accidental, estos detergentes presentan en mayor poder de corrosión principalmente a esófago e intestino por formación de ácido.

## J. Propiedades carcinogénicas, mutagénicas y teratogénicas: <sup>(215)</sup>

1. Carcinógenos: los compuestos que inician o promueven el crecimiento de un tumor se denominan como oncogénicos o tumogénicos; aquellos que inducen tumores malignos se denominan carcinógenos.

Debido al contacto tan íntimo de los detergentes con el ser humano es importante el realizar estudios que confirmen la seguridad oncológica y carcinogénica de los mismos. Estos se realizan en períodos de tiempo muy largos de hasta 2 años, por lo que se emplean principalmente ratas, ratones y conejos.

Los surfactantes aniónicos son considerados como potencialmente carcinogénicos, ya que en los estudios de toxicidad crónica se observa el aumento de tumoraciones en los animales de experimentación. Al mezclarse en las formulaciones de detergentes caseros la adición de otros compuestos aumenta las características de carcinogénesis. Sin embargo es importante decir, que por cuestiones comerciales es posible que no se tengan resultados fidedignos con respecto a este concepto.

2. Mutagenicidad: es la inducción de alteraciones en el contenido de la información del DNA de un organismo o de una célula de forma no natural por método de recombinación de genes o bases. En los organismos superiores el daño genético se observa en líneas celulares somáticas y germinales.

Existen dos tipos generales de alteración genética que se dan espontáneamente por inducción química:

- a. mutaciones puntuales.
- b. aberraciones cromosómicas.

Al utilizar pruebas para detectar posibles efectos mutagénicos debidos a los surfactantes en sistemas de mamíferos, se ha observado que todos los resultados obtenidos indican que los surfactantes aniónicos usados principalmente en los

detergentes domésticos no inducen ninguno de los problemas genéticos mencionados.

3. Teratogenicidad: las influencias adversas sobre el desarrollo del feto incluyen efectos como letalidad, malformaciones y retardo del crecimiento. Un teratógeno produce exclusivamente malformaciones fetales. Estos defectos dependen de la concentración del compuesto y del tiempo de contacto del mismo con el feto.

En este contexto se han probado ABS y LAS en ratas, ratones y conejos, sin encontrar resultados que indiquen daño teratogénico ni efectos en la procreación atribuibles a la ingesta crónica de los mismos.

## *V. EFECTOS EN EL MEDIO AMBIENTE.*

## V. EFECTOS EN EL MEDIO AMBIENTE.

### A. Consideraciones generales.

La aceptación y uso de los detergentes sintéticos por los consumidores domésticos ha sido uno de los éxitos de la mercadotecnia más grande mundialmente, si tomamos en cuenta que solamente en el último siglo se han empleado y que actualmente se consideran como indispensables para la forma de vida "civilizada".

La aceptación de este producto ha sido tal que sólo en los últimos 30 años se ha puesto atención a los posibles problemas que se presentan al ser fabricados, al usarse y al desecharse en el medio ambiente.

El primer país que tomó en cuenta en su legislación el control de los detergentes y surfactantes en general, como agentes polucionantes, fue la República Alemana<sup>(118)</sup>. En 1961 prohibió el uso de surfactantes no biodegradables en las formulaciones de detergentes para uso doméstico<sup>(300)</sup>. A partir de ese momento se inició la concientización mundial del problema que presentaban los detergentes para el medio ambiente. Estados Unidos de Norteamérica, Canadá, la Comunidad Europea y Australia siguieron a Alemania en su decisión de restringir el uso de detergentes "duros" en sus territorios así como minimizar el uso de fosfatos.

Sin embargo, en los países del Tercer Mundo no sólo no se hicieron modificaciones a las legislaciones, sino que se aceptaban y se utilizaban las cantidades excedentes de los surfactantes "duros" producidos en los países en que

se restringía su uso. Como en el caso de la tecnología en general, se tiene un atraso de al menos 30 años en cuanto al deterioro ambiental y a la legislaciones pertinentes para su conservación <sup>(171)</sup>.

Los ríos, lagos, presas y canales de recolección de aguas residuales domésticas e industriales del país han venido recibiendo durante más de 30 años contaminantes difíciles de degradar, provocando la muerte de las aguas estancas por el proceso denominado eutroficación.

En México, los productos biodegradables se han legislado a partir de la firma del Tratado de Libre Comercio de América del Norte, ya que este implicó la necesidad de ajustarse a las normas de los Estados Unidos y Canadá para poder exportar los productos nacionales, así como la subscripción a las leyes internacionales del medio ambiente.

Aún así, podemos observar que el 90% de las etiquetas de información al consumidor que presentan los productos no se dan los datos suficientes para poder afirmar que actualmente los detergentes de empleo nacional son biodegradables y seguros para el medio ambiente.

Para poder entender los efectos nocivos de los detergentes en el medio ambiente debemos de tomar en cuenta las siguientes consideraciones referentes a la actitud de la sociedad en cuanto a su responsabilidad en el deterioro del mismo, la interrelación de los diferentes niveles biológicos que lo forman y la manera en que actúan los contaminantes.

## B. Consideraciones Sociales <sup>(304)</sup>

La sociedad, por medio de las legislaciones, es la que tiene que determinar el grado de calidad que requiere del medio ambiente y el grado de responsabilidad que tiene para realizarlo; por lo que es necesario que la población en general sea consciente de que debe determinar los siguientes puntos en relación específica con los detergentes:

- a) Especificar claramente el grado o calidad de ambiente que se desea y cuales son las interrelaciones biológicas, químicas y geológicas que se requieren para obtener ese nivel específico de calidad ambiental.
- b) Identificar los productos potencialmente contaminantes presentes en los detergentes y determinar en que grado afectan el equilibrio del ambiente deseado si son desechados sin tratamiento.
- c) Evaluar la tecnología que se tenga disponible para el tratamiento de las aguas negras en relación con los elementos contaminantes que le adicione el producto.

Como estas consideraciones deben de realizarse en cada ecosistema o "población" la evaluación individual del costo beneficio de las legislaciones impuestas para el consumidor y el empresario de manera global ya que es casi imposible tener todas las combinaciones posibles de problema-solución. Para simplificarlo se emplea el esquema de la figura 5.1. que expone el diagrama de flujo "normal" de un detergente sintético desde su elaboración hasta su descarga en el medio ambiente.

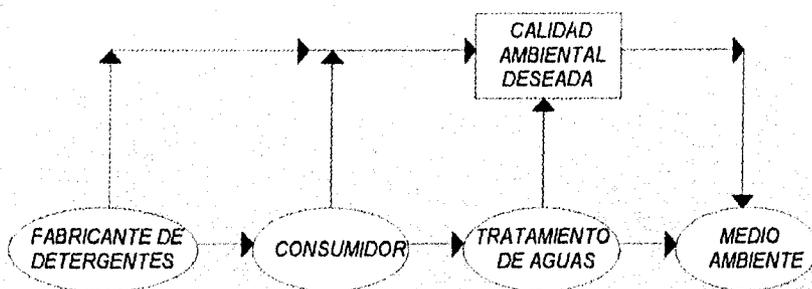


Fig. 5.1. Diagrama de los detergentes sintéticos. Relaciones que presentan las diferentes decisiones del fabricante, consumidor y medio ambiente <sup>(104)</sup>.

En la figura 5.1 se puede observar las diversas interrelaciones de los surfactantes con la fabricación, el uso y la descarga de los mismos y nos indican los posibles puntos de conflicto. Este es un sistema totalmente dinámico ya que puede modificarse en cualquier punto: las formulaciones se cambian de acuerdo al desarrollo tecnológico, las demandas del consumidor se modifican, la tecnología de los tratamientos de aguas residuales evoluciona y el nivel de calidad del medio ambiente se modifica dependiendo de la consciencia ecológica de la sociedad.

Como podemos observar se puede inferir que el consumidor es el estadio regulador, ya que depende exclusivamente de éste determinar el nivel de calidad ambiental que tolerará o deseará, evaluándolo contra las restricciones económicas (costo de comercialización del producto) o tecnológicas (mezcla y formulación del producto).

Por otro lado, el prohibir totalmente el uso de los detergentes para tener una "ecología saludable", sería inadmisibles para la totalidad de los consumidores. Históricamente se ha observado que los problemas ambientales nunca se han resuelto de manera tajante y a largo plazo. Por ejemplo, en 1971, la Comisión

Federal de Comercio relativa al impacto potencial de la polución de los fosfatos presentes en los detergentes sintéticos <sup>(303)</sup>, citó estadísticas que indicaban que el 30% de la población rural desechaba el agua doméstica al suelo directamente mediante descargas a fosas sépticas y que de este porcentaje, el 55% de la misma residía en sitios en donde los drenajes municipales eran descargados directamente a los océanos o sistemas fluviales mayores abiertos. Se hizo hincapié que solo el 15% de la población descargaba sus drenajes a sistemas de agua cerrados capaces de ser eutrofizados. Estas observaciones implicaban el cuestionamiento de la ley que modificaría el contenido de fosfatos aduciendo que el 85% de la población en general se vería afectada por esta que posiblemente disminuiría la eficiencia de los mismos.

### C. Consideraciones Ecológicas.

La biosfera es la capa de vida que rodea a nuestro planeta. Se localiza sobre la tierra, en el aire y dentro de las masas de agua. Cada una de estas fases físicas se interrelaciona una con las otras, por lo que no se puede considerar el estudio de una de ellas como de un sistema cerrado, sino como parte de la biosfera en su totalidad.

Cada fase recibe los ataques químicos y físicos tanto de organismos vivos como de formas inertes, respondiendo al absorber o liberar energía. En un estado basal de equilibrio de fuerzas la biosfera absorbe y aporta energía de forma dinámica, sin modificar substancialmente el entorno. En el caso de que existiera un exceso de polución el balance de energía se estropearía, provocando la inestabilidad de la biosfera con el consiguiente caos final.

Debido a su naturaleza dinámica, cada fase de la biosfera contiene inherentemente una cierta capacidad de absorción. El mantenimiento de algunos de sus elementos es necesario para proteger los ciclos químicos, físicos y biológicos. La consideración más importante cuando se evalúa la polución potencial de un ecosistema es la seguridad de que ninguna fase del sistema esta sujeta a un nivel de contaminación que rebase su nivel de absorción. En este caso se debe establecer con precisión el nivel apropiado de calidad ambiental deseable para evaluar el impacto que tenga cualquier producto desarrollado tecnológicamente, como serían los detergentes, y así minimizar o idealmente, eliminar cualquier desequilibrio causado por su uso.

Debido a que se emplean en solución acuosa, los detergentes impactan en primer lugar el balance acuático de ríos, lagos, mares y océanos, debido a que se descargan mezclados con las aguas negras domésticas. Sin embargo, este impacto no se queda solamente en el agua, ya que se usan aguas negras como aguas de riego en algunos sembradíos, así como la disposición de lodos activados derivados del tratamiento de las mismas en las plantas de reciclado, utilizados como fertilizantes.

#### **D. Consideraciones Hidrológicas.**

El volumen total de agua asociada a nuestro planeta es fijo, no se crean nuevas cantidades de líquido, y existe en diversas asociaciones físicas y locaciones esquematizadas en el ciclo hidrológico o del agua.

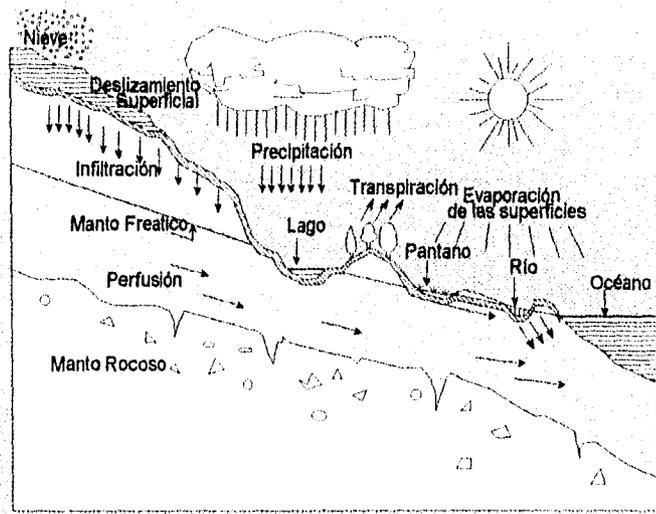


Fig.5.2.. Diagrama esquemático del ciclo del agua <sup>(92)</sup>.

Las principales etapas del ciclo son: precipitación, filtración, deslizamiento superficial, perfusión y evaporación, como podemos ver en la fig. 5.2. Como se puede observar, la mayor parte del agua de lluvia precipitada en la tierra cae directamente en superficies acuosas, estas retornan a la atmósfera por medio de la evaporación provocada por el calor solar. Una parte mínima que cae en la tierra fluye como riachuelos y ríos en la superficie terrestre y atraviesa el suelo por medio de la perfusión, para formar parte de los mantos freáticos.

Los detergentes sintéticos pueden descargarse a cualquier superficie acuosa o manto freático y representa polución potencial en cualquier etapa del ciclo. La extensión de la contaminación depende de tres factores:

- a) Tratamiento de las agua negras antes de desecharse.
- b) Composición y concentración de los contaminantes residuales.
- c) Características físicoquímicas del cuerpo de agua que lo recibe.

Para conocer en su total magnitud el impacto que tiene un contaminante presente en las aguas negras para el total del agua del planeta tenemos que tomar en cuenta las cantidades de agua presente en el globo terráqueo. El total del agua que contiene el planeta es de 1'360,000,000 Km<sup>3</sup>, de este total se tiene que solo el 0.01% corresponde a aguas dulce de ríos, lagos y embalses con un total de 125,000 Km<sup>3</sup> y el 0.61% se tiene como manto frático con 8'350,000 Km<sup>3</sup> (306).

Los océanos poseen la mayor capacidad para diluir un compuesto dado y, por lo tanto, la mayor capacidad de absorber los impactos contaminantes de los mismos. Los ríos y aguas móviles poseen una capacidad moderada de absorción por lo que se mantienen en un nivel moderado de contaminación. En tanto las aguas estancadas como lagos, represas y embalses en general han demostrado la menor capacidad de absorción, disminuyendo considerablemente la calidad del agua potable o del mantenimiento de vida acuática en su seno.

A pesar de que los surfactantes son básicamente atóxicos para el ser humano y que las concentraciones que de ellos se encuentra en los suministros de agua debidas al reciclaje del agua, ya sea en forma natural o por medio de tecnología, son muy bajas; la presencia de los surfactantes en el agua no son deseables por los problemas estéticos que presentan. Esta es la razón que se dio en 1962 por los Servicios de Salud Pública de los Estados Unidos al marcar un límite máximo permisible de ABS en un 0.5 ppm , ya que es el límite máximo de formación de espuma. Este límite ha sido usado tanto en la ex-Unión Soviética como en Sudáfrica a partir de 1970 (331), mientras que la Organización Mundial de la Salud puso como límite 0.2 ppm. Sin embargo la EPA en 1976 en el denominado "Libro Rojo" no tomo en cuenta a los surfactantes como productos sujetos a análisis y delimitaciones (332).

El "Libro Azul" americano sugiere un límite máximo permisible 0.5 ppm para el agua potable y de 0.2 ppm para aguas libres, basado en los estudios de toxicidad de los detergentes para la vida acuática <sup>(157, 200)</sup>.

## E. Contaminación del medio ambiente acuático.

Debido a la complejidad de la mezcla de componentes que pueden presentarse como contaminantes, la cuantificación de los productos polucionantes debe ser capaz de adecuarse a las diferentes situaciones. La clasificación más común de los análisis de los contaminantes se refiere a la forma de analizarlos:

### Mediciones físicas:

1. Temperatura.
2. Color.
3. Turbidez.
4. Material suspendida.

### Análisis Químicos:

5. Orgánicos:
  - a. Demanda bioquímica de oxígeno.
  - b. Demanda química de oxígeno.
  - c. Carbón orgánico total.
6. Inorgánicos:
  - a. Material químico fertilizante.
    - i. Nitrógeno.
    - ii. Fosfatos.

Análisis Microbiológicos:

7. Coliformes.
8. Coliformes fecales.
9. Cuenta estándar en placa.

En general podemos decir que se tienen dos grandes categorías de contaminantes:

- a) Contaminantes orgánicos que contienen fragmentos de hidrocarburos como mayor parte de su composición.
- b) Contaminantes inorgánicos como sales y minerales.

Esta distinción es de particular interés dentro de la biodegradación de los contaminantes ya que existen dos tipos diferentes de microorganismos que se encuentran frecuentemente en las aguas residuales y que aumentan en proporción a la cantidad de contaminantes presentes. A nivel de los microorganismos, las algas se benefician con los contaminantes inorgánicos debido a su metabolismo autotrófo y las bacterias se asocian a los contaminantes orgánicos y de metabolismo heterótrofo <sup>(243)</sup>. Los organismos heterótrofos requieren del material orgánico para producir energía. En general, estos organismos metabolizan las sustancias complejas y las reducen a su mínima expresión (bióxido de carbono y agua), obteniendo energía de las transformaciones. Necesitan oxígeno para su existencia (Fig. 5.3.).

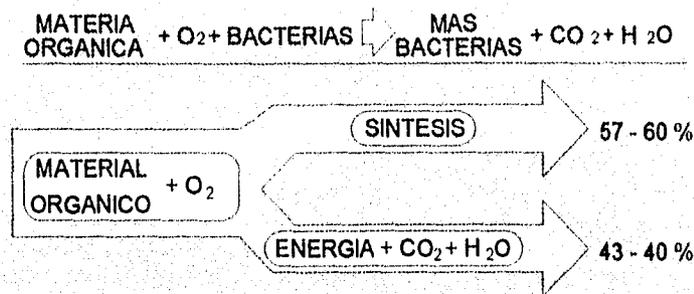


Fig. 5.3. Representación esquemática de la actividad microbiana heterótrofa <sup>(243)</sup>.

En contraste, la actividad autótrofa utiliza la energía solar para sintetizar materia orgánica a partir de materia inorgánica dando oxígeno como subproducto. Este proceso es importante debido a que utiliza los desechos de la actividad heterótrofa así como renueva la cantidad de oxígeno necesario para la respiración aerobia. Son el inicio de la cadena alimenticia (fig. 5.4.).

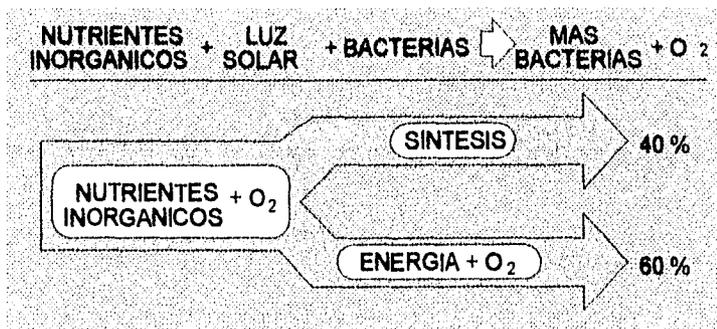


Fig. 5.4.. Representación esquemática de la actividad microbiana autótrofa <sup>(243)</sup>.

Ambos sistemas consisten en un ciclo cerrado de retroalimentación controlado por el final de cada uno de los ciclos tanto en cantidad como en condiciones ambientales (fig. 5.5.).

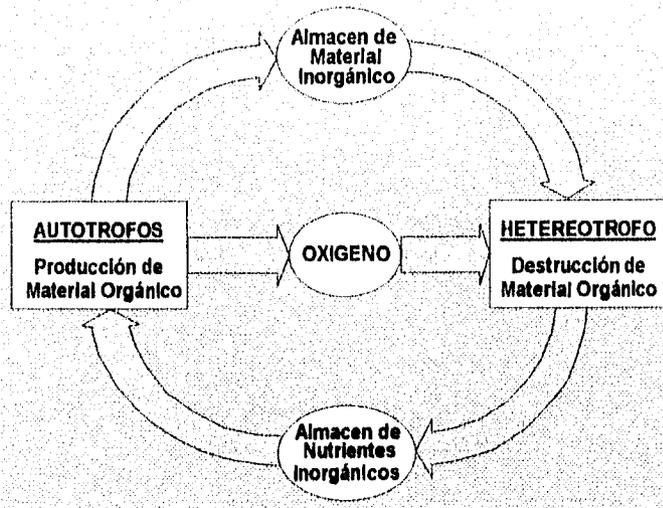


Fig. 5.5.. Relación existente entre las actividades microbianas heterótrofas/autótrofas <sup>(243)</sup>.

En el sistema ecológico global terráqueo este ciclo se está equilibrando continuamente. Sin embargo, los microambientes son fácilmente desequilibrados al incluir nuevos productos, es decir, contaminantes. Si se introduce un exceso de materia orgánica, el ciclo heterótrofo aumenta consumiendo una cantidad mayor de organismos fotosintéticos, disminuyendo drásticamente su concentración. Al contrario si se adiciona más materia inorgánica, la producción autótrofa aumenta la masa de algas por crecimiento desmedido de la colonia.

Existe otro tipo de microorganismos importantes en el ciclo autótrofo/heterótrofo que son los organismos denominados "Putrefactores", los

cuales actúan descomponiendo los microorganismos muertos del sistema genéricamente son heterótrofos anaerobios (fig.5.6.).

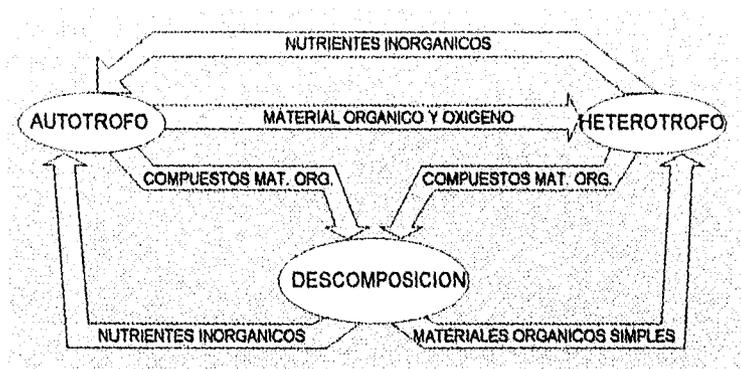


Fig.5.6.. Relación entre los microorganismos autótrofos, heterótrofos y putrefactores <sup>(243)</sup>.

Básicamente estas relaciones se tienen a todo lo largo de la cadena alimentaria. Si modificamos el equilibrio presente en cada escalón de la pirámide que forma esta cadena se observará en menor proporción si subimos de nivel, pero si bajamos este proceso se magnificará proporcionalmente. A nivel unicelular, que corresponde a la base de la pirámide ecológica, cualquier anomalía al equilibrio del ciclo heterótrofo-autótrofo modifica el crecimiento de un tipo de microorganismos pudiendo provocar la destrucción total del ciclo.

Cuando el ser humano contamina el medio ambiente acuático, se observan dos tipos diferentes de efectos:

- a) Disminución del oxígeno disuelto debido a contaminantes orgánicos.
- b) Fertilización por aumento de nutrientes inorgánicos.

1. Disminución del oxígeno disuelto debido a contaminantes orgánicos: La introducción de materia orgánica al sistema acuático estimula la actividad biológica heterotrófa dando lugar a la disminución de la concentración de oxígeno disuelto en el agua. Esta acción se evalúa en términos de la cantidad potencial de oxígeno que se requiere para convertir, mediante cepas bacterianas especiales, la materia orgánica en bióxido de carbono y agua. En una evaluación de la Demanda Biológica de Oxígeno, la consideración más importante es determinar el efecto de la reducción del oxígeno disuelto en la vida de los organismos acuáticos. Los primeros en ser evaluados son los peces por su potencial interés económico ya que las especies valiosas son eliminadas en primer lugar al ser más lábiles, pudiendo terminar con la extinción de todo tipo de vida acuática cuando la cantidad de oxígeno llega a cero.

La ecuación utilizada para evaluar la DBO tiene varias limitaciones, solo puede usarse en secciones uniformes de un canal, no toma en cuenta la actividad de los autotrófos y es incompleta en general ya que esta desarrollada a partir de un modelo matemático muy sencillo.

2. Fertilización por aumento de nutrientes inorgánicos: La introducción de contaminantes inorgánicos, principalmente de compuestos fosfatados y nitrogenados, promueve la actividad de los organismos autotrófos y por lo tanto, el crecimiento de las algas. Normalmente el ciclo de crecimiento de las algas está mediado por la cantidad de horas con luz solar a lo largo del año aumentando su cantidad en verano coincidiendo con el crecimiento de nuevas camadas de peces y de otros animales acuáticos. Aún más, dentro de un ciclo diurno, las reacciones

fotosintéticas se inmovilizan en las noches, variando considerablemente la cantidad de oxígeno disuelto durante las 24 horas del día.

Al modificar el equilibrio nutricional se inician una serie de reacciones en cadena. Esto es de mayor importancia si se adiciona a cuerpos de agua que presentan un tiempo de estancia muy largo como en el caso de los lagos, presas y estanques, ya que se tiene una mayor posibilidad de estratificación debida a la profundidad de las mismas.

La estratificación ocurre en aquellos cuerpos de agua con una suficiente profundidad para evitar que la acción del viento remueva y mezcle el total del agua. Las capas de agua caliente se encuentran en la superficie disminuyendo la temperatura hasta llegar el fondo donde se encuentra la capa de agua más fría, en general se puede decir que la temperatura disminuye un grado centígrado por cada metro de profundidad, la división del agua caliente con el agua fría se denomina termoclina (Fig. 5.7.).

Normalmente las aguas estancas tienden a moverse completamente en dos ocasiones que se corresponden con la modificación de la temperatura terrestre, la primera se relaciona con el enfriamiento de las aguas superficiales por efecto de las primeras lluvias del verano que enfrían gradualmente las capas superficiales del reservorio que caen al fondo del mismo. El segundo período corresponde al final del invierno cuando se tiene el deshielo, las capas inferiores tienen una temperatura mayor por lo que se intercambian continuamente las capas de agua (fig. 5.7.).

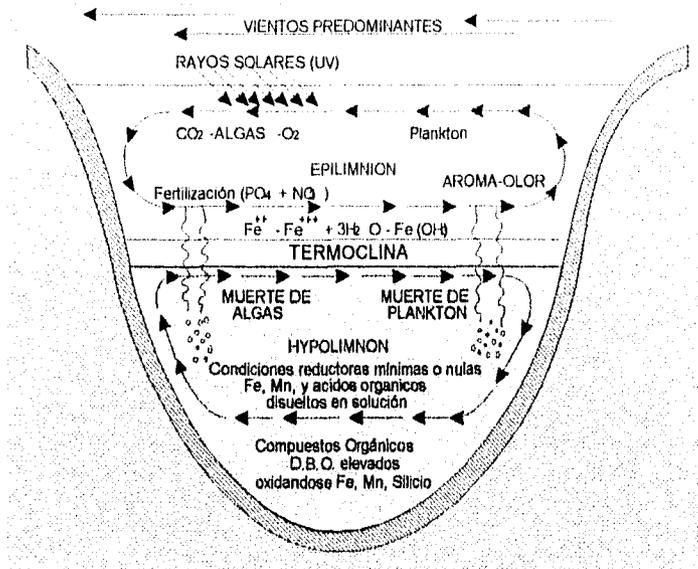


Fig. 5.7.. Actividad química y microbiológica característica de un lago eutrófico y sus efectos en la calidad del agua <sup>(243)</sup>.

En verano los lagos sufren cambios extremos si se encuentran contaminados, el aumento de nutrientes provoca un aumento en el crecimiento de las algas que causa un aumento de la concentración de oxígeno durante el día debida a la actividad fotosintética y una ausencia total del mismo durante las noches por la actividad heterotrofa. Durante la noche el único oxígeno que puede integrarse a las capas de agua es la proporcionada por la atmósfera en la interfase aire-agua, pero esta es una cantidad insignificante.

Durante los períodos de luz solar y actividad autotrófa, las capas superficiales de agua absorben toda la energía solar conteniendo la totalidad del oxígeno disuelto en la misma. Debido a que las líneas termoclínicas no permiten el intercambio de oxígeno entre las diferentes capas de agua, las capas inferiores ven reducida considerablemente su concentración de oxígeno llegando a eliminarse

completamente, dependiendo tanto de la cantidad de organismos heterótrofos como de la contaminación presente.

En la fig. 5.7. se esquematiza el ciclo de los contaminantes del agua y su relación con las especies biológicas presentes. A este ciclo se le conoce como Ciclo Biogeoquímico y es de particular importancia en él los elementos nutricionales como los fosfatos. Como se puede observar estos se conservan en el ciclo y no salen del sistema de forma natural, excepto en caso de que se "laven" con el desagüe natural.

Debido a que la existencia de las termoclinas provoca el empobrecimiento de oxígeno presente en el agua, se puede generalizar que durante el verano no pueden existir los organismos aerobios superiores (peces principalmente) en las capas superiores del lago y que en el invierno no pueden sobrevivir en la parte baja de la misma.

Si la contaminación es suficientemente extensa, los organismos "putrefactores" no pueden descomponer en su totalidad los materiales orgánicos subproductos de los microorganismos así como a los microorganismos muertos. La mayoría de los materiales orgánicos residuales forman sedimentos, que en el momento del intercambio de capas de agua, suben a la superficie contaminándola.

Este ciclo continua año tras año, incrementándose con la contaminación exógena. Desafortunadamente este problema sólo puede ser resuelto con la extracción física de los sedimentos y de la contaminación. Si este proceso no se detiene, la calidad del agua se sigue deteriorando, la actividad biológica aumenta,

los sedimentos aumentan día a día hasta tener un pantano o ciénaga sin ningún valor como recurso natural.

Este proceso de envejecimiento se denomina como Eutroficación, que deriva de la raíz griega "eutropho" que significa "bien nutrido". Este termino se refiere a que los lagos viejos presentan una mayor variedad de especies animales y vegetales.

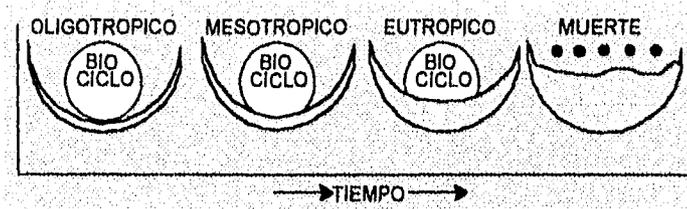


Fig. 5.8 Transición natural de un lago a través de varios estadios <sup>(25)</sup>.

La calidad de una extensión de agua dulce se clasifica de la siguiente manera (esquemático en la fig. 5.8.):

- a) Oligotropico: es un embalse joven, con bajo contenido de nutrientes, baja actividad biológica y fondo limpio.
- b) Mesotropico o de edad media: con cantidades moderadas de los tres parámetros anteriores.
- c) Eutropico o añoso: con cantidades elevadas de nutrientes, actividad biológica excesiva y grandes cantidades de sedimentos orgánicos.
- d) Extinto: la muerte del embalse se da por un exceso de sedimentación, no se tiene ninguna actividad biológica.

Este proceso dado en forma natural puede tomar miles de años en ocurrir, sin embargo las actividades humanas aceleran este proceso provocando el envejecimiento de un lago en cuestión de décadas. Este problema se ha visto en los estudios realizados en Los Grandes Lagos Americanos, la contaminación generada por las ciudades costeras, principalmente Chicago, obligo a que se creara una comisión mixta americana canadiense para eliminar las grandes concentraciones de polución presenten en el Lago Erie principalmente para poder mantener por algunas décadas mas la belleza de los mismos <sup>(90)</sup>.

Por otro lado tenemos que los detergentes presentan toxicidad para los peces en concentraciones que están en el rango de 1 a 100 ppm dependiendo tanto del surfactante que este presente en la formulación como de la especie de pez con la cual tenga contacto <sup>(7, 153, 273)</sup>. Otras especies acuáticas son más resistentes llegando a las bacterias que pueden sobrevivir en concentraciones de 10 a 1 000 ppm <sup>(191)</sup>.

## F. Características Polucionantes de Los Detergentes Sintéticos:

### 1. Principales Compuestos:

Debido a la extensa variedad de compuestos que se tienen en las formulaciones que presentan los detergentes comerciales a nivel doméstico e industrial se pueden dividir en dos grandes grupos sus componentes para su evaluación medioambiental: orgánicos e inorgánicos. Es importante esta diferenciación ya que se tienen diferentes efectos y forma de tratamiento para eliminarlas.

De los detergentes, la materia activa principal es el surfactante sintético, pudiéndose tener materiales biodegradables y no biodegradables, sin embargo

para el efecto al medio ambiente se tienen otros compuestos que lo afectan también aumentando las características polucionantes del surfactante.

En general podemos tener los siguientes compuestos:

TIPO	ORGÁNICO	INORGÁNICO
<b>ANIONICO</b>	15-20% Surfactante <1.5% Carbometilcelulosa 2-4% Estabilizante <0.2% Perfume. <1.0% Antiaglomerante	30-50% Tripolifosfato 10-15% Sulfato de sodio 5-10% Silicato de sodio 0-5% Perborato de sodio <1% Blanqueador óptico.
<b>NO IONICO</b>	6-10% Surfactante <1.5% Carbometilcelulosa <1% Blanqueador óptico <0.2% Perfume <1% Antiaglomerante	30-50% Tripolifosfato 0-10% Sulfato de sodio. 5-10% Silicato de sodio 0-20% Carbonato de sodio 0.5% Perborato de sodio
<b>NO CONTAMINANTE</b>	6-12% surfactante no ionico <1.5% Carbometilcelulosa <1% Blanqueador óptico <1% Antiaglomerante.	8-20% Silicato de sodio 20-70% Carbonato de sodio 0-45% Cloruro de sodio 0-25% Borato de sodio 0-15% Perborato de sodio 0-45% Sulfato de sodio

Tabla 5.1.. Formulaciones típicas de detergentes <sup>(304)</sup>.

## 2. Impactos por elementos:

Uno o más de las siguientes reacciones se producen inmediatamente después de adcionar detergentes sintéticos en el medio ambiente acuático:

- a. Los componentes químicos pueden reaccionar con otros iones o compuestos disueltos en el cuerpo de agua que lo recibe.

- b. Los componentes pueden ser tomados como alimentos estimulando la actividad biológica de los microorganismos presentes.
- c. Los componentes pueden quedar suspendidos en solución, aumentando la concentración de sustancias disueltas en el sistema.

Como se observa en la tabla anterior, los elementos que principalmente se descargan al medio ambiente son: carbón, nitrógeno, fósforo y azufre. Cada uno de estos elementos pueden existir en diversas formas y en cada caso las transformaciones potenciales pueden ocurrir en cualquier etapa del ciclo natural del elemento.

El medio ambiente se compone de varios ciclos naturales biológicos y químicos y la calidad del mismo se determina por la eficacia de cada ciclo. Todos los ciclos se interrelacionan, son interdependientes unos de otros ya que los desechos y productos de alguno de los ciclos son los iniciadores de otros. Por lo tanto, la calidad del medio ambiente se establece al controlar las cantidades de sustancias que se manejan en cada ciclo y manteniendo el balance entre los mismos.

Para evaluar la calidad del agua se creó el Índice de Calidad del Agua <sup>(35)</sup>. Este evalúa en rangos de calidad que van desde 0 (de mala calidad) a 100 (de excelente calidad) y se basa en diversos parámetros de calidad del agua, como son:

- Oxígeno disuelto.
- Demanda biológica de oxígeno.
- Densidad de coliformes fecales.
- pH.

Nitratos.

Fosfatos.

Temperatura.

Sólidos disueltos totales.

El desarrollo de dicho Índice de Calidad del Agua serviría para la clasificación casi inmediata de la calidad de la misma, similar a la clasificación de la escala de Richter para los temblores de tierra. Sin embargo, para poder medir el impacto polucionante de los detergentes o de cualquier otra sustancia en el medio ambiente se debe determinar el efecto preciso que conlleva la descarga del polucionante en los ciclos ecológicos presentes y como afectan a su balance. En general, se puede decir que se tienen ciertos niveles de los diferentes contaminantes "tolerables" por el sistema, por lo que deben de ser estudiados en profundidad ya que el mismo balance ecológico encubre la modificación realizada al mismo.

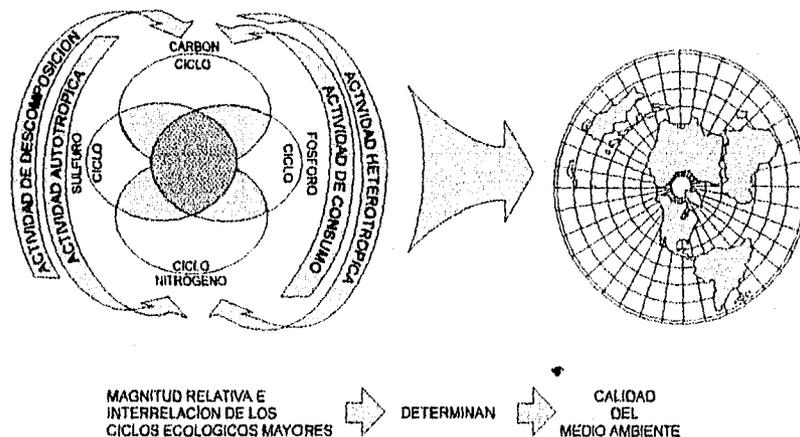


Fig. 5.9.. Representación esquemática de las interacciones existentes entre los diversos ciclos de la naturaleza y sus efectos en la calidad del medio ambiente mundial<sup>(243)</sup>.

A continuación se hará mención a la información obtenida relacionada al impacto que tiene cada uno de los componentes inorgánicos que componen la mezcla de un detergente en el sistema acuático, los más estudiados son el Carbono, el Nitrógeno, Fósforo y el Azufre.

2.1. CARBONO: La aportación potencial del carbono debida a los detergentes sintéticos es significativa. Debido a su naturaleza neutral en la tabla periódica de los elementos existe en varias formas naturales tanto orgánicas como inorgánicas. Puede encontrarse en fase sólida, líquida o gaseosa, ya sea puro o combinado y puede circular tanto en los ciclos orgánicos e inorgánico, tanto de materia viva o no viva. Es el elemento más ubicuo dentro del protoplasma celular debido a que es la columna vertebral de las proteínas, carbohidratos y lípidos. Es el principal "alimento" de los seres microscópicos.

La corteza terrestre contiene varias formas de carbono inorgánico proveniente principalmente de la degradación del carbono inorgánico. El 2% de la atmósfera terrestre corresponde al dióxido de carbono, este es la fuente de carbono inorgánico para los organismos autotrófos y corresponde a un subproducto de la respiración de los organismos heterotrófos.

El delicado balance del carbono atmosférico se ha visto afectado por el consumo desmedido de energía obtenida a partir de los combustibles fósiles (petróleo, carbón mineral, hulla) por los países "civilizados".

Hasta este momento, el incremento de dióxido de carbono producido por el consumo de energía así como por el incremento de la población mundial, está

siendo absorbido por los océanos del mundo. En el momento en que la capacidad de absorción sea excedida la concentración de bióxido de carbono en la atmósfera se incrementará provocando el aumento del conocido "efecto invernadero", el cual afectaría totalmente la formación del clima del planeta <sup>(295)</sup>.

Por otro lado, si la producción de bióxido de carbono puede ser absorbida en los diferentes niveles del ciclo del carbón, el efecto del calentamiento del planeta podría ser postergado indefinidamente. El carbono cambiaría de una posición en la biosfera a otra totalmente diferente equilibrándose y modificándose su probabilidad de sobrecalentamiento.

Los detergentes contienen carbono en forma orgánica dada por el surfactante principalmente, este entra en el ciclo como carbono orgánico si no es tratado convenientemente en las plantas de tratamiento. Otras fuentes de carbono orgánico son los solubilizantes, solventes, antihumectantes y aún de los pigmentos y perfumes añadidos. Se han detectado moléculas de ABS en aguas del manto frático para uso potable, por lo que el Servicio Público de la Salud de Estados Unidos <sup>(241)</sup> puso como límite de ABS presente en agua municipal para beber un máximo de 0.5 mg/l.

El carbono inorgánico entra en el ciclo principalmente como parte de los coadyuvantes de la formulación. Al pasar por la planta de tratamiento, el Carbono inorgánico solo es utilizado en forma mínima por los microorganismos autotrofos pasando casi intactos, por lo que al salir de la planta de tratamiento se adicionan como sustratos para los microorganismos autotrofos propiciando su crecimiento.

A partir de los estudios realizados por Thatcher et al. <sup>(300)</sup> y de Pickerin <sup>(232)</sup> se observó que a pesar de que los compuestos lineales de los alquilbencensulfonatos (LAS) son de más fácil degradación y por lo tanto son los de más uso actualmente, en realidad presentan un doble efecto letal para las formas de vida acuáticas superiores:

- a. Los primeros metabolitos presentes en la biodegradación primaria son tóxicos para algunos tipos de peces.
- b. Después de ser biodegradados el LAS en las aguas que lo reciben, la disminución del nivel de oxígeno libre disuelto es tan grande que pone en peligro la supervivencia de las formas de vida acuática superiores.

**2.2. NITRÓGENO:** El elemento nitrógeno existe en varias formas químicas en todas las fases de la biosfera. Existe como gas en la atmósfera, como sales inorgánicas de sus diferentes estados de oxidación, desde el compuesto más reducido de amonio ( $\text{NH}_3^+$ ) hasta el más oxidado de nitrato ( $\text{NO}_3^-$ ). Todos los estados de oxidación juegan roles importantes en el intercambio de forma orgánica a inorgánica y viceversa.

Los surfactantes catiónicos son la única fuente de nitrógeno en los detergentes domésticos y solo se utilizan como bactericidas para un número muy reducido de usos domésticos u hospitalarios. Sin embargo, se emplea en productos relacionados al lavado de ropa, ya que son utilizados como suavizantes de telas.

La contribución de estos productos al ciclo del nitrógeno es mínima usualmente, pero como no solamente no son biodegradables sino que presentan la

característica de ser letales para las bacterias, son de gran interés la llegar en grandes cantidades a las plantas de tratamiento de aguas residuales.

Un compuesto menor que se esta empleando es un estabilizados y controlador de espuma que presenta un grupo amido en su estructura. Como se emplea en concentraciones muy pequeñas no se ha estudiado perfectamente se papel activo en el ciclo del nitrógeno.

**2.3. FÓSFORO:** Generalmente se encuentra como ion fosfato en la naturaleza. Los fosfatos orgánicos son excretados en los desechos humanos y contribuyen en una alta concentración a las aguas negras municipales; estos compuestos son fácilmente hidrolizados por las bacterias presentes hasta pasar a fosfatos inorgánicos<sup>(289)</sup>.

Los polifosfatos (polímeros de fosfatos inorgánicos) son uno de los ingredientes mayores de los detergentes, son fácilmente hidrolizados en solución acuosa a moléculas simples de fosfatos inorgánicos. Los fosfatos son tomados por los sistemas vivos, desde las bacterias hasta los organismos superiores, para formarlos en esterés de adenosin trifosfato (ATP) que sirven como fuentes de alta energía celular usada para el metabolismo del organismo.

En el medio acuático, los fosfatos pueden reaccionar con iones metálicos como el calcio, hierro, manganeso o aluminio para formar complejos solubles o precipitados que se depositan en el sedimento del lecho del efluente.

Los detergentes adicionan una gran cantidad de fosfatos al medio ambiente y solo se pueden eliminar por medio de un tratamiento adecuado. Se ha observado que son los nutrientes limitantes para el crecimiento desmedido de las algas en los ríos a los que se adicionan. Sin embargo, los expertos no se han puesto de acuerdo con esta afirmación, y la controversia mundial se basa en la prohibición del uso de dichos compuestos como parte de la formulación de los detergentes de uso doméstico <sup>(8)</sup>.

La industria ha estudiado varias sustancias como remplazo de los fosfatos como coadyuvantes de lavado pero como se vio en el capítulo 3 tienen otras desventajas. Se ha estimado que las fuentes de fósforo generadas por los humanos están en el rango del 57 al 74%, que van a incrementar las fuentes naturales de fósforo del ambiente. De esta cantidad el 44 al 56% se originan en las aguas domésticas <sup>(94)</sup>.

**2.4. AZUFRE:** La mayor contribución de este elemento se origina en los grupos funcionales sulfato y sulfonato de la molécula de los surfactantes aniónicos así como de los coadyuvantes adicionados. Solo una pequeña parte de esta fracción es eliminada en los tanques de tratamiento de aguas residuales.

No se han estudiado seriamente las implicaciones que para el medio ambiente resulten de su adición al mismo.

**2.5. OTROS COMPONENTES:** Generalmente presentes como coadyuvantes, estos compuestos inorgánicos presentan reacciones adversas ya que no son eliminados en los tanques de tratamiento y pasan a los depósitos de

agua tendiendo a la acumulación, incrementando el nivel existente de sólidos disueltos en el agua.

De continuar con esta tendencia, dentro de poco la concentración de los diversos elementos en el agua potable aumentarán considerablemente, tornando el agua de consumo en inconsumible.

Los iones orgánicos mas usuales son los cloruros, silicatos, boratos, perboratos y los metales pesados:

2.5.1. Cloruros: imparten un sabor característico al agua y se emplean como indicadores de polución en los sistemas de agua fresca. Su concentración esta limitada a 250 mg/l en fuentes para uso doméstico <sup>(242)</sup>.

2.5.2. Silicatos: sirven como macronutrientes para las algas diatomáceas ya que lo utilizan para elaboración de su exoesqueleto.

2.5.3. Boratos y perboratos: son utilizados en pequeñas cantidades por la algas verdes y las plantas. En grandes concentraciones son tóxicas, por lo que cualquier adición que exceda la concentración de uso es perjudicial para el entorno.

2.5.4. Sodio: es de gran importancia ya que existen personas a las que les es perjudicial un exceso de sodio en el agua. Aumenta la capacidad de las algas para asimilar los fosfatos y así incrementar su crecimiento.

## VI. BIODEGRADACIÓN DE DETERGENTES.

## VI. BIODEGRADACIÓN DE DETERGENTES.

El problema de las aguas negras residuales de origen ciudadano se vuelve de mayor actualidad debido al incremento de la población. De acuerdo con el manual de evaluación y manejo de sustancias tóxicas presentes en las aguas residuales, se encuentran enlistadas 126 sustancias tóxicas prioritarias divididas en 11 grupos:

- I. Plaguicidas (18 tóxicos);
- II. Bifenilos y trifenilos policlorados (7 tóxicos);
- III. Metales pesados y compuestos inorgánicos (15 tóxicos);
- IV. Compuestos alifáticos y halogenados (26 tóxicos);
- V. Éteres (7 tóxicos);
- VI. Esteres de ácidos alifáticos (6 tóxicos);
- VII. Aromáticos monocíclicos (12 tóxicos);
- VIII. Fenoles (11 tóxicos);
- IX. Aromáticos policíclicos (20 tóxicos);
- X. Nitrosaminas (3 tóxicos);
- XI. Otros (acrilonitrilo, acroleína e isofurona).

Como se puede observar los detergentes no se encuentran mencionados ya que se consideran como poco tóxicos <sup>(72)</sup>. Los surfactantes son un factor pequeño en la totalidad del problema ecológico que se presenta en las descargas de aguas negras, pero es uno que es potencialmente fácil de corregir. Es conocido que los alquibencen sulfonatos (ABS) "duros" que aparecen como los mayores componentes de los detergentes no biodegradables, en aguas negras son resistentes al ataque bacterial.

Los estudios de biodegradación de surfactantes se realizan con dos motivaciones principales, por un lado es encontrar nuevos surfactantes con labilidad biológica a corto plazo y por otra que tengan una equivalencia o mejora económica y/o de proceso que los anteriores.

El uso de surfactantes biodegradables en los detergentes de uso doméstico puede disminuir los problemas causados por los mismos en las aguas negras. La determinación de modificar las formulaciones cambiando los surfactantes no biodegradables por los nuevos productos biodegradables presenta muchas posibilidades de éxito debido al antecedente histórico que representa el apoyo de la Legislación Alemana al ser la primera legislación que tomó en cuenta la biodegradabilidad de los detergentes en relación al problema de la polución de las aguas libres del planeta en el mundo para su uso masivo en ese país. Esta legislación salió a la luz en 1961 <sup>(118)</sup> con leyes que concernían no solamente al control de los surfactantes <sup>(13)</sup>, sino también relacionadas a los problemas de polución no generada por los mismos <sup>(63)</sup>. A partir de entonces se han creado diversas legislaciones relacionadas al medio ambiente, la polución presente en el mismo y el control de la polución principalmente en la Comunidad Europea, Estados Unidos y Australia.

Sin embargo, no es fácil predecir que características tendrán los nuevos productos dentro de las aguas residuales al ser usados de manera masiva, ya que no es posible extrapolar los resultados del laboratorio a la realidad de la interacción de los nuevos componentes con el medio ambiente.

Los problemas que presentan los detergentes en las aguas residuales se incrementan proporcionalmente al incremento de la población. Dentro de los componentes presentes en las aguas negras, los surfactantes son solo una pequeña fracción de la concentración total de contaminantes pero es uno de las componentes de mas fácil control potencial.

Dadas las características de biodegradación de los surfactantes es importante conocer los diferentes factores que influyen en este proceso por lo que se estudiarán por separado para dar una mejor panorámica de estudio. Para iniciar se tiene que definir algunos de los conceptos de uso genérico y que generalmente se da por sentado su significado.

#### A. Definiciones <sup>(300)</sup>.

1. Biodegradación: se define como la destrucción de compuestos químicos orgánicos e inorgánicos debida a la acción biológica de microorganismos vivos, principalmente bacterias y algas.

En 1967 se definieron los siguientes terminos en adición al anterior, por el subcomite de Biodegradabilidad de la WPCF <sup>(325)</sup>.

2. Biodegradación primaria: se define como la biodegradación de la molécula diana por la oxidación o reducción mediante la acción de los microorganismos, de manera tal que las características y propiedades de la misma se alteren lo suficiente para no dar respuesta positiva a los procedimientos analíticos específicos para su detección.

Este concepto no es totalmente confiable ya que se basa en un criterio analítico o funcional. Sin embargo, a nivel práctico es el más empleado ya que puede relacionarse con la formación de espuma en los vertederos o con el análisis del azul de metileno.

3. **Biodegradación final:** se denomina así a la conversión completa de la molécula diana en subproductos básicos como bióxido de carbono, agua y sales inorgánicas así como metabolitos propios de los microorganismos oxidantes o reductores. Este último estadio también se conoce como "mineralización".

4. **Biodegradación ambientalmente aceptable:** se define como la susceptibilidad de una sustancia a la biodegradación dando como resultado subproductos que sean totalmente aceptables para el medio ambiente que lo recibe finalmente. Este medio ambiente incluye el aire, la tierra y el agua, siendo de interés principal la factibilidad de tratamiento de las aguas residuales domésticas e industriales.

5. **Biodegradación inmediata:** este término es aceptado por los expertos de la OECD <sup>(117)</sup> y es definido como la biodegradación que se inicia al momento del contacto de la cepa bacteriana presente en el ambiente con la molécula diana. Debe distinguirse de la:

6. **Biodegradación inherente:** en donde la cepa bacteriana nativa debe pasar por un proceso de adaptación a la molécula diana antes de iniciar la metabolización de la misma.

## B. Biodegradación aplicable al control de surfactantes presentes en aguas residuales.

Para el estudio sistemático del control de la biodegradación tanto a nivel de laboratorio como en las plantas de tratamiento de aguas residuales, se deben definir los principales factores que intervienen en ella como son:

1. Sistemas bacterianos mixtos.
2. Sistemas de alimentos mixtos.
3. Temperatura.
4. Concentración de oxígeno.
5. Susceptibilidad de tratamiento y remoción.
6. Remoción química de los surfactantes.

1 Sistema bacterianos mixtos: Las bacterias son microorganismos simples por lo que son capaces de adaptarse fácilmente a cualquier sustrato alimenticio por lo que pueden ser usadas para degradar una extensa cantidad de compuestos químicos. Esta habilidad bioquímica nos induce a inferir que si un sustrato dado es resistente al ataque de una cepa bacteriana específica, es posible que pueda ser degradado por otra cepa diferente. Más aún, los metabolitos desechados por la primera cepa bacteriana son factibles de ser usados como sustrato de una segunda cepa.

Los diferentes microorganismos se suplementan unos a otros presentándose a través de los diversos estadios de los ciclos de carbón, nitrógeno y oxígeno, haciendo posible la continuación de la vida en la tierra.

Los estudios de biodegradación son complejos ya que se requiere el uso de cultivos bacterianos mixtos para obtener información aplicable a la predicción del comportamiento de la degradación del surfactante en su ambiente natural. En caso de utilizar cepas puras se obtienen datos de los diferentes etapas de reacción química que involucran las reacciones de biodegradación específica.

2. **Sistemas de alimentos mixtos:** Debido a la capacidad de adaptación de las bacterias a su entorno, el desarrollo de la habilidad de una misma cepa para utilizar un alimento depende de su historia pasada inmediata anterior. En ciertas circunstancias los surfactantes pueden ser metabolizados en primer lugar, en otras pueden quedar sin atacar hasta que se agoten los demás substratos presentes. Esta remoción secuencial de los diversos substratos se denomina "DIAUXIE".

Otro fenómeno que puede ocurrir es el de la cooxidación o "co-metabolismo", en donde un compuesto resistente a una cepa específica puede ser metabolizado fácilmente al ser expuesto junto con otro compuesto que sea lábil a los microorganismos.

Debido a las características anteriores los estudios de biodegradación de productos presentes en una muestra de aguas de desecho domésticas son muy complejas ya que se requiere de una identificación de los principales compuestos. Aún así se puede observar los cambios en los tiempos de degradación de las moléculas del surfactante debidas a la composición y concentración de las aguas residuales. El uso de diferentes cepas puede modificar el orden de oxidación de los diversos componentes dependiendo del tiempo de adaptación de los diferentes microorganismos presentes.

3. Temperatura: Las bacterias crecen dentro de un amplio rango de temperaturas. En un sistema bacterial mixto abierto que se mantiene a temperatura ambiente, las especies predominantes de microorganismos son aquellas a las que la temperatura les son propicias para su desarrollo. Si la temperatura se modifica, la distribución de las especies presentes se modifican a la vez, aumentando el crecimiento de las cepas en quienes la temperatura dominante las beneficia <sup>(226)</sup>.

Sin embargo, si el cambio de temperatura es gradual la adaptación de las especies bacterianas presentes provoca una modificación mínima en el número de microorganismos o en la acción de los mismos dentro del cultivo. En caso contrario podemos observar que un cambio brusco de la temperatura produce un choque vital para los microorganismos de tal magnitud que la degradación de los componentes se bloquea totalmente hasta que se establezca nuevamente la población microbiana.

4. Concentración de oxígeno: La energía que requieren algunos microorganismos para vivir la obtienen de la oxidación de los sustratos de los que se alimentan. Para este mecanismo los microorganismos aerobios obtienen el oxígeno directamente del medio que lo rodea, en cambio los anaerobios no necesitan oxígeno para oxidarlos, emplean agentes oxidantes presentes en el medio diferentes al oxígeno.

Para los estudios de biodegradación de detergentes es necesario conocer que tipo de tratamiento se realizara ya que pueden emplearse tanto procedimientos aerobios como anaerobios, ya que ambos sistemas se encuentran en la naturaleza de manera natural y pueden obtenerse en los tanques de tratamiento.

5. Posibilidad de tratamiento y remoción: Se puede generalizar que en un momento dado todos los compuestos orgánicos son biodegradables. Obviamente, a partir de este concepto, se tienen diferentes grados de biodegradación, ya que un compuesto puede ser completamente biodegradable pero con un tiempo de degradación demasiado largo produciendo un tratamiento ineficiente en el tiempo de residencia del total del agua en el tanque de tratamiento.

El concepto de "tratabilidad" de un compuesto corresponde a la factibilidad de procesarlo mediante un tratamiento específico de biodegradación de aguas residuales y que sea removido satisfactoriamente dentro de las condiciones operacionales dadas, mediante degradación biológica o algún otro método físicoquímico.

Un criterio relacionado es el "índice de biodegradabilidad" que compara la remoción del surfactante con otros componentes presentes durante el proceso. El método físico más empleado para la remoción de los surfactantes es el de *absorción* en partículas sólidas porosas adicionadas al tanque de tratamiento, las moléculas del surfactante se adhieren a la superficie de las partículas adicionadas (carbón activado). En relación cercana se tiene la tendencia del surfactante a concentrarse en la interfase líquido - aire o *adsorción*. En una solución diluida de surfactante, la espuma contiene una alta concentración del mismo.

6. Remoción química: La remoción de surfactantes de los sistemas biológicos a partir de reacciones químicas de origen no biológico es posible pero no es un proceso importante actualmente. Para este fin se pueden usar reacciones que precipiten, hidrolicen u oxiden a las moléculas de los surfactantes.

La *precipitación* se emplea solamente para los jabones usando iones calcio y magnesio.

La *hidrólisis* es efectiva para destruir los alquilsulfatos, sin embargo, se requieren condiciones muy severas de tratamiento por lo que no es factible usarlo en procesos biológicos.

De la misma forma, la *oxidación* destruye los surfactantes, pero las condiciones de uso, temperatura y reactivos empleados son muy drásticos.

La remoción química se emplea generalmente en procesos industriales de reintegración o reuso de aguas residuales grises (no llevan materia orgánica fecal), como en las lavanderías, para destruir los surfactantes no biodegradables.

### C. Métodos de prueba de biodegradación y sus limitaciones:

1. **Sistemas Típicos:** El estudio de la biodegradación de los surfactantes, teóricamente, es muy simple. El surfactante es expuesto al ataque bacteriano y consecuentemente se observa la degradación del mismo.

En contraste, la expresión cuantitativa de estas observaciones presenta serias dificultades debidas a la cantidad de variables presentes, los diversos métodos de prueba y el infinito número de metabolitos y subproductos producidos.

Degens PN Jr <sup>(65)</sup> en 1950 desarrolló el primer método de biodegradación al adicionar una pequeña cantidad de detergente "Teepol" a un acuario completo, con presencia de diversas especies acuáticas. Luego analizó muestras de agua a intervalos regulares. A partir del reporte de esta experiencia se observó el aumento en la investigación de los métodos de análisis de biodegradación.

Una de las razones para realizar estudios de biodegradación de los surfactantes es apreciar las consecuencias ambientales del amplio uso de los mismos. Estos estudios sugieren las condiciones en que se encuentran las bacterias al ser expuestas a los surfactantes, las relaciones con los diferentes constituyentes que existen en el medio ambiente así como en las tinas de tratamiento de aguas negras. También nos indican que metabolitos se pueden encontrar, el tiempo de degradación requerido así como los criterios que se deben de tener en cuenta para evaluar el impacto tóxico de la espuma y subproductos en el medio ambiente.

En resumen podemos decir que las variables a evaluar en los experimentos de biodegradación de surfactantes son: <sup>(168)</sup>

a) Microorganismos:

1. Tipo de cepa.
2. Naturaleza.
3. Aclimatación.
4. Concentración.

b) Alimento:

1. Naturaleza.
2. Concentración.

c) Agentes bacteriostáticos o tóxicos.

d) Oxígeno presente.

e) Temperatura.

f) Concentración de surfactante.

g) Método analítico empleado.

Dependiendo de estas variables, y de otras que no han sido reconocidas, los resultados de las pruebas de biodegradación pueden variar. Esto es una característica común a los estudios de degradación que emplean microorganismos para su desarrollo, y puede variar tanto en las pruebas de laboratorio como en los tanques de tratamiento. Esto provoca que los tiempos de degradación de un compuesto se vean modificados de un día a otro, o aún más, entre las diferentes muestras tomadas durante el mismo día.

En la naturaleza tenemos que en los ríos, lagos, represas y mares, la cantidad de variables aumentan proporcionalmente al volumen de agua y a la cantidad de organismos presentes, por lo que no es factible extrapolar los resultados obtenidos en el laboratorio.

Todas las consideraciones anteriores denotan que es casi imposible expresar con un número la biodegradabilidad de una sustancia dada, por lo que los industriales fabricantes de detergentes sólo pueden indicar, por medio de porcentajes, la biodegradabilidad promedio de sus productos. En términos legales esto es observado como un límite mínimo de degradación que es del 80% en Alemania <sup>(118)</sup> y del 90% por los fabricantes americanos <sup>(278)</sup>.

## 2. Resultados Típicos:

Los resultados típicos de un experimento de biodegradación tienen como ejemplo el siguiente en el que se empleó la técnica de Hammerton C. <sup>(133)</sup>. Se estudió la biodegradación de 3 surfactantes de diversas marcas diluyéndolas en 1 Lt de agua de río y dejándolas en reposo durante varias semanas. La solución

resultante se analizó en intervalos predeterminados usando el método del azul de metileno. Se observó que el primero de los surfactantes analizados era muy resistente a la biodegradación (ABS C<sub>15</sub>), el segundo fue atacado rápidamente por las bacterias presentes ( $\alpha$ -dodeceno ABS) y el tercero presentó un comportamiento intermedio (tetrapopilen ABS). Con los resultados obtenidos se puede inferir que:

a) Existe un periodo de inducción durante el cuál se presenta un pequeño cambio en la concentración del surfactante. Este periodo es el de aclimatación y aquí se realizan los procesos de:

\*) síntesis de las enzimas necesarias para iniciar la degradación del surfactante.

\*\*\*) crecimiento logarítmico de la cepa bacteriana capaz de metabolizar el surfactante.

b) Los surfactantes lineales presentan una biodegradación mucho más rápida que los surfactantes de estructura ramificada.

c) Al finalizar la degradación del surfactante de más fácil oxidación, los microorganismos optan por metabolizar en segundo lugar el compuesto de más fácil oxidación, produciéndose un segundo periodo de adaptación <sup>(220, 229)</sup>.

### 3. Degradación Completa o Final:

Con estas observaciones podemos decir que el C<sub>12</sub>LAS es totalmente biodegradable y que el TBS tiene un 70% de degradación en ese mismo periodo. Esta referencia es con respecto al primer producto degradado, así como que el LAS es degradado totalmente con respecto al análisis del azul de metileno.

#### 4. Surfactantes Mixtos:

Como hemos apuntado en capítulos anteriores, los surfactantes comerciales no son entidades químicas puras por lo que podemos observar en las curvas de degradación que un alto porcentaje del producto no es factible de degradación, de donde podemos inferir que parte de la concentración original del surfactante corresponde a impurezas no biodegradables.

En los experimentos de biodegradación de detergentes se debe de tomar en cuenta las mezclas inherentes al producto y la concentración de cada compuesto relacionado.

#### 5. Variables:

Las modificaciones posibles en las variables del proceso pueden alterar los resultados finales de los análisis de biodegradación de diversas maneras:

5.1. Concentración y tipo de bacterias: Las bacterias responsables de la biodegradación son generalmente aquellas presentes en el suelo de las riveras de los ríos, lagos o canales de paso de las aguas negras. Se pueden esperar resultados similares en la mayoría de las muestras de agua de río, dependiendo de la posición geográfica de la muestra obtenida. Las circunstancias químicas y físicas de la toma de muestras se encuentran mucho menos involucradas en los resultados.

El agua de río presenta una concentración de bacterias que van de los miles a los miles de millones de colonias, sin embargo, en los límites dados en un experimento la concentración no modifica el resultado final.

En el caso de los tanques de tratamiento de aguas negras las concentraciones bacterianas se elevan millones de veces por lo que la extrapolación del tiempo experimental de biodegradación se aumenta proporcionalmente, finalizando los procesos en lapsos considerablemente menores (horas en lugar de días).

5.2. Aclimatación bacteriana: Los efectos de la aclimatación bacteriana se demuestran con una segunda adición del surfactante en estudio justo después de la total degradación de la cantidad original del mismo. Se puede observar que el surfactante de la segunda adición es rápidamente degradada sin pasar por un período de inducción<sup>(19)</sup>. En conclusión, si la muestra de agua de río usada para el experimento contiene una cepa bacteriana que previamente haya sido expuesta al surfactante en estudio, los resultados se verían modificadas de manera espectacular.

5.3. Tipo de alimento: En el experimento de biodegradación señalado anteriormente se tenía como única fuente de alimentación para las bacterias los surfactantes en estudio. Si se adicionará otro tipo de alimento como proteínas, carbohidratos o compuestos oxidables, junto con el surfactante, se observaría que las bacterias utilizarían el alimento de más fácil asimilación antes de degradar el o los surfactantes en estudio.

Si extrapolamos esta aseveración a las tinajas de tratamiento de agua de desecho, se observaría que los compuestos son degradados en forma de cascada, comenzando con los de más fácil degradación. Para evaluar con veracidad la

degradación de un compuesto dado, es necesario adicionar una cantidad específica de alimentos diferentes a las tinas de experimentación.

5.4. Condiciones especiales de la muestra de agua: Si el agua de experimentación presenta materiales tóxicos provenientes de los tratamientos agrícolas (fertilizantes, herbicidas, etc.) o de los desechos industriales, el ataque bacterial al surfactante se vería reducido de manera considerable. En este nivel también intervienen la presencia de bacteriofagos así como las condiciones adversas (concentración de oxígeno y temperatura) en el estudio que pueden modificar el crecimiento de las bacterias, y por consiguiente, el efecto de degradación del compuesto.

5.5. Toxicidad del detergente: En algunos casos el mismo surfactante es tóxico, *per se*, para la vida, desarrollo y crecimiento de las bacterias presentes en la muestra. La adición del surfactante modifica el tiempo de aclimatación de las bacterias así como la velocidad de degradación. En el caso de los tanques de tratamiento, en donde las concentraciones bacterianas son inmensas, las bacterias aceptan un límite mayor de la concentración del surfactante tóxico adicionado.

5.6. Metodología analítica: Finalmente los resultados varían dependiendo del método analítico escogido para seguir el curso de la degradación. En el experimento señalado anteriormente se decidió a usar el método de sustancias activas al azul de metileno en intervalos de tiempo predeterminadas, pero pudieron usarse otros parámetros como son el contenido de carbono orgánico, o la cantidad de bióxido de carbono formado, o el potencial de formación de espuma.

#### D. Métodos analíticos:

Los métodos analíticos empleados para el seguimiento de los estudios de biodegradación de los detergentes presentan dos tipos diferentes de enfoques para realizar las mediciones, que pueden realizarse por medio de:

1. Parámetros fisicoquímicos y/o por;
2. Parámetros metabólicos.

para realizar las determinaciones de las diferentes características a analizar se deben de tomar diversas precauciones tanto en la toma de la muestra como en el manejo de la misma. Es importante mencionar que al analizar un trabajo publicado en la literatura mundial se debe de tener conciencia del tipo de análisis empleado por el Investigador, así como dejar en claro la forma de obtención de la muestra, el tiempo que paso entre la toma de la muestra y el análisis, la adición de conservadores, y por último que tipo de precauciones se tomaron para el análisis del surfactante.

##### 1. Limitaciones y precauciones <sup>(300)</sup>:

En teoría se pueden tener una gran variedad de métodos para estimar el progreso y extensión de la biodegradación del sistema bajo observación. Podemos usar las diversas características físicas o químicas de la molécula en estudio, o la medición de los metabolitos intermedios de la degradación o empleando las funciones relacionadas al metabolismo de los microorganismos involucrados como es el caso de la DBO y la producción de Bióxido de carbono.

Cada una de las pruebas tienen ventajas y ninguna esta libre de limitaciones, la mayor limitación presente es que no es posible el uso de las técnicas de análisis empleadas en la elaboración de los detergentes ya que las concentraciones que se

tienen en las pruebas de biodegradación son insignificantes y quedan fuera del rango de uso de las mismas.

1.1. Muestras representativas: al emprender una investigación de biodegradación de surfactantes se debe de tomar en cuenta que, en concentraciones bajas (0.1 a 10 ppm), estos tienden a concentrarse o adsorberse en las interfases. La espuma consiste casi completamente de interfases agua-aire y si esta presente en la muestra, contiene la mayor concentración del surfactante. En una muestra para analizar los surfactantes en los límites en que se encuentran en los estudios de biodegradación, la formación de espuma elimina casi en su totalidad el contenido del mismo de la fase líquida. Es necesario manejarla de forma efectiva para evitar la formación de espuma.

Se presenta además adsorción del surfactante a las paredes de los vasos, pipetas, celdas ópticas y en general en todo el equipo de vidrio que se emplea, esto causa disminución de la concentración o contaminación cruzada en las soluciones diluidas. Para minimizar este problema se puede utilizar soluciones 0.01 M de hidrofosfito de potasio ( $\text{KH}_2\text{PO}_4$ )<sup>(330)</sup> como solución de trabajo así como para realizar la limpieza del material usado, otra opción es la de recubrir con silicona repelente al agua la totalidad de las superficies de vidrio que se van a emplear<sup>(93, 282)</sup>.

1.2. Conservación de las muestras: en algunos casos no es posible analizar inmediatamente después de la toma de las muestras de los experimentos de biodegradación así como las muestras de aguas de desagüe o de ríos y lagos en estudio, por lo que se deben de minimizar los cambios en las muestras durante el almacenamiento.

Generalmente se emplean conservadores químicos, se han realizado diversos estudios tanto en muestras de desagüe <sup>(175)</sup> como en muestras de agua del medio ambiente <sup>(22, 186, 195, 326)</sup>. La acidulación es el método más sencillo de usar, sin embargo, es necesario refrigerar las muestras. El uso de 60 a 80 ppm de cloruro de mercurio se ha reportado como el mejor método de conservación ya que permite el almacenaje de las muestras hasta por dos semanas <sup>(137)</sup>, sin embargo se requieren de niveles de hasta 900 ppm para conservar muestras recogidas directamente de la toma del desagüe <sup>(136)</sup>.

Debido al uso de cloroformo en el análisis de sustancias activas al azul de metileno, este puede ser usado en cantidades tales como 2000 a 4000 ppm y conservadas en refrigeración a 4 - 10 °C permitiendo una duración de dos semanas en almacenamiento <sup>(93)</sup>.

Se ha usado también formaldehído en concentraciones que van desde 1% hasta el 40% <sup>(40, 164, 300)</sup>. Los estudios realizados indican que es efectivo debido a que elimina las bacterias presentes sin cambiar significativamente las propiedades físicas o químicas de la muestra <sup>(197, 205)</sup>.

Las bajas temperaturas son la opción a la conservación química. Los estudios realizados han demostrado que a temperaturas de 1 °C, la demanda química de oxígeno, la demanda biológica de oxígeno, el oxígeno disuelto, el pH y los sólidos suspendidos se mantienen sin cambio al menos por seis días <sup>(175, 268, 269)</sup>.

Como podemos observar no existe una forma de conservación aplicable universalmente, es necesario que se tome muy en cuenta que cada método de análisis reportado en la literatura es diferente por lo que debe de tenerse todas las precauciones necesarias para que el experimento sea representativo.

1.3. Preconcentración y prepurificación: Debido a las concentraciones que encontramos en las muestras en estudio es necesario procesarlas para concentrarlas y poder así usar un método analítico con un límite de detección mayor. Por otro lado se tienen naturalmente interferencias con otras sustancias por lo que es necesario purificarlas para eliminarlas. Como estos métodos son operaciones usuales en los laboratorios solo las nombraremos:

- a) Evaporación - destilación.
- b) Liofilización.
- c) Filtración: se debe tener cuidado al usar este método por la adsorción que presenta el surfactante en los filtros, membranas y/o partículas; así como por la contaminación de ciertos surfactantes presentes en algunos filtros del tipo Millipore.
- d) Congelado.
- e) Extracción: se emplea en varios métodos analíticos como SAAM.
- f) Adsorción e intercambio iónico: se emplean para muestras recolectadas en aguas de ríos y lagos ya que puede concentrar el surfactante a partir de una muestra de varios litros.
- g) Fraccionamiento de espuma: se utiliza la propiedad de adsorción del surfactante en las interfases, en una columna se coloca la muestra y se bombea aire o gas desde el extremo inferior a través del líquido, la espuma formada es removida conforme se acumula hasta eliminarla

completamente, por este método podemos estar casi seguros de que la muestra esta exhausta de surfactante <sup>(332, 333)</sup>.

h) Separación sin burbujas o "ausbdasen": es una simple y elegante forma de evitar los inconvenientes del método anterior sin excluirlo totalmente. Se utiliza el mismo equipo que en la separación de espuma y simplemente se coloca una capa de solvente inmisible en la parte superior de la columna. Al burbujear el gas, se topa con el solvente que rompe la espuma depositando el surfactante en su interior.

## 2. Métodos fisicoquímicos:

Utilizando los métodos comunes de laboratorio se puede caracterizar la biodegradación de un surfactante al medir cada determinado tiempo el pH, la temperatura, el color, etc. Sin embargo existen también métodos específicos que pueden cuantificar el surfactante que esta presente en las muestras, como en caso del inciso anterior existen varios trabajos experimentales en donde se tienen referidos los métodos más usados y las modificaciones que se tienen que hacer <sup>(16, 121, 122, 170, 173, 190, 216, 279, 280, 281, 294, 296)</sup>.

2.1. Métodos colorimétricos: los métodos usados para la determinación de los surfactantes aniónicos se basan en la propiedad de formación de complejos iónicos con colorantes catiónicos. El complejo formado es soluble en solventes orgánicos como el cloroformo, en cambio el colorante no lo es por lo que puede ser separado fácilmente el complejo coloreado y cuantificarse por medio de un espectrofotómetro de luz visible.

Se ha estandarizado el uso del Azul de Metileno (Sustancias activas al azul de metileno o SAAM) como colorante en este método y esta aceptado por la Organización Internacional de Estandarización o ISO <sup>(227)</sup>.

Sintetizando, la solución muestra se mezcla con una solución alcalina de azul de metileno, se integra y se extrae con cloroformo. Esta fase es extraída de nuevo con solución acidificada del mismo colorante. La primera extracción evita las interferencias debidas a la materia orgánica de origen proteico presente en la muestra y la segunda extracción remueve las interferencia de nitratos y cloruros que forman complejos con el azul de metileno de bajo índice de extracción. La absorbancia del complejo en la solución de cloroformo se determina a 650 nm. La calibración se realiza con soluciones estandarizadas de surfactante en la forma más pura obtenida, los resultados se expresan en términos del estándar usado, ya que en cada país es diferente.

Para conocer el método exacto se requiere la revisión de los métodos normalizados que presentan APHA - AWWA - WPCF (American Public Health Association - American Water Works Association - Water Pollution Control Federal) <sup>(8)</sup> en su apartado 5540 C - Surfactantes anionicos como SAAM y a la Norma Oficial Mexicana NOM - AA - 39 - 1980 <sup>(208)</sup>.

## 2.2. Cromatografía:

2.2.1. Cromatografía en capa fina: se emplea principalmente para separar las mezclas de surfactantes presentes en un muestra de detergente doméstico. Su uso es mayor en los surfactantes anionicos para los análisis cualitativos y semicuantitativos. Se emplea también para separar impurezas antes

de pasar por el SAAM utilizando silica gel como base y una mezcla de 5:1 de cloroformo/etanol como diluyente.

2.2.2. Cromatografía de Gas: se emplea para separar y medir compuestos homólogos y sus isómeros, sin embargo es necesario modificar las muestras para poder analizarlos. Su límite de detección es del orden de  $1\mu\text{g}$  de LAS pero por razones de manejo se usa en un rango de 100 a 1 000  $\mu\text{g}$ .

2.2.3. Cromatografía de columna: por la necesidad de usar grandes cantidades de muestra para poder trabajar óptimamente, su uso se restringe para el análisis de detergentes comerciales, en el desarrollo de un nuevo detergente o para preparar grandes cantidades de surfactantes puros.

2.2.4. Cromatografía líquida de alta resolución (HPLC): este es el método analítico mas usado en la bibliografía obtenida, sin embargo no se ha estandarizado un método único, cada investigador propone una columna y un método de elución diferente <sup>(84, 188, 198, 199)</sup>.

2.2.5. Electroforesis: se basa en la separación de moléculas o agregados moleculares mediante el uso de una corriente eléctrica. En una base de gel de agarosa se colocan las muestras aplicando una descarga eléctrica de 1000 a 2000 V a la placa durante 2 o 3 hr, migrando una distancia de 20 a 30 cm en este tiempo. Las bandas obtenidas se revelan con amarillo de pinacriptol, se puede cuantificar los compuestos de cada línea o mancha separándolas y preparándolas para otro análisis. No es muy usado en estudios de biodegradación.

2.3. Espectroscopía: se emplea generalmente como método cualitativo para identificación de compuestos y caracterización de un muestra problema después de su separación por medio de otro método.

2.3.1. Espectroscopía de Infrarrojo: se basa en la excitación de los enlaces entre átomos, se tienen cartas completas de las principales bandas características de emisión para los diferentes surfactantes de mayor uso así como de las uniones más características. Como ejemplo tenemos la banda de emisión para el LAS que es de  $15.63 \mu\text{m}$  <sup>(105, 214, 253, 299)</sup>.

2.3.2. Espectroscopía de Ultravioleta: se emplea para detectar principalmente el anillo de benceno y sus características, en los estudios de biodegradación se emplea para conocer la pauta metabólica que sigue el anillo bencenico hasta sus metabolitos finales <sup>(316, 317)</sup>.

2.3.3. Resonancia Magnética Nuclear: examina el espectro de la molécula en el área de las microondas que pasan através de un campo magnético como controlador. Se emplea para determinar las estructuras moleculares de los surfactantes, no es de amplio uso en estudios de biodegradación por su alto costo.

2.3.4. Espectroscopía de masas: inicialmente se empleó para identificación de las moléculas intermedias de la biodegradación de un surfactante <sup>(296)</sup>. Actualmente se emplea acoplado a la salida de un HPLC que separa las diversas fracciones de los metabolitos y los inyecta al espectrógrafo, analizándose el espectro molecular <sup>(181, 260, 281)</sup>.

#### 2.4. Marcadores radiactivos:

Se emplean extensamente en estudios de biodegradación utilizándose preferentemente surfactantes marcados con [<sup>35</sup>S]. Este método presenta como ventaja el que no tiene interferencias con otros compuestos; la principal desventaja del método es el alto costo de los marcadores así como la dificultad para obtenerlos.

### 3. Métodos metabólicos:

En ausencia de métodos analíticos específicos o como complementos de estos se emplean métodos basados en el metabolismo de los organismos presentes en el experimento <sup>(98, 99, 100, 114, 285, 305)</sup>, miden indirectamente la eficiencia de la degradación del surfactante.

**3.1. Requerimiento de oxígeno:** se basa en el principio de que la degradación de un producto por medio de bacterias se realiza por oxidación del mismo. Se cuantifica por medio del método denominado Demanda Bioquímica de Oxígeno que se define como la cantidad de oxígeno utilizada por las bacterias en la oxidación biológica de la materia orgánica en condiciones aerobias durante un tiempo específico y con una temperatura determinada, usualmente es de 20 °C durante 5 días <sup>(208)</sup>.

**3.2. Relación de oxígeno:** se expresa como Demanda Química de Oxígeno y se define como la cantidad de oxígeno requerida para oxidar, bajo condiciones específicas, la materia orgánica y la inorgánica oxidable contenida en una muestra de agua hasta llegar a obtener CO<sub>2</sub> y agua. Se expresa en mg/dm<sup>3</sup> de oxígeno y proporciona una medida de la cantidad de sustancias susceptibles de ser oxidadas, bajo las condiciones en que se efectúa la prueba <sup>(209)</sup>.

3.3. Contenido de carbón orgánico: Se han desarrollado varios métodos para medir o estimar la suma de compuestos orgánicos presentes en el medio, ignorando su naturaleza química exacta. Las bacterias, el sustrato, los metabolitos y el surfactante en estudio son fuente de carbón orgánico. Se utilizan métodos gravimétricos de uso normal en el laboratorio o por métodos sofisticados como la combustión en fase gaseosa.

3.4. Formación de bióxido de carbono: se relaciona con la demanda biológica de oxígeno ya que se cuantifica con el residuo de la oxidación de la materia orgánica, sin embargo tiene como limitantes el no poder separar la formación de bióxido de las reacciones metabólicas inherentes a la célula y la correspondiente a la metabolización del surfactante.

3.5. Crecimiento bacteriano por conteo de placa: se utiliza el principio de que si existe crecimiento bacteriano en el sistema es por la existencia de alimento en el mismo. En presencia de alimento suficiente en un medio líquido, la multiplicación bacteriana se observa a simple vista por el incremento de la opalescencia o turbidez de la solución. La medición de la absorbancia por medios ópticos da una base semicuantitativa del número de bacterias presentes. Esta característica se emplea como indicador de biodegradación del surfactante presente al ser el único alimento del sistema.

3.6. Toxicidad en organismos: es un estudio que relaciona la toxicidad del surfactante a determinados organismos con la supervivencia del organismo <sup>(14)</sup>. En estos estudios se trata de demostrar que al ser degradado el surfactante la toxicidad del mismo disminuye, cada investigador tiene preferencias por diferentes

organismos por lo que en la literatura se encuentran diversas especies acuáticas utilizadas en los experimentos que van desde las algas a peces como: Daphnia magna, Chlamydomonas variabilis, Diogenes sp., Asterionella japonica, Artemia salina. En la literatura mundial es el tipo experimental mas socorrido. (3, 44, 52, 102, 138, 158, 169, 171, 178, 179, 194, 214, 232, 245, 246, 247, 297, 309, 310, 311, 313)

3.7. Interacciones con enzimas: la relación que existe de los surfactantes con algunas enzimas tales como las lipasas, fosfatasa ácida y colinesterasa, se ha utilizado como esquema analítico, se mide la disminución de la velocidad de reacción enzima - catalizador. Este método no es muy empleado ya que requiere de un sistema enzima catalizador muy conocido y estudiado bajo condiciones rígidamente controladas.

*VII. PROBLEMÁTICA DEL D.F. Y  
AREA METROPOLITANA.*

## VII. PROBLEMÁTICA DEL DISTRITO FEDERAL Y AREA METROPOLITANA.

### A. Características del Valle de México.

El Valle de México es y ha sido una de las zonas más importantes de Mesoamérica, política, social y económicamente. En ella se localiza la ciudad capital de la República Mexicana que centraliza la mayor parte de la actividad económica, política e industrial del país.

La descripción de las características físicas de la cuenca del Valle de México presenta serias dificultades debido a la falta de delimitaciones físicas de la misma, sin embargo, oficialmente la Comisión Hidrológica de la Cuenca del Valle de México de la Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos consideró en 1963 en 9 600 Km<sup>2</sup> la superficie de la misma <sup>(69)</sup>.

En 1989 se delimitó el área metropolitana de la Ciudad de México componiéndose por el total del Distrito Federal, 53 municipios del Estado de México y 1 municipio del Estado de Hidalgo con una población de 18 millones de habitantes en una superficie urbanizada de 8 000 Km<sup>2</sup> (83.3%) con una densidad de población de 2500 Habitantes por Km<sup>2</sup>.

Para poder entender el alcance de la problemática que representan los detergentes dentro del ciclo del agua de la Ciudad de México se presentan las características físicas de la cuenca del Valle de México (ver esquemas en Anexo II):

1. Localización: Se encuentra situada en el límite meridional de la altiplanicie Mexicana, comprendida entre los paralelos 20° 15' y 19° 01' latitud Norte y los meridianos 99° 31' y 98° 15' de longitud Oeste de Greenwich <sup>(106)</sup>.

La cuenca esta rodeada totalmente de montañas con elevaciones de hasta 5,000 metros sobre el nivel del mar. La planicie en general tiene una elevación media de 2 240 metros sobre el nivel del mar.

2. Geología: La cuenca del Valle de México debe su formación a procesos volcánicos y tectónicos que se han desarrollado a velocidades diferentes a partir del período Eoceno Superior. Las diferentes formaciones y los fracturamientos geológicos originaron diversos tipos de rocas como las basálticas, calizas marinas, depósitos lacustres y en general rocas de tipo volcánico <sup>(69)</sup>.

3. Clima: se clasifica en general como subtropical de altura, templado, semiseco y sin estación invernal bien definida. La temperatura media anual es de 16 °C con mínimas de 5 °C y máximas de 38 °C. La precipitación media anual es de 700 mm y las lluvias ocurren de Mayo a Octubre, presentándose lluvias aisladas el resto del año.

Durante la temporada de lluvias se precipita de un 80 a un 90% de los 6 720 millones de metros cúbicos de agua que se precipita al año en promedio. Los estudios realizados por decenios, demuestran que la cantidad de agua de lluvia precipitada ha disminuido en promedio en un 5% en los últimos decenios. Esto ocasiona que se tenga un menor volumen disponible de agua, sin embargo la demanda social del líquido va en aumento, por lo que ha sido necesario importar

agua de otras cuencas (principalmente del Complejo Cutzamala) con volúmenes de hasta 14 m<sup>3</sup>/seg. Estos datos reflejan que el soporte hidrológico de la cuenca ha sido agotado, provocando un desequilibrio entre lo que se puede disponer y las necesidades actuales de agua de la población.

4. Hidrología: Debido a las características físicas y climatológicas de la cuenca del Valle de México, casi todas las corrientes de los ríos del mismo son torrenciales con régimen intermitente, llevando agua durante la temporada de lluvias y permaneciendo secas el resto del año.

El Territorio Nacional recibe una precipitación pluvial anual de cerca de 777 mm de agua correspondientes a 1640 Km<sup>3</sup> de agua. De este volumen, el 27% escurre por corrientes superficiales a las 37 regiones hidrológicas que lo componen.

A nivel nacional, los recursos Hidráulicos disponibles representan un volumen anual de aproximadamente 5125 m<sup>3</sup>/hab. Aun cuando el balance nacional entre la oferta y la demanda del agua hay un superávit, las cifras regionales demuestran un déficit considerable en casi la mitad del territorio incluyendo la Zona Metropolitana de la Ciudad de México (ZMCM) <sup>(70)</sup>.

5. Demografía: La ZMCM asienta a 15 millones de habitantes (censo 1990, 151), población que equivale a la suma de los habitantes de las 15 entidades federativas menos pobladas del país. Como lo muestra el cuadro 8.1, la tasa de crecimiento poblacional de 1950 a 1990 ha sido sumamente importante, pero ha tendido a disminuir debido en parte, al control de la natalidad <sup>(252)</sup>.

	Población (millones de habitantes)		
	1950	1970	1990
ZMCM	3.1	8.8	15.0
República Mexicana	25.8	48.2	81.2

Tabla 8.1. Población de la Zona Metropolitana de la Ciudad de México y de la República Mexicana <sup>(152,252)</sup>.

Los problemas mas acusados son el resultado de la dramática y empecinada destrucción de la ecología regional y de sus recursos naturales por la fuerte y anárquica concentración demográfica <sup>(62)</sup>, entre los que podemos citar:

- a) La explosión demográfica y la expansión acelerada de la mancha urbana e industrial que rebasa los límites razonables de tamaño para un control ordenado y equilibrado de su desarrollo. Este crecimiento es de 20 millones de habitantes en 8 000 Km<sup>2</sup> de superficie correspondiendo a casi un 85% del total de la Cuenca. Esta concentración genera el 36% del producto interno bruto nacional y consume el 25% de la energía total del país.
- b) Desaparición del 99% del sistema lacustre original de la Cuenca.
- c) Desertificación provocada por la deforestación realizada para la urbanización, así como la erosión del 70% de los suelos no urbanizados.
- d) Deshidratación y sobreexplotación de los acuíferos por la extracción de mas de 8000 pozos, con la consiguiente ruptura de la estructura del subsuelo que ha causado hundimientos, agrietamientos y fallas.
- e) Comportamiento irregular de la hidrología de las subcuencas del Valle de México, aumentando la torrencialidad de sus corrientes y su poder erosivo, dando lugar al desequilibrio hidrológico de toda la región.

- f) Ruptura del equilibrio de los ecosistemas que integran la cuenca, teniendo como consecuencia cambios en las condiciones climáticas.
- g) Incremento del volumen de las aguas que se drenan, tanto residuales como pluviales, que agrava el círculo vicioso que existe entre los requerimientos de agua para fines urbanos y las necesidades de obras para drenaje.
- h) Contaminación de las aguas residuales con detergentes no biodegradables y desechos industriales, que dificulta, encarece y en algunos casos imposibilita su tratamiento, lo que disminuye el potencial de aprovechamiento y reuso de las mismas.
- i) La sistemática degradación y contaminación del ecosistema, transformará la Cuenca del Valle de México en una región cada vez más inhóspita.

6. **Requerimiento de agua de la ZMCM** <sup>(42)</sup>: El Distrito Federal requiere de una aportación aproximada de 35 m<sup>3</sup>/s de agua para satisfacer las necesidades de cerca de los 9 millones de personas que viven en esta entidad, el 98% de los cuales son abastecidas por medio de tomas domiciliarias y el resto mediante el uso de carros-tanque (pipas).

El agua suministrada proviene de los acuíferos de los Valles de México (53%) y Lerma (14%), de manantiales y del Río Magdalena (3%) ubicados en la zona surponiente de la ciudad, y del Complejo Cutzamala (30%). Se destina principalmente a consumo doméstico (67%) y a la industria (17%), comercios y servicios (16%) en cantidades parecidas. <sup>(205)</sup>

## B. Sistema de drenaje en el Valle de México <sup>(187, 263)</sup>

Las aguas residuales y pluviales del valle de México son conducidas fuera de la cuenca mediante dos sistemas de drenaje principales que son el Sistema General del Desagüe y el Sistema de Drenaje Profundo.

El Sistema General del Desagüe es el más antiguo iniciando su trabajo a principios de siglo. Esta formado por presas de regulación con capacidad de 11700 m<sup>3</sup>; lagunas y lagos de regulación con capacidad de 15250 000 m<sup>3</sup>; 5 canales a cielo abierto (Gran Canal del Desagüe, Río de los Remedios, Río Tlanepantla, Río San Buenaventura y Canal Nacional) y 3 canales entubados ( Río Churubusco, Río La Piedad y Río Consulado).

El Sistema de Drenaje Profundo consta de 121.1 Km. de túneles con una capacidad máxima de conducción de 220 m<sup>3</sup>/s. Lo compone el Interceptor Poniente, el Interceptor Centro-Poniente, el Interceptor Central, el Interceptor Oriente, el Emisor Central y el Emisor Centro-Centro. Presenta una profundidad mínima de 50 m. bajo el nivel medio de la Ciudad de México y de 237 m en el Túnel de Tequisquiác. Descarga por gravedad al Río El Salto y sus aguas sirven para riego de verduras y hortalizas en el Distrito de Riego 03 ubicado en el Estado de Hidalgo, fuera de la Cuenca del Valle.

En la ZMCM se generan del orden de 45 m<sup>3</sup>/s de aguas residuales, de las cuales el Distrito Federal produce 29 m<sup>3</sup>/s. En el D.F., la mayor parte del caudal de aguas residuales se genera en las delegaciones mas consolidadas que son Cuauhtémoc, Venustiano Carranza, Miguel Hidalgo, Iztapalapa y Gustavo A. Madero.

El nivel de servicio de drenaje en promedio es del 90% , sin embargo, existen 4 delegaciones donde apenas alcanza el 60% y son: Coyoacan, Iztapalapa, Tlalpan y Tláhuac.

Las áreas con servicio de drenaje del D.F. cuentan con drenaje combinado (aguas residuales y agua pluvial) casi en su totalidad, salvo en algunos pueblos y colonias de las Delegaciones Tláhuac, Tlalpan y Xochimilco en donde se recogen únicamente aguas residuales y las aguas pluviales son llevadas a ríos naturales o son absorbidas por la tierra.

El sistema de drenaje del D.F. es complejo y presenta problemas de falta de capacidad debido al hundimiento de la ciudad que modifica la inclinación original de las tuberías y obliga a depender de plantas de bombeo..

Las expectativas de crecimiento de la ZMCM son poco alentadoras. Estimaciones del Colegio de México indican que en el año 2010 habrá 26.6 millones de habitantes, de los cuales 13.3 millones estarán en el D.F. y una cantidad similar en los municipios conurbados. El caudal de aguas residuales que se generará será del orden de 67 m<sup>3</sup>/s.

Debido al balance negativo del agua potable para el D.F. se tienen 10 plantas de tratamiento de aguas residuales que en conjunto procesan por término medio 1.89 m<sup>3</sup>/s. Esta agua se destina al riego de áreas verdes, el llenado de canales en Xochimilco y de los Lagos de Chapultepec y Aragón, y en menor cantidad, para usos industriales.

El mayor volumen de las aguas residuales crudas generadas en la ZMCM se utiliza para riego de cultivos fuera de la cuenca. Los efectos de este riego ha sido motivo de preocupación por los riesgos que representa para los campesinos que tienen contacto directo con el aguaya que contienen elementos nocivos para la salud. Se ha estimado un depósito anual de 468 Kg./Ha. de diversos metales pesados, 712 Kg./Ha de boro y 2340 Kg./Ha de diversas sustancias activas al azul de metileno, principalmente detergentes <sup>(65)</sup>.

Además existe la posibilidad de contaminación de los mantos acuíferos debido al sobreriego que se aplica, ya que en algunos casos las laminas de riego son superiores a los 2 metros.

Un valioso apoyo para el tratamiento de las aguas residuales lo constituye la reglamentación de las descargas al drenaje, especialmente de industrias, así como la educación de los consumidores para eliminar parte de los contaminantes, como sería el caso de los detergentes para uso doméstico.

De todo lo anteriormente expuesto se puede decir que el reuso actual de las aguas residuales del área metropolitana de la Ciudad de México se ha enfocado exclusivamente al uso agrícola con excepción del pequeño flujo utilizado con fines recreativos en el llenado de lagos artificiales, reutilizándose en la industria sólo en forma casuística, como es el caso de la planta termoeléctrica del Valle de México que utiliza aguas residuales como medio de enfriamiento. En el Anexo III se tienen los esquemas de los tipos comunes de plantas para tratamiento de aguas negras.

### C. Calidad Fisicoquímica y Bacteriológica de las Aguas Residuales.

Como ya se mencionó anteriormente, el sistema de drenaje del D.F. colecta las aguas residuales domésticas e industriales así como las pluviales, desalojándolas en conjunto por el sistema general de desagüe. Esto provoca una mezcla muy compleja y variable tanto de su composición biológica, como de sus características físicas y químicas.

En 1974 se creó la Red Nacional de Monitoreo de la Calidad del Agua, para establecer una medición continua y sistemática de los principales cuerpos de agua del país <sup>(265)</sup>. A partir de 1980 se vienen realizando análisis y mediciones para determinar su calidad utilizando 152 características cuantificables. Actualmente se han aumentado hasta 200 los parámetros cuantificados al aumentar la detección de contaminantes biológicos (virus, bacterias, parásitos); químicos inorgánicos (sales y metales pesados); químicos orgánicos y parámetros físicos (pH, Temperatura, turbiedad, color, aroma)

Para evaluar la calidad de las aguas residuales se emplea un índice adimensional denominada ICAR (Índice de Calidad de Aguas Residuales) que se obtiene por medio de la siguiente fórmula:

$$ICAR = \frac{n(Ci/Co) + 1}{n}$$

en donde:

Ci = concentración del iésimo contaminante registrado en la estación de monitoreo en estudio.

Co = concentración del contaminante en un agua típicamente doméstica o de control.

n = número de contaminantes evaluados.

El ICAR tiene el siguiente significado:

<b>Valor del ICAR</b> <i>Corresponde a:</i>	
$\leq 3$	aguas domésticas con nula influencia industrial.
$> 3 \leq 6$	aguas domésticas con baja influencia industrial.
$> 6 \leq 9$	aguas domésticas con influencia industrial media.
$> 9 \leq 12$	aguas domésticas con alta influencia industrial.
$> 12$	aguas domésticas con muy alta influencia industrial.

Tabla 8.2. Valores del Índice de la Calidad de Aguas Residuales.

La información generada en el bienio 1980 - 1981 de 15 estaciones de monitoreo señala que:

- \* La calidad de las aguas varía en función de las condiciones climáticas y de la operación del sistema.
- \* Dependiendo de la localización de las estaciones se modifican los valores del ICAR, esto debido tanto a los diferentes afluentes que se adicionan y/o a las diluciones de las mismas por el agua de lluvia.
- \* Otra opción es la degradación por medio de procesos naturales de algunos contaminantes como los orgánicos volátiles, provocando su remoción o precipitación debida a la absorción, a reacciones químicas complejas o por degradación biológica.

Estas determinaciones recopiladas por el Laboratorio Central de Control de Calidad del Agua (LCCCA) de la DGCOH, se manejan a través de dos sistemas computarizados: el Sistema de Información y Vigilancia de la Calidad del Agua

Potable (SIVCA) y el de Información y Vigilancia de la Calidad de Aguas Residuales y Renovada (SIVCARen). La información generada ha permitido estructurar los Reglamentos de Agua Potable, Alcantarillado y Aguas Residuales así como la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Medio Ambiente.

De 1982 a 1994, el LCCCA ha realizado la evaluación de un total de 772129 muestras de agua potable. Sin embargo, no se tienen estadísticas de la calidad del agua residual <sup>(265)</sup>.

#### D. Organismos Gubernamentales:

##### 1. Secretaría del Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca.

Como hemos observado estos problemas fueron detectados en 1975. No obstante no fue sino hasta 1982 cuando se creó la Secretaría de Desarrollo Urbano y Ecología (SEDUE), la cual tenía entre su principal objetivo el estudio de la Ecología del Distrito Federal y sus posibles soluciones a través del Instituto Nacional de Ecología.

En esta época inicial se tienen diversos estudios realizados por el organismo que concluyeron en 1988 con la aparición en el Diario Oficial de la Federación de la Ley General del Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente (Anexo IV, cita 264), vigente actualmente.

En esta Ley se especifica de manera clara las manifestaciones contrarias a la Ecología, sus efectos, los derechos y obligaciones del ciudadano mexicano para con el entorno y las sanciones a las que se hacen acreedores los responsables de los disturbios creados contra esta.

2. Instituto Nacional de Ecología: Es un organismo especializado de la Actual Secretaría del Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca. Se especializa en estudios concernientes a la normatividad necesaria para la protección del medio ambiente, así como en dictaminar las posibles causas y formas de minimizar los efectos de los daños ambientales generados en el país.

Como una de sus funciones tiene la de expedir Normas Oficiales Mexicanas en Materia de Protección Ambiental. En el Diario Oficial del 18 de Octubre de 1993 se publicaron 33 normas ecológicas entre las que tenemos como de interés para este trabajo:

- \* NOM-CCA-030 - ECOL/1993. Norma Oficial Mexicana que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales a cuerpos receptores provenientes de la industria de jabones y detergentes <sup>(211)</sup>.
- \* NOM-CCA-031-ECOL/1993. Norma Oficial Mexicana que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales provenientes de la industria, actividades agroindustriales, de servicios y el tratamiento de aguas residuales a los sistemas de drenaje y alcantarillado urbano y municipal <sup>(212)</sup>.
- \* NOM-CCA-032-ECOL/1993. Norma Oficial Mexicana que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las aguas residuales de origen urbano o municipal para su disposición mediante riego agrícola <sup>(213)</sup>.

En la primera se establece un límite máximo de Sustancias Activas al Azul de Metileno (Detergentes) de 10 mg/L. como promedio diario y en la segunda un

máximo de 30 mg/L como promedio diario y de 60 mg/L. como máximo en una sola muestra.

En el caso de la tercera norma no se tienen límites máximos permisibles pero se contempla que la Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos a través de la Comisión Nacional del Agua, puede fijar en cualquier momento y en base de la experiencia de que causen efectos negativos al terreno de cultivo, límites máximos permisibles de las sustancias activas al azul de metileno.

### 3. Procuraduría Federal del Consumidor:

Por otro lado tenemos los estudios realizados por el Instituto Nacional del Consumidor, órgano de la Procuraduría Federal del Consumidor, creado en 1977 para realizar estudios a los productos comercializados y determinar si corresponda a la calidad y precio especificado. La calidad se mide a través de las Normas Oficiales Mexicanas o en su defecto, por normas internacionales.

Entre los estudios relacionados a los detergentes encontramos las siguientes conclusiones:

- "el uso de detergentes de los llamados biológicos agrava los riesgos de uso de la ropa fabricada con materiales sintéticos. Si a una prenda lavada con este elemento y convenientemente lavada y seca la sumergimos en una cubeta con agua, veremos que todavía despiden detergente, el cual provoca en las personas de piel reseca o sensible irritaciones, alergias y dermatitis"

(236)

En un estudio realizado en 145 unidades de 14 diferentes marcas de detergentes líquidos para el lavado de ropa <sup>(234)</sup> se observaron varias anomalías que pueden ser extrapoladas a los detergentes en polvo:

- generalmente no presentan instrucciones detalladas de uso, ingredientes que lo componen, restricciones de uso y precauciones toxicológicas.
- el contenido neto no corresponde a la etiqueta.
- el pH de una solución al 10% a 25 °C de temperatura, es menor al mínimo permitido (pH = 8 a 11), lo cual puede provocar irritaciones en las manos de los usuarios.
- la formación de espuma no corresponde a la especificada principalmente en productos denominados de "espuma controlada".
- en el caso de los jabones líquidos, solo una marca presentó una eficiencia de lavado mayor al 60%, al utilizar la prueba Norma de IEC publicación 456 y la NOM-J-337/2-1981, en condiciones de agua fría (25 °C).
- se observó que el agua caliente no aumenta la eficiencia del lavado de ropa.

En otro trabajo realizado en 1990 <sup>(240)</sup> advierten que la mayoría de los detergentes usados en México no presentan la totalidad de información necesaria para el consumidor acerca de la toxicidad, precaución de manejo y primeros auxilios en caso de accidente.

Según un estudio realizado en el Centro de Ecodesarrollo del INCO <sup>(240)</sup> sólo en el Distrito Federal se consumen diariamente 250 mil bolsas de detergente en polvo. Se estima que 250 000 Kg. de detergente es usado y desalojado a las cañerías solamente por lavado de ropa, sin contar los detergentes líquidos, las

barras, los jabones de tocador, dentífricos, champúes y otros de uso doméstico e industrial. Como conclusiones presentan:

- Con la simple reducción del 50% del detergente usado en cada lavada se disminuiría considerablemente el problema de los detergentes en el agua residual.
- La mayoría de las amas de casa utilizan cantidades de detergentes de hasta un 100% mayor a las recomendadas de uso en cada lavada, esto provoca que la cantidad de agua empleada para el enjuague se incremente hasta en un 200%.
- Otra opción es el uso de la barra de "jabón de Castilla" o "corriente" para el lavado de ropa, ya que es un producto biodegradable, no así el detergente.

Y por último se tiene un artículo en donde se presenta una forma de elaboración de jabón de forma casera <sup>(236)</sup>.

4. Secretaría de Comercio y Fomento Industrial: La SECOFI, a través de la Dirección General de Normas, ha publicado diferentes Normas Oficiales Mexicanas relacionadas al muestreo y análisis de las aguas residuales, entre ellas tenemos:

NOM-AA-03-1980. Aguas residuales. Muestreo <sup>(206)</sup>.

NOM-AA-14-1980. Cuerpos Receptores. Muestreo <sup>(207)</sup>.

NOM-AA-28-1981. Análisis de Agua. Determinación de la Demanda Bioquímica de Oxígeno <sup>(208)</sup>.

NOM-AA-30-1981. Análisis de Agua. Determinación de la Demanda Química de Oxígeno <sup>(209)</sup>.

NOM-AA-39-1980. Agua. Determinación de Sustancias Activas al Azul de

#### 5. Tratado de Libre Comercio.

El Tratado de Libre Comercio es un acuerdo comercial que define los derechos, obligaciones y disciplinas entre México, Estados Unidos y Canadá, en lo concerniente a inversiones, comercio de mercancías, servicios y propiedad intelectual. Entró en vigor en enero de 1994 <sup>(215)</sup>.

Desde el inicio de las negociaciones comerciales existió preocupación por la expectativa de que se generara un impacto ambiental negativo relacionado con el comercio libre de las diferentes sustancias químicas que se comercializan en cada país, por esta razón y a pesar de ser un tratado comercial, en el texto del TLC es notable la preocupación por las cuestiones ambientales.

Los gobiernos de México, Canadá y los Estados Unidos firmaron los acuerdos paralelos al TLC en Materia de Cooperación Ambiental y Laboral (ACAAN), los cuales entraron en vigor inmediatamente después del inicio del TLC.

Los ACAAN están constituidos por siete partes que contienen 51 artículos y cinco anexos. Tienen como objetivo el incremento y el fortalecimiento de la coordinación y cooperación ambiental entre los tres países firmantes, con base en la premisa de que para promover el desarrollo sustentable es preciso incrementar los intercambios comerciales, proteger y mejorar el ambiente, mejorar y perfeccionar la aplicación de las regulaciones jurídicas y la política ambiental y promover la participación de los sectores sociales.

En el contexto del Tratado de Libre Comercio <sup>(261, 262)</sup> se observa que la industria nacional abastece al 95% del mercado nacional de los detergentes mediante una amplia gama de presentaciones, tipos, variedades y marcas. Actualmente este sector cuenta con tecnologías avanzadas y con dos de las plantas más grandes del mundo.

En la Cámara Nacional de la Industria de Aceites, Grasas y Jabones existen en el país 94 empresas agremiadas, de las cuales, 57 producen el 96% de los jabones y prácticamente la totalidad de los detergentes fabricados en el país.

Estas empresas proporcionan empleo a 11 000 personas y se encuentran ubicadas en el Distrito Federal (14 plantas), Jalisco (13) y Estado de México (11) principalmente, con una capacidad instalada de 1'180'000 Toneiadas anuales <sup>(48)</sup>. En terminos globales, la industria utiliza el 79.5% de su capacidad instalada con la producción anual siguiente:

1989	7'552 TON
1990	8'000 TON
1991	8'004 TON
1992	80'000 TON
1993	81'000 TON

Tabla 8.3. Producción anual de detergentes en la República Mexicana <sup>(48)</sup>.

Las ventas en el mercado interno se concentran en las tiendas de autoservicio, tiendas de abarrotes y similares y solo un 10% corresponde a las lavanderías automáticas. A partir de 1991 los detergentes elaborados en México

para exportación son biodegradables y son comercializados en Estados Unidos, Centro y Sudamérica.

La principal desventaja competitiva de los productos nacionales es el hecho del alto contenido de fosfatos, en Estados Unidos y Canadá existen normas de protección ambiental que regulan la producción y comercialización de estos productos, prohibiéndose su venta en algunos estados o provincias.

Actualmente podemos ver en los mercados nacionales un aumento en la cantidad de productos americanos y canadienses que presentan un menor contenido de fosfatos, sin embargo no son de uso extendido entre la población común ya que presentan ciertas desventajas psicológicas con respecto a los nacionales, entre ellas la falta de formación de espuma.

#### 6. Organización de Cooperación y Desarrollo Económico <sup>(263)</sup>.

En 1994, México se adhirió a la Organización de Cooperación y Desarrollo Económico (OCDE) constituyéndose en el 25<sup>avo</sup> país miembro. Los objetivos básicos de esta organización consisten en promover políticas que permitan lograr el crecimiento económico y del empleo, elevando los estándares de vida en los países miembros.

El ingreso de México a esta Organización implicó que el Gobierno Nacional se pronunciaría respecto a las Actas del Consejo, constituido por Ministros o Secretarios de los países miembros, los cuales incluyen Declaraciones Ministeriales, Decisiones, Recomendaciones y Comunicados. México asumió 41 Recomendaciones del Consejo de la OCDE sobre el medio ambiente. Entre ellas:

C(71)823 (Final):	Determinación de la biodegradabilidad de aniones sintéticos tensoactivos.
C(74)220:	Control de la eutroficación de las aguas.
C(74) 221:	Estrategias para el control de contaminantes específicos del agua.
C(78)4 (Final):	Políticas e instrumentos para la administración del agua.
C(89)12 (Final):	Políticas de administración, integración, demanda y protección de fuentes de agua y mantos freáticos.

#### E. Consumo de Detergentes en el D.F. <sup>(48)</sup>.

Las estadísticas proporcionadas por la Cámara Nacional de Grasas y Jabones de la República Mexicana <sup>(48)</sup> con respecto a las características de los consumidores de detergentes en la Ciudad de México especifican que el 95% de los habitantes de la misma consumen algún detergente en el mes, con una frecuencia de compra promedio de 2 veces por mes y de un consumo mensual de 5 Kg. de detergente en polvo para lavado de ropa y 1 Kg. de detergente para loza por familia. A continuación tenemos los datos relacionados (tabla 8.4).

Por otro lado tenemos que la frecuencia de lavado de las amas de casa del D.F. es mayor en el caso de 1 vez por semana, de lo que puede inferirse que la mayoría de las mujeres en la ciudad de México tienen que trabajar y que solamente realizan la labor de lavado el día de descanso semanal; en el caso extremo tenemos a las mujeres amas de casa que tienen una frecuencia de lavado diario (tabla 8.5).

Frecuencia de compra.	%
2 / semana.	3
1 / semana	31
1 / 2 semanas.	38
1 / 3 semanas.	2
1 / mes.	21
1 / 2 meses.	2
1 / más de 2 meses.	3

Tabla 8.4. Frecuencia de compra de detergentes en el D.F.

Frecuencia de lavado	%
1 vez / sem	60
2 veces / sem	9
3 veces / sem	26
4 a 6 veces / sem	5

Tabla 8.5. Frecuencia de lavado de ropa en el D.F.

Proceso de lavado.	%
solamente manual.	5
mixto	67
solo lavadora.	28

Tabla 8.6. Método de lavado de ropa en el D.F.

Con respecto a los detergentes presentes en el D.F. observamos que se comercializan principalmente productos de 3 empresas locales (La Corona, Colgate-Palmolive y Procter & Gamble) en la totalidad del mercado. En algunos casos se introducen localmente detergentes elaborados en Guadalajara, Monterrey o de importación.

Como se mencionó en el inciso relacionado con la PROFECO, los detergentes nacionales no presentan información completa y fidedigna de la composición química de los mismos. En la mayoría solamente se indican nombres genéricos de las materias primas sin especificar el producto químico, en la tabla 8.7. se presenta un resumen de las formulaciones declaradas en etiquetas de los detergentes en polvo mas comunes en un supermercado de clase media.

En ella podemos ver que solo 5 detergentes especificaron diferente agente tensoactivo (LAS y dodecilbenceno), en los demás solo se menciona como tensoactivo. Los coadyuvantes mas usuales son los fosfatos y sulfatos de sodio. De los detergentes para ropa <sup>(13)</sup>, solo 2 no presentan enzimas en sus formulaciones, 4 de ellos presentan perborato de sodio y activador como agentes de blanqueo.

En México el agente tensoactivo más empleado es el dodecil bencensulfonato de sodio.

Marcas\ componentes	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Roma <sup>a</sup>	LAS	X	--	--	X	--	X	--	--	--	--	--	X	--
Foca <sup>a</sup>	LAS	X	--	--	X	X <sup>g</sup>	X	--	X	--	--	--	X	--
Lavatrastes. <sup>b</sup>	DDB	--	X	X	X	--	--	--	--	--	--	--	X	X
Det. en polvo. <sup>b</sup>	DDB	--	X	X	X	--	X	--	--	--	X	--	X	X
Det. biológico <sup>b</sup>	DDB	--	X	X	X	X	X	--	--	--	X	--	X	X
Paloma <sup>c</sup>	ABS	--	X	--	X	--	X	--	--	--	X	--	X	X
Fibralux <sup>c</sup>	DDB	--	X	X	X	--	--	--	--	--	--	X <sup>h</sup>	X	X
Axion rojo <sup>d</sup>	ABS	--	X	X	X	--	--	X	--	--	--	X <sup>i</sup>	X	X
Viva lavomatic <sup>d</sup>	ABS	--	X	X	--	X <sup>g</sup>	--	X	--	--	--	X <sup>i</sup>	--	--
Viva /blanqueador <sup>d</sup>	ABS	--	X	X	--	X	--	X	X	X	X	--	X	X
Viva Ultra <sup>d</sup>	ABS	X	--	--	--	X	--	X	--	--	X	X <sup>k</sup>	X	--
Viva Ultra /blanqueador <sup>d</sup>	ABS	X	--	--	X	X	--	X	X	X	X	X <sup>k</sup>	X	X
Salvo <sup>e</sup>	ABS	--	X	--	--	--	--	--	--	--	--	X <sup>i</sup>	X	--
Rápido Ultra <sup>e</sup>	ABS	X	--	--	--	X	--	--	--	--	--	--	X	--
Bold 3/ blanqueador <sup>e</sup>	ABS	X	--	--	--	X	--	X	X	X	--	X <sup>kl</sup>	X	--
Bold 3 Ultra <sup>e</sup>	ABS	X	--	--	--	X	--	--	--	--	--	X <sup>i</sup>	X	--
Ariel Ultra/blanqueador <sup>e</sup>	ABS	X	--	--	--	X	--	X	X	X	--	--	X	--
Ariel Ultra <sup>e</sup>	ABS	X	--	--	--	X	--	--	--	--	--	--	X	--
Dawn <sup>f</sup>	X <sup>m</sup>	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	X <sup>n</sup>	X

Tabla 8.4. Detergentes expendidos en un centro comercial de clase media en el D.F.

En donde:

1. Tensoactivo.
2. Fosfato de sodio. (ablandador de agua)
3. Sulfato de sodio.
4. Tripolfosfato de sodio. (ablandador de agua)
5. Silicatos.
6. Enzimas. (Amilasas y proteasas)
7. Carboximetil celulosa. (antihumectante y antiapelmazante)
8. Carbonato de sodio.
9. Perborato de sodio. (blanqueador)
10. Activador de blanqueo.
11. Color óptico.
12. Aditivos. (suavizantes, agentes quelantes, antihumectantes)
13. Perfume.
14. Color.
  - a. Elaborado por La Corona.
  - b. Marca Libre de Aurrera.
  - c. Elaborado en Monterrey, N.L.

- d. Elaborado por Colgate - Palmolive.
- e. Elaborado por Procter & Gamble.
- f. detergente de importación.
- g. únicamente proteasas.
- h. toluen sulfonato de sodio.
- i. jugo de limón.
- j. jabón.
- k. EDTA.
- l. bentonita.
- m. surfactante anfoterico no iónico.
- n. alcohol etílico.

## ***VIII. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.***

## VIII. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

La política social y ambiental mexicana se encuentra en una etapa de transición hacia el desarrollo sustentable. Se hace cada vez de mayor prioridad el consolidar un modelo de desarrollo económico con la capacidad de expandir la oferta de bienes y servicios para atender las necesidades y expectativas de bienestar actuales y del futuro, sin deteriorar irreversiblemente el entorno ambiental. Este es el propósito central de una estrategia de desarrollo sustentable.

En este marco se otorga un énfasis mayor a las tecnologías que puedan hacer posible la prevención del deterioro ambiental y se acepta la posibilidad de que las tecnologías modernas puedan ser más adecuadas dentro del nuevo concepto de eficiencia económico-ambiental, lo cual supone una diversificación tecnológica. Al mismo tiempo, se destaca la necesidad de ver a la gestión productiva no como un flujo lineal sino como un ciclo, y de reducir la importancia de la artificialización.

El concepto de eficiencia tecnológica adquiere una nueva dimensión al hablar de tecnologías razonables desde el punto de vista ambiental, ya que dicha eficiencia depende no solo de sus implicaciones económicas, sino también de sus implicaciones ambientales.

Entre los elementos a considerar en la selección de las tecnologías aplicables a los procesos productivos se encuentran los relativos a:

- a) reducción de la generación de residuos sólidos;
- b) reducción en la utilización de la energía y de los recursos naturales;
- c) optimización del aprovechamiento de los recursos renovables a través de su recuperación;
- d) reutilización máxima de los residuos y productos de origen tecnológico; y
- e) empleo de enfoques sistemáticos en los que las tecnologías se incorporen como parte de procedimientos, procesos, productos y servicios asociados a la producción y al consumo.

Esto último requiere que, al hablar de transferencia de tecnología, se consideren también otros aspectos que hagan posible su asimilación, como pueden ser el desarrollo de recursos humanos y la capacidad e infraestructura de servicios de soporte locales. También implica que se enfoque simultáneamente la modernización de los procesos productivos para mejorar al mismo tiempo la calidad y los precios de los productos, y el desempeño energético y ambiental de las empresas y sus productos o servicios; lo cual requiere tomar en cuenta el ciclo de vida de los productos y los balances de energía, materiales y residuos.

Esto lleva a destacar la importancia de establecer mecanismos para corregir ineficiencias ambientales; esquemas de certificación de la calidad y la competitividad para emplearlos para premiar o penalizar la eficiencia o ineficiencia ambiental, aumentando el concepto de "cero impacto" al concepto de Calidad Total.

Para alcanzar un desarrollo sustentable no basta con cambiar los procesos productivos o los productos, sino que se requiere de modificar también los patrones

de consumo, aspecto complejo y difícil de lograr ya que requiere del cambio en el sistema de valores sociales y culturales del consumidor final.

Se considera que existen estilos de vida difundidos y deseados a gran escala; por lo que resulta una tarea extraordinaria el que la mayoría de la población renuncie a esas aspiraciones que ya han sido asimiladas culturalmente.

Debido a que existe una estrecha interrelación entre producción y consumo; la demanda efectiva de los consumidores incide en el producto y en su forma de producción. Tal es el caso de los consumidores "verdes" que han modificado el mercado de productos al adquirir productos respetuosos del ambiente.

### **Recomendaciones:**

Si tenemos en cuenta que la mayoría de la población mexicana usa en estos momentos detergentes para el lavado de su ropa, dentríficos, champús, detergentes para el lavado de loza y jabones para uso personal; y que en general, estos contienen materiales sintéticos en una gran proporción, tendremos un panorama de la cantidad de detergentes que se emplean en la ZMCM.

Sin embargo, como consumidores podemos constatar que las empresas que comercializan estos productos no se toman la molestia de dar instrucciones de uso detalladas, así como no dan opciones para el desecho de los productos ni de los primeros auxilios necesarios en caso de ingestión accidental de los mismos. Debido a estas circunstancias podemos decir que es necesario dar a conocer a la opinión pública los problemas que pueden tener al usar indiscriminadamente los

detergentes sintéticos, así como informar sobre las opciones alternas que se tienen para los diferentes usos en el hogar.

Como recomendación general podemos decir que los diferentes detergentes comerciales presentan diferencias mínimas en cuanto a eficiencia de limpieza, por lo que se puede usar en todas las labores de limpieza el detergente de mas bajo costo. Generalmente el sobreprecio de los productos corresponde a perfumes, colorantes ópticos y coadyuvantes que no impactan en la eficiencia de lavado<sup>(237)</sup>.

En el caso del lavado de ropa tenemos las siguientes recomendaciones:

- a) Es recomendable someter a remojo previo la ropa en una solución de detergente, con una duración recomendable de 6 a 12 horas para facilitar el trabajo de las enzimas presentes.
- b) Si en la zona se tiene agua dura, el detergente dará mejores resultados que el jabón.
- c) No debe de utilizarse blanqueador o cloro junto con el detergente ya que inactiva las principales propiedades del detergente. Si es necesario se puede aplicar en el último enjuague.
- d) La mayor producción de espuma no implica necesariamente que el detergente sea mejor.
- e) Se recomienda utilizar la cantidad mínima de detergente recomendada por el fabricante, en caso de no tener la información se puede usar  $\frac{1}{4}$  de taza y ajustar la concentración dependiendo de la eficiencia del lavado.
- f) Para la ropa fina de bebé y para la ropa de personas alérgicas o sensibles se recomienda el uso de la fibra natural denominada "Xixi", la cual se compra en los mercados.

- g) Una opción "ecológica" es el uso de jabón de sosa ya que es totalmente biodegradable y es fabricado con productos naturales.

En caso de ingestión accidental se tienen las siguientes recomendaciones:

- h) La ingestión accidental puede provocar quemaduras en la boca y garganta, en caso de que un menor ingiera detergentes no se le debe de provocarse el vomito porque aumentarán las posibilidades de quemaduras al expulsar el producto.
- i) Se debe de ingerir grandes cantidades de leche o agua para diluir la concentración del detergente.
- j) Llamar al médico inmediatamente informando el tipo de sustancia y la cantidad ingerida.
- k) Si entra en contacto con la mucosa de los ojos, manténgalos abiertos y enjuáguelos con agua en abundancia.
- l) En cualquier caso hay que acudir al médico lo mas pronto posible.

En general, es necesario estar consciente de que mientras menos contacto tengamos con los detergentes poniendo especial atención a la precaución de lavar perfectamente las manos y los objetos que están en contacto con el detergente, se tendrán menos problemas.

## *IX. BIBLIOGRAFÍA Y HEMEROGRAFÍA.*

## IX. BIBLIOGRAFÍA Y HEMEROGRAFÍA.

1. Abbott DC. The colorimetric determination of anionic surface active materials in water. *Analyst* 1962; 87, 286 - 93.
2. Abdel-Shafy HI, et al. Studies on the degradation of synthetic detergents by sewage. *Bull Environ Contam Toxicol* 1988 Aug; 41(2): 310 - 6.
3. Abel PD, Skidmore JF. Toxic effects of an anionic detergent on the gill of rainbow trout. *Water Res* 1975; 9: 759 - 65.
4. ACS Committee on environmental improvement. Guidelines for data acquisition and data quality evaluation in environmental chemistry. *Anal Chem* 1980; 52(14): 2242-9.
5. Adam NK. *J Soc Dyers Colour* 1937; 53: 121. (citado en 224).
6. Alpuchi Gual L, Gutierrez Juárez A, Rendón Von Osten J. Tú y el ambiente. Vol 1. Tú y los detergentes. Programa Contaminación Ambiental. Instituto Nacional de Investigaciones sobre Recursos Bioticos. México, 1985.
7. Anónimo. Estudios específicos para el tratamiento y reuso de las aguas negras del área metropolitana de la Ciudad de México. Quinta Etapa. Capítulo 3. Proyecto de reuso industrial.
8. Anonymous. *Env Sci Technol* 1969; 3: 1243. (citado en 304)
9. Anonymous. Human safety and environmental aspects of major surfactants: a report to the soap and detergent association. Artur D.L, Inc.; Cambridge, 1977. (citado en 300)
10. APHA - AWWA - WPCF. Determinación de componentes orgánicos: Métodos normalizados. en: American Public Health Association, American Water Works Association, Water Pollution Control Federation. De. Díaz Santos, 1992; pp 5-63.
11. Arai H. *J Colloid Interface Sci* 1957; 23: 348. (citado en 224).
12. Arena JM. Poisonings and other health hazards associated with use of detergents. *JAMA* 1964; 190: 56 - 58. (citado en 166).
13. Au I. Detergent legislation: National supranation and international laws. *Tenside* 1981; 18: 280 - 5. (citado en 300).
14. Aubert M, Gambarotta JP. Study of the effects of biodegradability of toxic chemical products on the marine biological chain. *Rev Int Oceanog Medecale* 1969; 13 - 14: 73 - 105. (citado en 300).
15. Baer RL, Rosenthal SA, Sims C. *J Invest Dermatol* 1956; 27: 249. (citado en 155)
16. Barker GE. *J Am Oil Chem Soc* 1951; 28: 317. (citado en 224)

17. Bartek MJ, La Budde JA, Maibach HI. J Invest Dermatol 1972; 58: 114 - 23. (citado en 28)
18. Baumgartner FN. Ind Eng Chem 1954; 46: 1349. (citado en 224).
19. Bayona JM, Albaiges J, Solanas AM, Grifoll M. Selective aerobic degradation of linear alkylbenzenes by pure microbial cultures. Chemosphere 1986; 15(5): 595 - 8.
20. Beckley JH. Toxicol Appl Pharmacol 1965; 7: 93 - 101. (citado en 155)
21. Beeson WM, Perry TW, Reynolds PJ. Chem Abst 1954; 48: 3492b. (citado en 155).
22. Benedek A, Najak A. Procedures for sample preservation. Water and Pollution Control 1975; 113(9): 20-4. (citado en 300)
23. Benefield LD, Randall CW. Wastewater characteristics and flows. in: *Biological Process Design for Wastewater Treatment*. Ed. In Print. Charlottesville, Vig, 1987. pp. 62 - 115.
24. Berenson MM, Temple AR. Detergent ingestion: unique experience on a family. Clin Toxicol 1974; 7:25- 28. (citado en 166)
25. Berenson MM, Temple AR. Clin Toxicol 1975; 8(4): 399 - 404. (citado en 155)
26. Bernstein R, Sosson H. Soap Sanit Chem 1954; 30(!): 46. (citado en 224).
27. Bettley FR. Brit J Derm 1968; 80: 635 - 42. (citado en 155)
28. Black JG, Howes D. Absorption, metabolism and excretion of anionic surfactants. en Gloxhuber C. *Anionic surfactants: biochemistry, toxicology and dermatology*. Surfactant Series #18, Marcel Dekker 2ª edición, 1987, New York.
29. Blank IH, Gould E. J Invest Dermatol 1959; 33: 327 - 36. (citado en 28)
30. Blank IH, Gould E. J Invest Dermatol 1961; 37: 311 - 5. (citado en 28)
31. Blank IH, Gould E. J Invest Dermatol 1961; 37: 485 - 8. (citado en 28)
32. Blohm SG, Lodin A. Acta Dermatol Venerol 1968; 48: 7. (citado en 231)
33. Bornmann G, Loeser A. Fette, Seifen, Anstrichm 1961; 63: 938 - 40. (citado en 233).
34. Bornmann G, Loeser A. Fette, Seifen, Anstrichm 1963; 65: 818 - 24. (citado en 233).
35. Brown RM, McClelland MI, Deininger RA, Tozer RG. Water Sewage Works 1970; 117(10): 339. (citado en 304)
36. Buehler EV, Newman EA, King WR. Toxicol Appl Pharmacol 1971; 18: 83 - 91. (citado en 233).
37. Bulletin National Clearinghouse for poison Control Centers Household. Soap, Detergent and Cleaners Ingestions I / II, 1975. (citado en 166)
38. Bulletin National Clearinghouse for Poison Control Centers Tabulations of 1975. Case Reports III, 1977. (citado en 166)

39. Bulletin National Clearingjouse for Poison Control Centers Tabulations of 1975. Case Reports IV, 1977. (citado en 166)
40. Bunch RL, Chambers CW. A biodegradability test for organic compouns. JWPCF 1967; 39: 181 - 7. (citado en 300)
41. Burke B, Olavesen AH, Curtis CG, Powell GM. Xenobiotica 1975; 5: 573 - 84. (citado en 28)
42. Caballero Espinoza AM. Representación gráfica del metabolismo de alimentos, energeticos y agua de la Ciudad de México. SEDUE. Dic, 1977.
43. Cabejszek Y, Rybak M, Styczynsky B. Chem Abstr 1964; 60: 6121c. (citado en 233).
44. Calamari D, Marchetti R. The toxicity of mixtures of metals and surfactants to rainbow trout (*Salmo gairdneri Rich*). Water Res 1973; 7: 1453 - 64.
45. Calamari D. The role of ecotoxicology in the assessment of human exposure to chemical sustances. Hum Exp Toxicol 1992 Sep; 11(5): 307 - 10.
46. Calandra JC, Fancher OE. Cleaning Products and their accidental ingestion. The Soap and Detergent Association. New York, 1976. (citado en 165)
47. Calvosa L, Monteverdi A, Rindone B, Riva G. Ozone oxidation of compounds resistant to biological degradation. Water Res 1991; 25(8): 985 - 93.
48. Cámara Nacional de Grasas y Jabones. Comunicación personal con el Ing Ramón Abad, director de dicha cámara.
49. Cann HM, Verhulst HL. Toxicity of household soap and detergent products and treatment of their ingestion. Amer J Dis Child 1960; 100: 157 - 60. (citado en 166)
50. Carson ST, Oser BL. Soc Cosmet Chem 1964; 15: 137 - 47. (citado en 233).
51. Cayle T. Enzymes. en: Cutler WG. *Detergency*, 2a. ed, vol 5, part II, pp 665 - 78. Marcell Dekker, New York, 1975.
52. Chawla G, et al. Phycotoxicity of linear alkylbenzene sulphonate. Ecotoxicol Environ Contam Toxicol 1987 Dec; 39(6): 1036 - 40.
53. Christensen PN, Holm P, Sonder B. J Am Oil Chem Soc 1978; 55: 109. (citado en 224).
54. von Clarmann M. Vergiftung durch inhalationbzw aspiration eines schaubades. Fortschr Med 1965; 83: 137 (citado en 166).
55. Commoner B. *El círculo que se cierra*. Plaza & Janés, De.; Barcelona, España, 1973. (citado en 56).
56. Commoner B. *En Paz con el Planeta*. Biblioteca de Divulgación Científica. Muy Interesante No.37. Barcelona, España, 1993.
57. Compton J, Hart WJ. Textile Res 1954; 24(6): 263. (citado en 224).
58. Connell DW, Miller GJ. *Chemistry and ecotoxicology of pollution*. John Weley and Sons, pp 278 - 87.

59. Connor DS, Ritz HL, Ampulk RS, Kowolik HG, Lim P, Thomas DW, Parkhurst R. Fette, Seifen, Anstrichim 1975; 77(1): 25. (citado en 231)
60. Considine DM. (editor). *Chemical and Process Technology Enciclopedia*. Mac Graw Hill 1974; pp 348.
61. Cross P, Jackson C Jr., Chicone J Jr. The production of citrus with reclaimed water. *Water Envir Fed* 1992; Jun 28 - Jul 1: 95 - 105.
62. Cruickshank García, G. Proyecto Texcoco. XI Congreso Nacional de Geografía. Sociedad Mexicana de Geografía y Estadística. Sección Académica de Geografía. México, D.F., 1987.
63. Dagley S. A biochemical approach to some problems of environmental pollution. En: *Assays in biochemistry*. Vol II. Campbell PN & Aldridge WN, eds. Academic (London), 1975; pp 81 - 138. (citado en 300)
64. Davies RE, Kynoch SR, Liggett MP. *J Soc Cosmet Chem* 1976; 27: 301 - 6. (citado en 154).
65. Deffis Caso A, Molina Dorantes SD. La casa ecológica autosuficiente para climas templado y frío. México, Junio 1992; pp. 112 - 149.
66. Degens PN Jr, van der Zee H, Commer JD, Kamphuis HA. Synthetic detergents and sewage processing V: Effect of synthetic detergents on certain water fauna. *JISP* 1950; 63 - 68. (citado en 300)
67. Delchmann WB. Hazards of alkaline laundry detergents. *JAMA* 1972; 220: 1014. (citado en 166)
68. Denner WHB, Olavesen AH, Powell GM, Dodgson KS. *Biochem J* 1969; 111: 43 - 51. (citado en 28)
69. Departamento del D.F. Memorias de las obras del sistema de drenaje profundo del D.F. Tomos I, II y IV. Atlas de planos técnicos e históricos (descripción de toda la Cuenca del Valle de México en planos). México, D.F. 1975.
70. D.D.F. Memoria. Programa de uso eficiente del agua. Subsecretaría General de Obras. Dirección General de Construcción y Operación Hidráulica. México, D.F., agosto 1990.
71. Désl Y, Somosi G. Toxicological investigation and evaluation of drink-water pollution caused by chemical wastes. *Ecotoxicol Env Safety* 1984; 8: 315 - 27.
72. Dillan KW, Goddard DE, McKenzie DA. *J Am Oil Chem Soc* 1979; 56: 59. (citado en 224).
73. Dillan KW, Goddard DE, McKenzie DA. *J Am Oil Chem Soc* 1980; 57: 230. (citado en 224).
74. Drachev SM, Bylinkina AA, Garshenin VF. *Chem Abstr* 1966; 64: 4789h. (citado en 233)
75. Dralze JH, Woodward G, Calvery H. *J Pharmacol Exp Ther* 1944; 82: 377 - 90. (citado en 155)

76. Draize JH, Kelley EA. *Drug Cosmet Ind* 1952; 71: 36. (citado en 155)
77. Draize JH. *Food and Drug Cosmet Law J* 1955; 10: 722 - 32. (citado en 155)
78. Draize JH. Appraisal of the safety of chemicals in foods, drugs and cosmetics. Association of Food and Drug Officials of the United States Business Office, Bureau of Food and Drugs. Austin, Texas. *Chap Dermal Toxicity* 1959; 46 - 48. Texas State Dept of Health. (citado en 155).
79. Dreger EE, Keim GI, Miles GD, Shedlovsky L, Ross J. *Ind Eng Chem* 1944; 36: 610. (citado en 224)
80. Duemling WW. *Arch Dermatol Syphilol* 1941; 43: 264. (citado en 155).
81. Durham K (editor). *Surface activity and detergency*. MacMillan and Co. Ltd, London 1961.
82. Eckenfelder W, Ortiz E, Dos Santos L. Manual de evaluación y manejo de sustancias tóxicas en aguas residuales Secc. 6. Control de Sustancias Tóxicas. Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente. Organización Panamericana de la Salud. OMS, Lima, Perú, 1989.
83. Eganhouse RP, Kaplan IR. Extractable organic matter in municipal wastewaters. 2. Hidrocarbons: molecular characterization. *Environ Sci Technol* 1982; 16(9): 541 - 51.
84. Eganhouse RP, Blumfield DL, Kaplan IR. Long-chain alkylbenzenes as molecular tracers of domestic wastes in the marine environment. *Env Sci Technol* 1983; 17(9): 523.
85. Eganhouse RP, Ruth EC, Kaplan IR. Determination of long-chain alkylbenzenes in environmental samples by argentation thin-layer chromatography/High-resolution gas chromatography and gas chromatography/mass spectrometry. *Anal Chem* 1983; 55(13): 2120 - 6.
86. Elworthy PH, Macfarlane CB. *J Chem Soc* 1964; pp 311. (citado en 224).
87. EPA (U.S. Environmental Protection Agency) Pesticide program. Guidelines for registering pesticides in the United States. *Fed Reg* 1975; 40: 26802 - 26928. (citado en 300)
88. EPA. Quality criteria for water. Washington, 1976. (citado en 300)
89. EPA. National secondary drinking water regulations. *Fed Reg* 1979; 44: 42195 - 42202. (citado en 300)
90. EPA. Lake Erie Intensive Study, 1978 - 1979: Final Report. Oficina del Programa Nacional para los Grandes Lagos, Region 5, Chicago, 1984. (citado en 56)
91. Epstein S, Thronson AH, Dock W, Tainter MI. *J Amer Dental Ass* 1939; 26(9): 1461 - 71. (citado en 233).
92. Fair GM, Geyer JC, Okvn DA. *Water and wastewater engineering, Vol. I*. Wiley eds, New York 1966; 3 - 6. (citado en 304)

93. Fairing JD, Short FR. Spectrophotometric determination of ABS detergents in surface water and sewage. *Anal Chem* 1956; 28: 1827 - 34. (citado en 300)
94. Ferguson FA. *Environ Sci Technol* 1968; 2: 188. (citado en 224)
95. Ferguson LN. *J Am Chem Soc* 1955; 77: 5288. (citado en 304)
96. Finkelstein P, Laden K, Miechowski W. *J Invest Derm* 1963; 40: 11 - 14. (citado en 155)
97. Fisher AA. En: *Contact Dermatitis*. Lea & Febiger Eds. 2a edición 1973: pp 73. (citado en 231)
98. Fisher WK, Gerike P, Schmid R. Method combination for sequential testing and evaluation of biodegradability of synthetic substances, e.g. organic chelants, through generally applicable gross parameters (BDO, CO<sub>2</sub>, COD, TOC). *Z Wass - Abwass - Forsch* 1974; 4: 99 - 118. (citado en 300)
99. Fisher WK, Gerike P, Holtmann W. Biodegradability determinations via unspecific analyses (Chemical oxygen demand, dissolved organic carbon) in coupled units of the OECD confirmatory test. - I. The test. *Water Res* 1975; 9: 1131 - 5. (citado en 300)
100. Fisher WK, Gerike P. Biodegradability determinations via unspecific analyses (Chemical oxygen demand, dissolved organic carbon) in coupled units of the OECD confirmatory test. - II. Results. *Water Res* 1975; 9: 1137 - 41. (citado en 300)
101. Fitzhugh OG, Nelson AA. *J Amer Pharm Ass* 1948; 37(1): 29 - 32. (citado en 232)
102. Flores Soto RO. *Contaminación y remoción de los contaminantes tóxicos prioritarios en los sistemas de tratamiento convencionales de aguas residuales*. SEDUE, Subsecretaría de Ecología. Dirección General de Prevención y Control de la Contaminación Ambiental. México, D.F., Diciembre 1989.
103. Fogels A, Sprague JB. Comparative short-term tolerance of zebrafish, flagfish and rainbow trout to five poisons including potential reference toxicants. *Water Res* 1977; 11: 811-7.
104. Fogelson SJ, Shock DE. *Arch Int Med* 1944; 73: 212 - 6. (citado en 233)
105. Frazee CZ, Crisler RO. Infrared determination of alkyl branching in detergent ABS. *J Am Oil Chem Soc* 1964; 41: 334 - 5.
106. Freeman S, Burrill MW, Li TW, Ivy AC. *Gastroenterology* 1945; 4: 332 - 43. (citado en 233)
107. Fregert S. En: *Manual of Contact Dermatitis*. Munksgaard, 1974, pp 29 - 38. (citado en 231)
108. Fregert S. *Contact Dermatitis* 1975; 1(2): 104. (citado en 231)
109. Friberg L, Skog E, Wahlberg JE. *Acta Dermatol Venereol* 1961; 41: 40 - 52.

(citado en 28)

110. Fuchs RJ, Polkowski JM, Carfagno PP. Chemical Times Trends 1977; 37. (citado en 224).
111. Furry MS, O'Brien EM. Am Dyestuff Rep 1952; 41: 861. (citado en 224).
112. Gale LE, Scott PM. J Amer Pharmac Ass 1953; 42: 283 - 7. (citado en 233)
113. Garrett HE. Trans ST. Johns Hosp Dermatol Soc 1965; 51: 36. (citado en 231)
114. Garshenin VF. Chem Abstr 1964; 60: 6617h. (citado en 233)
115. Gellini R, Pantani F, Grossoni P, Bussotti F, Barbolani F, Rinaldo C. Survey on the deterioration of the coastal vegetation in the park of San Rossore in central Italy. Env J for Pathol 1983; 13 (5 - 6): 296 - 304.
116. Gerike P, Fisher WK. A correlation study of biodegradability determinations with various chemicals in various tests. Ecotoxicol Env Safety 1979; 3: 159 - 173.
117. Gerike P, Fisher WK. A correlation study of biodegradability determinations with various chemicals in various tests. II. Additional results and conclusions. Ecotoxicol Env Safety 1981; 5: 45 - 55. (300)
118. German Government. Ordinance on the degradability of detergents in washing and cleaning agents. Bundesgesetzblatt (Bonn) part I, No. 49: 698 - 706 (Dec 12, 1962) (citado en 300)
119. Ginn ME, Harris JC. J Am Oil Chem Soc 1961; 38: 605. (citado en 224).
120. Gisslen H, Magnusson B. Acta Derma Venereol 1966; 46: 269 - 74. (citado en 155)
121. Gledhill WE. Linear alkylbenzene sulfonate: biodegradation and aquatic interactions. Advan Appl Microbiol 1975; 17: 265 - 93.
122. Gledhill WE. Microbial degradation of a new detergent builders, carboxymethyl-tartronate (CMT), in laboratory activated sludge systems. Water Res 1978; 12(8): 591 - 7.
123. Gloxhuber Ch. Hygienische bedeutung und toxikologische beurteilung von geschirrspülmitteln. Med Welt 1967; 18: 46 - 55. (citado en 166)
124. Gloxhuber Ch. Vergiftungen Mit reinigungs und spülmitteln. Med Heute 1968; 17: 232. (citado en 166)
125. Gloxhuber Ch. Über die behandlung nach einnahme von wasch-und reinigung smitteln. Med Welt 1968; 19: 351 - 7. (citado en 166)
126. Gloxhuber Ch. Fette, Seifen, Anstrichm 1972; 74: 49 - 57. (citado en 233).
127. Gloxhuber Ch. Toxicological proprieties of surfactants. Arch Toxicol 1974; 32: 245-70. (citado en 166)
128. Gloxhuber Ch, Schulz KH. Test methods in dermatology. en: Cuttler WG. *Detergency*. 2a. ed, vol 5, part II, pp 695 - 706. Marcell Dekker, New York, 1975.
129. Gomez Jara F. *Aceltes, jabones y multinacionales* II parte: 80 años de

- industria aceitera, jabonera y de cosméticos en México. Ed. Nueva Sociología. Colección La Investigación social. México, 1978.
130. Grant RL, Yao C, Gabaldon D, Acosta D. Evaluation of surfactant cytotoxicity potencial by primary cultures of ocular tissues: I. Characterization of rabbit corneal epithelial cells and initial injury and delayed toxicity studies. *Toxicology* 1992; 76(2): 153 - 76.
  131. Gray FW, Gerecht JF, Krems IJ. Preparation of model long chain alkylbenzenes and study of their isomers' sulfonation production. *J Org Chem* 1955;20: 511. (citado en 224).
  132. Greminger GK Jr., Teot AS. *J Am Oil Chem Soc* 1978; 55: 122. (citado en 224).
  133. Griffiths JF, Weaver JE, Whitehouse HS, Poole RL, Newman EA, Nixon GA. *Food Cosmet Toxicol* 1969; 7(6): 58. (citado en 231)
  134. Hammerton C. Observations on the decay of synthetic anionic detergents in natural waters. *J Appl Chem (London)* 1955; 5: 517 - 24. (citado en 300)
  135. Hatton EH, Fosclick LS, Calandra J. *J Dental Res* 1940; 19: 87 - 92. (citado en 233).
  136. Havermann VH, Menke KH. *Sonderheft Zeitschr. Landwirtsch Forsch* 1957; 9: 140 - 6. (citado en 28)
  137. Hellwing DHR. Preservation of water samples. *Int J Air Water Pollutions* 1964; 8: 215 - 28. (citado en 300)
  138. Hellwing DHR. Preservation of water samples. *Water Res* 1967; 1: 79 - 91. (citado en 300)
  139. Herbert DWM, Elkins GHJ, Mann HT, Hemens J. Toxicity of synthetic detergents to rainbow trout. *J Wat Waste Treat* 1957; 6: 394 - 7.
  140. Hilli JT. Daily human intake. en Gloxhuber C. *Anionic surfactants: biochemistry, toxicology and dermatology*. Surfactant Series #18. Marcell Dekker 2ª edición, 1987. New York.
  141. Hine CH, Anderson HH, Finky I, Moore JG. *J Am Ass* 1953; 42(8): 489 - 95. (citado en 233).
  142. Hoffmann H. *Fette, Seifen, Anstrichm* 1958; 60: 367 - 9. (citado en 155)
  143. Hoppe JO, Alexander EB, Miller LC. *J Amer Pharmac Ass, Sci Edit* 1950; 39: 147. (citado en 155)
  144. Hopper SH, Hulpieu HR, Cole VV. *J Amer Pharm Ass* 1949; 38(8): 428 - 32. (citado en 231).
  145. Howes D. *J Soc Cosmet Chem* 1975; 26: 47 - 63. (citado en 28)
  146. Howes D. *Toxicology* 1976; 6: 67 - 76. (citado en 28)
  147. Hueper WC. *Arch Pathol* 1944; 38: 381 - 91. (citado en 233).
  148. Hutchinson E, Shinoda K. An outline of the solvent properties of surfactant

- solutions. En: *Solvent properties of surfactant solutions*. Shinoda K, eds. Marcell Dekker, New York 1967: 1 -26.
149. Ianini H. Guía de la contaminación industrial, urbana y agraria. Tomo I. SEDUE, octubre 1981.
  150. IEPES. Plan de desarrollo integral de la zona metropolitana de Ciudad de México. Instituto de Estudios Políticos, Económicos y Sociales del PRI. Medio Ambiente, 1982.
  151. INEGI. Estadística Industrial anual 1980. Secretaría de Programación y Presupuesto. Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática. México, 1983.
  152. INEGI. XI Censo General de Población y Vivienda 1990. Secretaría de Programación y Presupuesto. Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática. México, 1993.
  153. Janicke W. Toxic action of surfactant from the viewpoint of water management. *Bundesgesundheitsblatt* 1973; 16: 242 - 6. (citado en 300)
  154. Karabinos JV, Bartels GE, Kapella GE. *J Am Oil Chem Soc* 1954; 31: 419. (citado en 224).
  155. Kästner W. Local Tolerance (animal test): mucous membranes and skin. En: Gloxhuber C. *Anionic surfactants: biochemistry, toxicology and dermatology*. Surfactant Series □19, Marcel Dekker 2a ed, 1987, New York.
  156. Kay JH, Kohn FE, Calandra JC. *Toxicol Appl Pharmacol* 1965; 7(6): 812 -8. (citado en 233)
  157. Kile DE, Chiou CT. Water solubility enhancements of DDT and trichlorobenzene by some surfactants below and above the critical micelle concentration. *Environ Sci Technol* 1989; 23(7): 832 - 8.
  158. Kimerle RA, Swisher RD. Reduction of aquatic toxicity of linear alkylbenzene sulfonate (LAS) by biodegradation. *Water Res* 1977; 11(1): 31 - 7. (citado en 300)
  159. Kirsner JB, Wolff RA. *Gastroenterology* 1944; 2: 93 - 101. (citado en 233).
  160. Klauder JV. *J Soc Cosmet Chem* 1960; 11: 249. (citado en 155)
  161. Kligman AM, Mills OH. *Arch Dermatol* 1972; 106: 843 - 50. (citado en 155)
  162. Kling W, Langer E, Haussner I. *Melland Textilber* 1945; 25: 198. (citado en 224).
  163. Kling W, Mahl H. *Melland Textilber* 1954; 35: 640. (citado en 224).
  164. Knapp JW, Morgar JM Jr. Biodegradability of detergents at Manassas Air Force Station. *Purdue Conf.* 1965; 20: 737 - 45. (citado en 300)
  165. Kobayashi H, Ichikawa H, Fujii T, Yano N, Kanno T, Hiraga K, Nakamura H, Watanabe Y y Mimura S. *Tokyo Toritsu Eisei Kenkyusho Kenkyu Nempo* 1972; 24: 397 - 408. (citado en 233)

166. Krienke EG, Ritter S, Muhlendahl KE. Observations on tolerance in cases of ingestion. en: Gloxhuber C. *Anionic surfactants: biochemistry, toxicology and dermatology*. Surfactant Series #18. Marcell Dekker 2ª edición, 1987. New York.
167. Kuti SA. J Am Oil Chem Soc 1978; 55: 141. (citado en 224).
168. Lal H, Misra V, Viswanathan PN, Krishna Murti CR. Comparative studies on ecotoxicology of synthetic detergents. *Ecotoxicol Env Safety* 1983; 7: 538 - 45.
169. Lal H, Misra V, Viswanathan PN, Krishna Murti CR. The water flea (*Daphnia magna*) as a sensitive indicator for the assessment of toxicity of synthetic detergents. *Ecotoxicol Env Safety* 1984 ; 8: 447
170. Larson RJ. Structure-activity relationships for biodegradation of linear alkylbenzene-sulfonates. *Env Sci Technol* 1990; 24(8): 1241 - 6.
171. Lewis MA. Chronic toxicities of surfactants and detergent builders to algae: a review and risk assessment. *Ecotoxicol Environ Safety* 1990; 20(2): 123 - 40.
172. Little AD. Human safety and environmental aspects of major surfactants. Rep. Nº PP - 301193, National Technical Information Service. Springfield, Virginia, 1977. (citado en 10)
173. Litz N, Doering HW, Thiele M, Blume HP. The behavior of linear alkylbenzene sulfonat in different soils: a comparison between field and laboratory studies. *Ecotoxicol Env Safety* 1987; 14: 103 -16.
174. Loeb L, Sanford PB, Cochran SD. J AM Oil Chem Soc Feb 1964; 41: 120. (citado en 224).
175. Loehr RC, Bergeron B. Preservation of wastewater samples prior to analyses. *Water Res* 1967; 1: 577 - 86. (citado en 300)
176. Lucassen-Reynders EH. *Anionic surfactants: physical chemistry of surfactant action*. Marcell Dekker, New York, 1981.
177. Ludeman HA, Balog JA, Sherrill JC. J Am Oil Chem Soc 1958; 35: 5. (citado en 224).
178. Lundahl P. Contribution to the study of water pollution by toxic substances: biological properties of some anionic surfactants. Dr. Ing. Thesis, Univ. Paris VI. 1974. (citado en 300)
179. Lundahl P, Cabridene R. Method for study of evolution of toxicity of pollutants during biodegradation. Application to surfactants. *J Fr Hydrol* 1976; 7: 143 - 9. (citado en 300)
180. Lyon JB. Practitioner 1961; 186: 485 - 92. (citado en 231)
181. Lyon PA, Stebbings WL, Crow FW, Tomer KB, Lippstreu DL, Gross ML. Analysis of anionic surfactants by mass spectrometry/mass spectrometry with fast atom bombardment (FAB). *Anal Chem* 1984; 56(1): 8 - 13.

182. Lynn JL. Enciclopedia de Tecnología Química. Vol. 22. México, 1983.
183. Llenado RA, Jamieson RA. Surfactants. Anal Chem 1981; 53(5): 174R - 182R.
184. Llenado RA, Neubecker TA. Surfactants. Anal Chem 1983; 55(5): 93R - 102R.
185. Magnusson B, Gilje O. Acta Dermato-Venerol 1973; 53(2): 136 - 40. (citado en 231)
186. Maienthal EJ, Becker DA. A survey of current literature on sampling sample handling and long term storage for environmental materials. Natl Bur Stds (U.S.), Tech Note 929, 1976; CA 86: 52264 j. (citado en 300)
187. Maihold G y Quadri de la Torre G.(editores). Aguas residuales de la zona metropolitana de Cd. de México. Impactos y perspectivas. Fundación Friedrich Ebert, D.D.F., México, 1989.
188. Marcomini A, Giger W. Simultaneous determination of linear alkylbenzene sulfonates, alkylphenol polyethoxylate, and nonylphenol by high-performance liquid chromatography (HPLC). Anal Chem 1987; 59(13): 1709 - 15.
189. Mayhew RL, Hyatt RC. J Am Oil Chem Soc 1952; 29: 357. (citado en 224).
190. McCarthy PL, Klusman RW, Cowling SW, Rice JA. Water analysis. Anal Chem 1991; 63(12): 301R - 342R.
191. McFeters GA, Bond PJ, Olson SB, Tchan YT. A comparison of microbial bioassays for the detection of aquatic toxicants. Water Res 1983; 17: 1757 - 62. (citado en 300)
192. Michael WR. Toxicol Appl Pharmacol 1968; 12: 473 - 85. (citado en 166)
193. Mills OH, Kligman AM. Arch Dermatol 1975; 111: 65 - 8. (citado en 155)
194. Misra V, Kumar V, Pandey SD, Viswanathan PN. Biochemical alterations in fish fingerlings (*Cyprinus carpio*) exposed to sublethal concentration of linear alkyl benzene sulphonate. Arch Environ Contam Toxicol 1991; 21(4): 514 - 7.
195. Moser JH, Huijbregtse KR. Handbook for sampling and sample preservation of water and wastewaters. Envirex Inc, Milwaukee 1976; CA 86: 177110n. (citado en 300)
196. von Mühlendahl KE, Obsrdiss U, Krienke EG. Accidental ingestion of corrosive substances. Arch Toxikol 1978; 39: 299 - 314. (citado en 166)
197. Musterman JL, Morand JM. The use of formaldehyde as a preservative of activated sludge. JWPCF 1977; 49: 45 - 56. (citado en 300)
198. Nakae A, Tsuji K, Yamanaka M. Determination of trace amounts of alkylbenzenesulfonates by High-performance liquid chromatography with fluorimetric detection. Anal Chem 1980; 52(14): 2275 - 7.
199. Nakae A, Tsuji K, Yamanaka M. Determination of alkyl chain distribution of alkylbenzene-sulfonates by liquid chromatography. Anal Chem 1981; 53(12): 1818 - 21.
200. NAS/NAE (National Academy of Sciences / National Academy of Engineering

- Committee of Water Quality Criteria) Water quality criteria 1972. EPA - R3 - 73 - 033, U.S. Gov Printing Office, Washington, 1973. (citado en 300)
201. Neiditch OW. Definition of terms. en: Cutler WG. *Detergency*. Marcel Dekker 1a ed, vol 5, part I, pp 5 - 29. New York, 1972.
  202. Nilsen A, Wikström K. *Acta Dermato-Venerologica* 1955; 35: 292 - 9. (citado en 231)
  203. Nilsen A. *Acta Dermato-Venerol* 1958; 38: 104. (citado en 231)
  204. Nissem JA. *Nature* 1960; 187: 308 - 10 (citado en 231)
  205. Nissem JA, Vesilind PA. Preserving activated sludge. *Water Sewage Works* 1974; 121(8): 48 - 51. (citado en 300)
  206. Norma Oficial Mexicana. NOM-AA-3-1980. Análisis de agua. Aguas residuales - muestreo. Febrero 11, 1980.
  207. Norma Oficial Mexicana. NOM-AA-14-1980. Análisis de agua. Cuerpos receptores - muestreo. Diario Oficial agosto 27, 1980.
  208. Norma Oficial Mexicana. NOM-AA-28-1981. Análisis de agua. Determinación de la demanda bioquímica de oxígeno. Diario Oficial marzo 20, 1981
  209. Norma Oficial Mexicana. NOM-AA-30-1981. Análisi de agua. Determinación de la demanda química de oxígeno. Diario Oficial marzo 20, 1981.
  210. Norma Oficial Mexicana. NOM-AA-39-1980. Análisis de agua. Determinación de sustancias activas al azul de metileno (detergentes). Diario Oficial agosto 29, 1980.
  211. Norma Oficial Mexicana. NOM-CCA-030-ECOL/1993. Límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales a cuerpos receptores provenientes de la industris de jabones y detergentes. Diario Oficial octubre 18, 1993.
  212. Norma Oficial Mexicana. NOM-CCA-031-ECOL/1993. Límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales provenientes de la industria, actividades agroindustriables, de servicios y el tratamiento de aguas residuales a los sistemas de drenaje y alcantarillado urbano y municipal. Diario Oficial octubre 18, 1993.
  213. Norma Oficial Mexicana. NOM-CCA-032-ECOL/1993. Límites máximos permisibles de contaminantes en las aguas residuales de origen urbano o municipal para su disposición mediante riego agrícola. Diario Oficial octubre 18, 1993.
  214. Ōba K, Miura K, Sekiguchi H, Yag R, Mori A. Microanalysis of anionic surfactants In wastewater by IR spectroscopy. *Water Res* 1976; 10: 149 - 55. (citado en 300)
  215. Ōba K. Carcinogenic, mutagenic and teratogenic properties. en: Gloxhuber C. *Anionic surfactants: biochemistry, toxicology and dermatology*. Surfactant

- Series #18. Marcell Dekker 2ª edición, 1987, New York.
216. Ogden CP, Webster HL, Halliday J. Determination of biologically soft and hard alkylbenzenesulfonates in detergents and sewage. *Analyst* 1961; 86: 22 - 7.
  217. Ogura Y, Tamura J. *AR Inst Food Microbiol (Chiba Univ)* 1967; 20: 89 - 94, (citado en 233)
  218. Okahara K, Kurayuki Y, Iseki M, Taniguchi S, Yamada A. *Chem Abtr* 1963; 59: 14478b. (citado en 233).
  219. Olson KJ, Dupree RW, Plomer ET, Rowe VK. *J Soc Cosmet Chem* 1962; 13: 469 - 79. (citado en 233)
  220. Opdyke DL, Snyder FH, Rubenkvering HL. *Toxicol Appl Pharmacol* 1964; 6: 141 - 6. (citado en 231)
  221. Opdyke DL, Burnett CM. *Proc Sci Sect Toilet Goods Ass* 1965; 44: 3 - 4 . (citado en 155)
  222. Organization for Economic co-operation and Development Environmental Directorate. Proposed method for the determination of the biodegradability of surfactants used in synthetic detergents. Organización para la cooperación y el desarrollo económico, París, 1976. (10)
  223. Oser BL, Morgareidge K. *Toxicol Appl Pharmacol* 1965; 7: 819 - 25. (citado en 233).
  224. Othmer K. *Enciclopedia of Chemical Technology*. Surfactants and deterative Systems. John Wiley and Sons, 3a. de; vol 22; 1983; pp 332 - 432.
  225. Ottery J, Olavesen AH, Dodgson KS. *Life Sci* 1970; 9(2): 1335 - 40 (citado en 28)
  226. Painter HA, King EF. The effect of phosphate and temperature on growth of activated sludge and on biodegradation of surfactants. *Water Res* 1978; 12: 909 - 15.
  227. Painter HA. Anionic Surfactants. en: Hutzinger O. *The handbook of Environmental chemistry*. Springer-Verleg, 1a ed, vol 3, part F, pp 6 - 88. Berlin, 1992.
  228. Patoczka J, Pulliam GW. Biodegradation and secondary effluent toxicity of ethoxylated surfactants. *Water Res* 1990; 24(8): 965 - 8.
  229. Paustenbach DJ, Jernigan JD, Bass R, Kalmes R, Scott P. A proposed approach to regulating contaminated soil: identify safe concentrations for seven of the most frequently encountered exposure scenarios. *Regul Toxicol Pharmacol* 1992; 16(1): 21 - 56.
  230. Philip JMc. en: *Fluorescent Whitening Agents*. MVC. Rep 2. Miljovardscentrum. Stockholm, Suecia 1973; 128 - 213. (citado en 231)
  231. Philip JMc. Anionic surfactants: dermatological observations (humans). en: Gloxhuber C. *Anionic surfactants: biochemistry, toxicology and dermatology*.

- Surfactants Series #18, Marcell Dekker 2ª edición, 1987, New York.
232. Pickering QH, Thatcher TO. The chronic toxicity of LAS to *Pimephales promelas*, Rafinesque. J Water Pollut Control Fed 1970; 42: 243.
  233. Potokar MS. Acute, subacute and chronic toxicity data on anionics. en: Gloxhuber C. *Anionic surfactants: biochemistry, toxicology and dermatology*. Surfactant Series #18. Marcell Dekker 2ª edición, 1987, New York.
  234. Powe WC. Laundry soils. en: Cutler WG. *Detergency*. Marcell Dekker, 1a ed, vol 5, part I, pp 31 - 61. New York 1972.
  235. Procuraduría Federal del Consumidor. Hagalo usted mismo. Revista del Consumidor Ago 1978;18:46-7.
  236. Procuraduría Federal del Consumidor. Los peligros de la ropa sintética. Revista del Consumidor Nov 1978; 21: 30 - 33.
  237. Procuraduría Federal del Consumidor. Normas comerciales: los trapitos sucios de jabones y detergentes. Revista del Consumidor Jul 1982; 65: 47.
  238. Procuraduría Federal del Consumidor. Que hay detrás de. . . Los jabones. Revista del Consumidor Jun 1986; 112: 28 - 29.
  239. Procuraduría Federal del Consumidor. Reporte especial: productos de limpieza. Detergentes líquidos para lavado de ropa. Revista del Consumidor Abr 1990; 158: IX -XII.
  240. Procuraduría Federal del Consumidor. Ecología: el lado oscuro de los detergentes. Revista del Consumidor Oct 1990; 164: 17 -19.
  241. Prudden JF. Gastroenterology 1950; 15: 426 - 37. (citado en 233).
  242. Public Health Service Drinking Water Standards (PHS Publication no. 956), 1962. (citado en 304)
  243. Quiroga JM, Sales D, Gomez-Parra A. Experimental evaluation of pollution potential of anionic surfactants in the marine environment. Water Res 1989; 23(7): 801 - 7.
  244. Reng AK. Parfûm Kosmet 1976; 57: 307 - 16. (citado en 155)
  245. Roberts MH Jr, Warinner JE, Tsai Ch, Wright D, Cronin LE. Comparison of estuarine species sensitivities to the toxicants. Arch Environm Contam Toxicol 1982; 11: 681-92.
  246. Röderer G. Toxic effects of tetraethyl lead and its derivatives on the Chrysophyte *Poterioochromonas malhamensis*. VIII. Comparative studies with surfactants. Arch Environ Contam Toxicol 1987; 16: 291 - 301.
  247. Roy D. Toxicity of an anionic detergent, dodecylbenzene sodium sulphonate, to a freshwater fish, *Rita rita*: determination of LC<sub>50</sub> values by different methods. Ecotoxicol Environ Safety 1988;15(2):186.
  248. Ruiz Morales MA. El desarrollo de los jabones y detergentes en México. Tesis UNAM, 1992.

249. Saffiotti U, Shibik P, Opdyke DL. *Toxicol Appl Pharmacol* 1965; 7: 819 - 25. (citado en 233).
250. Sanz-Ibañes J, Jimenez-Castellanos AT. *Arch Inst Farmacol Exptl* 1964; 16(2): 107-13.(citado en 233)
251. Sawyer CN. *J Water Pollut Control Fed* 1966; 38: 737. (citado en 304)
252. Sawyer CN, McCarty PL. *Chemistry for Sanitary Engineers*. McGraw-Hill, New York, 1967. (citado en 304)
253. Schaumberg GD, Levesque-Madore CS, Sposito G, Lund LJ. Infrared spectra evidence for linear alkylbenzenesulfonates in sewage sludge-soil mixtures [letter]. *J Environ Qual* 1981; 10(2): 244.
254. Schmolka IR. *J Am Oil Chem Soc* 1977; 54: 11. (citado en 224).
255. Schott H. *J Am Oil Chem Soc* 1974; 52: 225. (citado en 224).
256. Schott H. Removal of particulate soil. en: Cutler WG. *Detergency*. Marcell Dekker, 1a ed, vol 5, part I, pp 153 - 227. New York, 1972.
257. Schwarz AM, Perry JW. *Surface active agents: their chemistry and technology*. Krieger RE, Publishing Co. New York 1973. (citado en 224)
258. Schwuger MJ, Bartnik FG. Interaction of anionic surfactants with proteins, enzymes and membranes. en: Gloxhuber C. *Anionic surfactants: biochemistry, toxicology and dermatology*. Surfactant Series #18. Marcell Dekker 2ª edición, 1987, New York.
259. Secretaría de Agricultura y Recursos Hidraulicos. Legislación relativa al agua y su contaminación. Subsecretaría de planeación. Dirección general de protección y ordenación ecologica. México 1971.
260. Secretaría de Asentamientos Humanos y Obras Públicas. Desarrollo Urbano. Plantas de tratamiento de aguas negras (Normas de proyectos para diseños). Subsecretaría de Asentamientos Humanos. Dirección general de ecología urbana. México, Julio 1981.
261. Secretaría de Comercio y Fomento Industrial. Jabones y Detergentes. Tratado de Libre Comercio en América del Norte. Monografía #17, 1992.
262. Secretaría de Comercio y Fomento Industrial. Perfumes y Cosméticos. Tratado de Libre Comercio en América del Norte. Monografía #19, 1992.
263. Secretaría de Desarrollo Social. Instituto Nacional de Ecología. Informe de la situación general en materia de equilibrio ecológico y protección al ambiente 1993 - 1994. México 1994.
264. Secretaría de Desarrollo Urbano y Ecología. Ley general del equilibrio ecológico y la protección al medio ambiente. Diario Oficial enero 28, 1988.
265. Secretaría de Desarrollo Urbano y Ecología. Manual de técnicas de muestreo para agua y aguas residuales. Subsecretaría de ecología. Dirección general

- de prevención y control de la contaminación ambiental. programa nacional de capacitación ambiental 1988. Dirección del área de normas y vigilancia. Subdirección de laboratorios. México 1988.
266. Seifert B, Beibert M, Bettzieche H. Seifenabortus und fettembolie. *Zbl Gynäk* 1973; 95: 1159 - 62. (citado en 166)
  267. Shaciwitz JA, Chan AFC, Cussler EL, Evans DF. *J Colloid Interfase Sci* 1981; 84: 47. (citado en 224)
  268. Shebs WT, Smith LS. Synthesis of double-labeled nonionic surfactants and their application to biodegradation studies. *JAOCS* 1981; 58: 592 A. (citado en 300)
  269. Shebs WT, Smith LS. A novel separation of tritiated water formed by biodegradation of surfactant samples and its application to a sample preservation study. *Water Res* 1983; 17: 1691 - 5. (citado en 300)
  270. Shuttleworth TH, Jones TG. *International Congress on Surface Activity*. London, 2nd ed., vol 4, 1957; Academic Press, New York, pp 52 - 9. (citado en 224)
  271. Sigollot JC, Nguyen MH. Isolation and characterization of surfactant degradation bacteria in a marine environment. *FEMS Microbiology Ecology* 1990; 73(1): 59-67.
  272. Simms JR, Woods DRW, Keough T, Schwab BS, Larson RJ. Integrated approach to surfactant environmental safety assessment: fast atom bombardment mass spectrometry and liquid scintillation counting to determine the mechanism and kinetics of surfactant biodegradation. *Anal Chem* 1992; 64(23): 2951 - 7.
  273. Sivak A, Goyer M, Perwak J, Thayer P. Environmental and human health aspects of commercially important surfactants. En: *Solution Behaviour of surfactants*. Vol 1. Mittal KL & Fender EJ, eds. Plenum, New York; 1982. pp. 161-88. (citado en 300)
  274. Skog E, Wahlberg J. *Acta Dermatol Venerol* 1962; 42: 17 - 20. (citado en 155)
  275. Skog E. *Acta Derm - Venereol (Stockholm)* 1968; 48: 549 - 55. (citado en 155)
  276. Smyth HF Jr, Seaton J, Fisher L.J *Ind Hyg Toxicol* 1941; 23: 478-83. (citado en 233).
  277. Snyder FH, Opdyke DL, Griffith JF, Rubenkoenig HL. *Toxicol Appl Pharmacol* 1964; 6: 133 - 40. (citado en 233)
  278. Soap and Detergent Association. Biodegradation subcommittee. Procedure and standars for determination of biodegradability of ABS and LAS. *JAOCS* 1965; 42: 986 - 93. (citado en 300)
  279. Södergren A. An automatic method for the determination of anionic surface-active material in water. *Analyst*, London 1966; 91: 113 - 8.

280. Spraker P, Telepchak M. Foam control and degradation of nonionic detergents. *Industrial Wastes* 1980; 26: 16.
281. Sprenger FJ. Report of sample stabilizing task group of the water chemistry. Experts Group of the German Chemical Society. *Z Wass-Abwass-Forsch* 1978; 11: 128 - 32. (citado en 300)
282. Sprenger FJ. Preservation of water samples. *Water Res* 1981; 15: 233 - 42. (citado en 300)
283. Sprott WE. *Trans St John's Hosp Dermatol Soc* 1965; 51(2): 56-71. (citado en 28)
284. Stelwagon HW, Gaskill HK. en: *A treatise on diseases of the skin for advanced students and practitioners*. Saunders WB, ed; 9a. de., 1921: 453. (citado en 231)
285. Stennett GV, Eden GE. Assessment of biodegradability of synthetic surfactants by tests simulating sewage treatment. *Water Res* 1971; 5: 601 - 9.
286. Stewart JC, Whewell CS. *Textile Res J Dic* 1960; 30: 903-12. (citado en 224)
287. Stübel H. *Synthetische Wasch-und Reinigungsmitteld*. Konradin-Verlang, Stuttgart, 1954. (citado en 224).
288. Stübel H, Szakall A. *Die wirkung von waschmitteln auf die haut*. A Hüthning Verlag ed., Heidelberg 1957. (citado en 155)
289. Stumm W. *Aquatic Chemistry*. Willey Interscience, New York, 1970. (citado en 304)
290. Sullivan WT, Swisher RD. MBAS and Las surfactants in the Illinois River, 1968. *Environ Sci Technol* 1969; 3: 481 - 3.
291. Suskind RR, Whitehouse HS. *Arch Dermatol* 1963; 88(2): 53 - 60. (citado en 231)
292. Suskind RR, Meister MM, Scheen SR, Rebello DGA. *Arch Dermatol* 1963; 88(2): 117. (citado en 231)
293. Suter HR, Kramer MG. *Soap Sanit Chem* 1951; 27(8): 33 (citado en 224).
294. Svenson A, Linlin Z, Kaj L. Primary chemical and physical characterization of acute toxic components in wastewaters. *Ecotoxicol Env Safety* 1992; 24: 234 - 42.
295. Swisher RD. Biodegradation of ABS in relation to chemical structure. *J Water Pollut Control Fed* 1963; 35: 877 - 92. (citado en 304)
296. Swisher RD, O'Rourke JT, Tomlinson HD. Fish bioassays of linear alkylate sulfonates (LAS) and intermediate biodegradation products. *J Am Oil Chem Soc* 1964; 41: 746 - 52.
297. Swisher RD. Identification and estimation of LAS in water and effluents. *J Am Oil Chem Soc* 1966; 43: 137 - 40.
298. Swisher RD. Exposure levels and oral toxicity of surfactants. *Arch Env Health*

- 1968; 17: 232 - 46. (citado en 300)
299. Swisher RD. Infrared analysis of sewage sludge-soil mixtures [letter]. *J Environ Qual* 1981; 10(2): 243.
  300. Swisher RD. *Surfactant Biodegradation*. Marcel Dekker 2a. ed, New York, 1987.
  301. Takada H, Ishiwatari R. Biodegradation experiments of linear alkylbenzenes (LABs): Isomeric composition of C12 LABs as an indicator of the degree of LAB degradation in the aquatic environment. *Env Sci Tech* 1990; 24(1): 86 - 91.
  302. Takada H, Ishiwatari R, Ogura N. Distribution of linear alkylbenzenes (LABs) and linear alkylbenzenesulphonates (LAS) in Tokyo Bay sediments. *Estuar Coast Shelf Sci* 1992; 35: 141 - 56.
  303. Tarring RC. The development of a biologically degradable alkylbenzene sulfonate. *Air Water Pollut* 1965; 9: 545 - 52.
  304. Tenney MW, Carberry JB. Detergents and our environment. en: Cutler WG. *Detergency*. Marcell Dekker, 1a ed, vol 5, part III, pp 900 - 92. New York, 1988.
  305. Terzic S, et al. Determination of linear alkylbenzene sulphonates in the Krka river estuary. *Bull Environ Contam Toxicol* 1993; 50(2): 241 - 6.
  306. Thatcher TO, Santer JF. *Proceedings of 21st Annual Industrial Waste Conference*. Purdue University. West Lafayette, Ind. Vol II, 1966. pp. 996. (citado en 304)
  307. Tlba S. *J Food Hyg Soc (Jap)* 1972; 13: 509 - 15. (citado en 233)
  308. Todd DK. *The water encyclopedia*. Water Information Center, Port Washington, N.Y., 1970.
  309. Toshiaki JH, Thompson BE. The reaction of whitefish, *Coregonus clupeaformis*, to the anionic detergent sodium lauryl sulphate and its effects on their olfactory responses. *Water Res* 1978; 12: 893.
  310. Tushima Y, Moriya T, Yoshimura K. Effects of polioxyethylene (20) sorbitan monooleate on the acute toxicity of linear alkylbenzenesulfonate (C12 LAS) to fish. *Ecotoxicol Environ Safety* 1992; 24(1): 26-36.
  311. Tovell PWA, Newsome C, Howes D. Effect of water hardness on the toxicity of anionic detergent to fish. *Water Res* 1974; 8: 291 - 6.
  312. Tovell PWA, Weaver AC, Hope J, Sprott WE. *Brit J Dermatol* 1974; 90: 501 - 6. (citado en 155)
  313. Tovell PWA, Howes D, Newsome CS. Absorption, metabolism and excretion by goldfish of the anionic detergent sodium lauryl sulphate. *Toxicology* 1975; 3: 17-29. (citado en 28)
  314. Turkovskay OV, Shub GM. Microbial degradation on nonionogenic

- surfactants. *Appl Biochem Microbiol* 1990; 25(6): 657 - 61.
315. Tusing TW, Paynter OE, Opdyke DL. *Toxicol Appl Pharmacol* 1960; 2: 464 - 73. (citado en 233).
  316. Uchiyama M. Determination of alkylbenzenesulfonate in water by UV method. *Water Res* 1977; 11(2): 205 - 7.
  317. Urano K, Saito M, Murata C. Adsorption of surfactants on sediments. *Chemosphere* 1984; 13(2): 293 - 300.
  318. Urano K, Saito M. Biodegradability of surfactants and inhibition of surfactants to biodegradation of other pollutants. *Chemosphere* 1985; 14(9): 1333 - 42.
  319. U.S. Food and Drug Administration. Test for eye irritants. Sec 191.12, Titulo 21, Cap. I del Code of Federal Regulations, 1970. *Fed. Reg.* 29: 130 009.
  320. U.S Pat 29 31 777. Abril 5, 1960. Shelanski HA, para GAF Corporation. (citado en 224)
  321. Utermohlen WP Jr., Wallace EL. *Textile Res J*, 1947; 17: 679. (citado en 200).
  322. Varma MM, Patel D. Nonionic surfactants in perspective. *J Environ Syst* 1988 - 9; 18(1): 87.
  323. Vashon RD, Schwab BS. Mineralization of linear alcohol ethoxylates and linear alcohol ethoxy sulfates at trace concentrations in estuarine water. *Environ Sci Technol* 1982; 16(7): 433 - 6.
  324. Vaughn TH, Vittone AJr, Bacon LR. *Ing Eng Chem* 1941; 33: 1012. (citado en 224)
  325. Vinson LJ. Test methods in toxicology. en: Cutler WG. *Detergency*. Marcell Dekker, 2a ed, vol 5 part III, pp 679 - 93. New York, 1975.
  326. Wagner R. Sampling and sample preparation. *Z Anal Chem* 1976; 282: 315 - 21. (citado en 300)
  327. Walker AIT, Brown VKH, Ferrigan LW, Pickering RG, Williams DA. *Food Cosmet Toxicol* 1967; 5: 763 -9. (citado en 233)
  328. Wannenmacher E. *Fette, Seifen, Anstrichm* 1972; 74: 177 - 80. (citado en 155)
  329. Ward TE, Larson RJ. Biodegradation kinetics of linear alkylbenzene sulfonate in sludge-amended agricultural soils. *Ecotoxicol Env Safety* 1989; 17: 119 - 30.
  330. Weber WH Jr, Morris JC, Stumm W. Determination of alkylbenzenesulfonate by ultraviolet spectrophotometry. *Anal Chem* 1962; 34: 1844 - 5. (citado en 300)
  331. Wells RJ. Water Quality criteria and standards. *Water Pollution Control* 1978; 77: 25 - 30. (citado en 300)
  332. Wickbold R. Enrichment and separation of surfactants from surface waters through transport in the gas/water interfase. *Tenside* 1971; 81: 61. (citado en 10)

333. Wickbold R. Determination of non-ionic surfactants in river and wastewaters. *Tenside* 1972; 9: 173. (citado en 10)
334. Woodard G, Calvery HO. *Proc Sci Sect Toilet Goods Assn* No. 3, 1945:1-4. (citado en 233)..
335. WPCF (Water Pollution Control Federation) Biodegradability subcommittee required characteristics and measurement of biodegradability. *JWPCF* 1967; 39: 1231 - 5. (citado en 300)
336. Yakushev MF, Plotnikov AV, Mochalov AP. Purification of waste water containing synthetic surfactants by radiation degradation method. *Radiokhimiya* 1978; 20(6): 829 - 33.
323. Yoneyama M, Fujii T, Ikawa M, Shiba H, Sakamoto Y, Yano N, Kobayashi H, Ichikawa H, Hiraga K. *Tokyo Toritsu Eisei Kenkyusho Kenkyu Nempo* 1972; 24: 409 - 40. (citado en 233)

*ANEXOS.*

## Anexo I. Toxicidad aguda y toxicidad crónica de detergentes.

TABLA 1. Toxicidad Aguda de Diversos Surfactantes. <sup>(203)</sup>

SURFACTANTE	ESPECIE	APLICACIÓN	LD <sub>50</sub> (mg/Kg.)	REF.
alquilsulfato	Rata	oral	2730	276
n= 8 <sup>a</sup>	Rata	oral	3200	112
n=10	rata	oral	1950	"
n=12	rata	oral	2640	"
n=14	rata	oral	>3500	"
n= 8	ratón	Intraperitoneal	400	"
n=10	ratón	intraperitoneal	290	"
n=12	ratón	intraperitoneal	250	"
n=14	ratón	intraperitoneal	240	"
n= 8	ratón	oral	2900	126
n=10	ratón	oral	2200	"
n=12	ratón	oral	2700	"
n=14	ratón	oral	3000	"
SDS	rata	oral	1200	222
SDS	rata	intraperitoneal	210	95
SDS	rata	oral	1288	332
SDS (Duponol)	cobaya	dérmica	>1200	49
SDS (grado técnico)	rata	oral	1000	335
Texapon K12	rata	oral	1700	232
Texapon Z (n=12-14)	ratón	oral	2010	"
Texapon V (n=12-16)	ratón	oral	2300	"
Texapon A 400 DS de amonio	rata	oral	>5000	"
Texapon LLS DS de litio	rata	oral	5160	"
Texapon MLS DS de MEA	rata	oral	5620	"
Texapon DLS DS de DEA	rata	oral	8730	"
Texapon TH DS de TEA	rata	oral	7940	"
DS de TEA	rata	oral	2750	222
R-ABS <sup>b</sup>	rata	oral	1220	33
R-ABS	rata	oral	2500	42
R-ABS	rata	oral	2200	73
R-ABS	ratón	oral	1620	216
R-ABS	ratón	intraperitoneal	120	"
R-ABS	ratón	intravenosa	121	"
R-ABS	rata	oral	428 - 700 <sup>c</sup>	159
R-ABS	ratón	oral	1330-2090 <sup>c</sup>	"
R-ABS	ratón	oral	1400	217

R-ABS	ratón	oral	1700	232
R-ABS	rata	oral	1400	276
R-ABS (20%)	rata	oral	2200-3200 <sup>c</sup>	143
R-ABS (20%)	ratón	oral	4600	""
R-ABS	rata	oral	1500	335
R-ABS	ratón	oral	2800	""
DoBSS	ratón	oral	2000	143
DoBSS	ratón	intravenosa	105	""
DoBSS	rata	oral	2300	73
DoBSS	ratón	oral	2010	141
DoBSS	Hámster	oral	1131	""
DoBSS	rata	oral	2320	""
DoBSS	conejo	oral	1730	""
Santomerse D	ratón	oral	2100	143
Santomerse D	ratón	intravenosa	115	""
Santomerse D	ratón	oral	2000	335
DoBS de TEA	rata	oral	1400	222
L-ABS <sup>d</sup>	rata	oral	404-1820 <sup>c</sup>	159
L-ABS	ratón	oral	1575-1950 <sup>c</sup>	""
L-ABS	ratón	oral	2300	249
L-DoBSS	rata <sup>f</sup>	oral	1260	33
L-ABS (n = 10 - 14)	rata	oral	650	240

- a) alquilbencensulfatos ramificados. promedio de carbono en la cadena.
- b) alquilbencensulfonatos ramificados.
- c) depende del alimento administrado.
- d) alquilbencensulfonatos de cadena lineal
- e) (SDS): dodecilsulfato de sodio. (DS):dodecilsulfato. (MEA):monoetanolamina. (DEA) dietanolamina. (TEA):trietanolamina. (DoBSS):dodecilbencen sulfonato de sodio.

TABLA 2. Dosis tóxicas de diversos surfactantes.

	ESPECIE	DOSIS/APLICACIÓN	DURACIÓN	HALLAZGOS
DSS <sup>a</sup>	rata	1000 ppm/ en agua	120 días	inhibición de crecimiento
DSS			140 días	irritación tracto gástrico.
DSS			140 días	50% muertos antes del día 50
DSS	rata	10.000 ppm/ en agua	160 días	60% muertos antes del día 60
DSS	rata	50.000 y 100.000 ppm/agua	5 días	Absolutamente letal.
DSS	rata	30 mg/día vía oral	160 días	no hay reacción.
DSS	rata	2500 ppm/ en agua	8 semanas	daño hepático
DSS	rata	5000 ppm/ en agua	5 semanas	no hay reacción
DSS	rata	40. 200 y 1000 ppm / dieta	90 días	no hay reacción.
DSS	rata	5000 ppm /en dieta	90 días	aumento de peso en hígado y riñones
DSS	perro	135 mg/Kg. día vía oral	10 meses	no hay reacción.
DSS	ratón	1000 ppm / en dieta	3 meses	no hay reacción
DSS	hombre	0.1g/Kg. día vía oral	25 días	no hay reacción
DSS	hombre	6000 a 9000 mg/día v. oral	38 días	no hay reacción
DSS	rata	2500,5000 ppm/dieta	2 años	no hay reacción
DSS	rata	40.000 ppm/ en dieta	4 meses	retardo en el crecimiento.
DSS	rata	80.000 ppm/ en dieta	2 semanas	letal, con distensión abdominal
Alquilsulfato de sodio	perro	2 g/ día v.oral	10 meses	no hay reacción
ASS	hombre	1000 mg/día vía oral	8 semanas	no hay reacción.
Hexadecil sulfato de sodio	hombre	3600 mg/día vía oral	15 a 80 días	no hay reacción.
ABS	cobayas	2000 ppm/ dieta	39 días	no hay reacción
ABS	rata	100 mg/Kg. día vía oral	no hay datos	no hay reacción
ABS	perro	1000 mg/Kg. día vía oral	6 meses	no hay reacción
ABS	perro	3000 a 4000 mg/día oral	6 meses	problemas gástricos, muerte
ABS	rata	0.1 del LD <sub>50</sub> /día	45 días	crecimiento de hígado y riñón.
ABS	cobayas	2000 ppm/ en agua	180 días	no hay reacción
ABS	ratón	dérmico al 10%	10 semanas	no hay reacción
ABS	rata	30 mg/Kg. día vía oral	6 meses	no hay reacción
ABS	ratón	20 mg/Kg. día vía oral	4 semanas	84% muerto <sup>b</sup>
ABS	ratón	200 mg /Kg. día vía oral	4 semanas	80% muerto
ABS	ratón	300 mg/Kg. día vía oral	4 semanas	80% muerto.
ABS	ratón	400 mg/Kg. día vía oral	4 semanas	80% muerto
ABS	ratón	1000 mg/Kg. día vía oral	2 semanas	100% muerto
R-ABS <sup>c</sup> Marlón TP42	rata	1000 ppm / en agua	100semanas	no hay reacción
R-ABS Santonense 85	perro	200 y 1000 ppm en dieta	2 años	no hay reacción

R-ABS Santomerse 85	perro	5000 ppm/en dieta	2 años	daño hepático
R-ABS	rata	1000 y 5000 ppm/en dieta	2 años	no hay reacción
R-ABS	rata	500 ppm/en dieta	2 años	no hay reacción
R-ABS	conejo	100 mg/ día via oral	20 días	irritación gastrointestinal.
R-ABS	rata	700 ppm /dieta	6 meses	no hay reacción
R-ABS	rata	2000 ppm/dieta	6 meses	minimo daño renal
R-ABS	rata	6000 ppm/dieta	6 meses	perdida de peso, daño renal.
R-ABS	rata	18000 ppm/dieta	6 meses	síntomas generales, daño renal.
L-ABS <sup>d</sup> n= 10-14	rata	200, 1000 y 5000 ppm/ dieta	2 años	no hay reacción
L-ABS n=10-12	rata	200, 1000 y 5000 ppm/ dieta	90 días	no hay reacción
L. dodecilsulfonato de sodio	rata	100 ppm / en agua	100semanas	no hay reacción
L-ABS n=12	rata	50 mg/Kg. día en dieta	12 semanas	no hay reacción
Alquilariil sulfonato de Na	rata	250 mg/Kg. día en dieta	12 semanas	aumento de peso del hígado.
Alquilariil sulfonato de Na	rata	5000 - 10 000 ppm en dieta	4 meses	no hay reacción
Alquil aril sulfonato de Na	rata	20 000 ppm en dieta	4 meses	inhibición de crecimiento
Alquilariil sulfonato de Na	rata	40 000 ppm en dieta	1 semana	muerte, diarrea.
Alquil aril sulfonato de Na	hombre	100 mg/día vía oral	4 meses	no hay reacción
L-ABS	rata	500 y 1000 ppm en agua	2 años	no hay reacción
L-ABS	rata	700 ppm en dieta	6 meses	no hay reacción
L-ABS	rata	2000 ppm en dieta	6 meses	pequeño daño renal
L-ABS	rata	6000 ppm en dieta	6 meses	perdida de peso, daño renal
L-ABS	rata	18 000 ppm en dieta	6 meses	diarrea, pérdida de peso, daño renal.

a) Dodecilsulfonato de sodio.

b) Cambios tóxicos: hiperplasia de endotelio capilar del miocardio, lesiones necróticas en cerebro, proliferación de histiocitos en hígado e infiltración de linfocitos en pulmones.

c) Alquilbencen sulfonato de sodio ramificado.

d) Alquilbencensulfonato de sodio lineal.

## Anexo II. Localización del Valle de México.

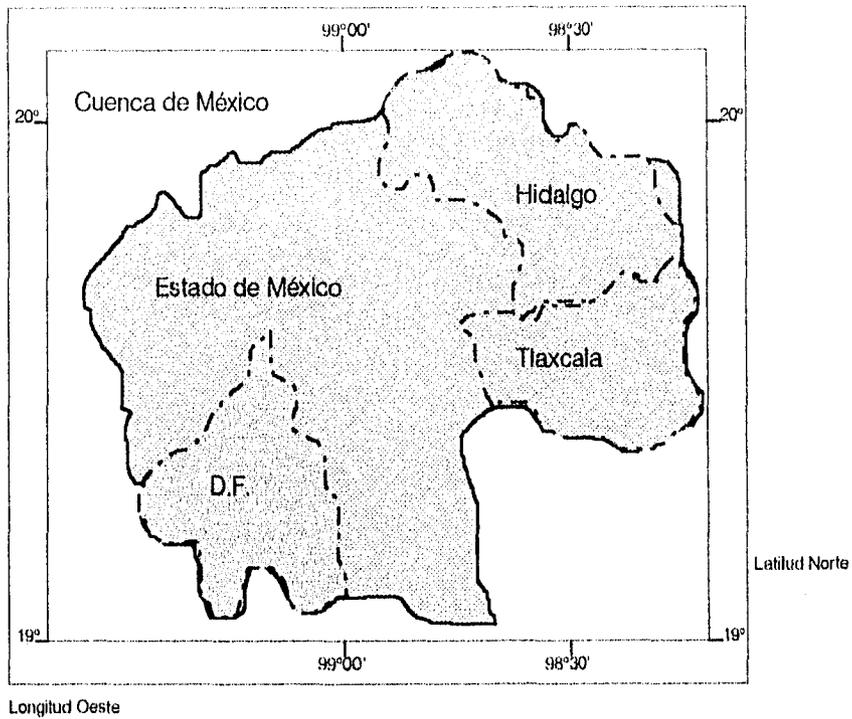
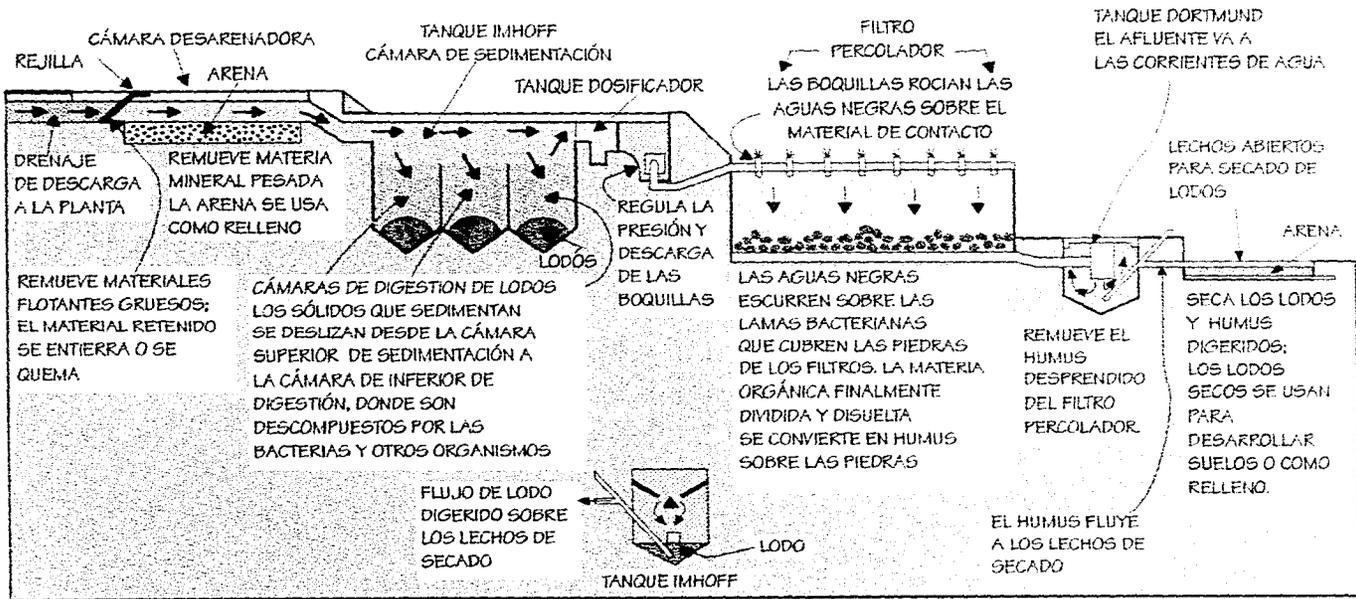


fig. A. 1. Localización geográfica de la Cuenca del Valle de México.

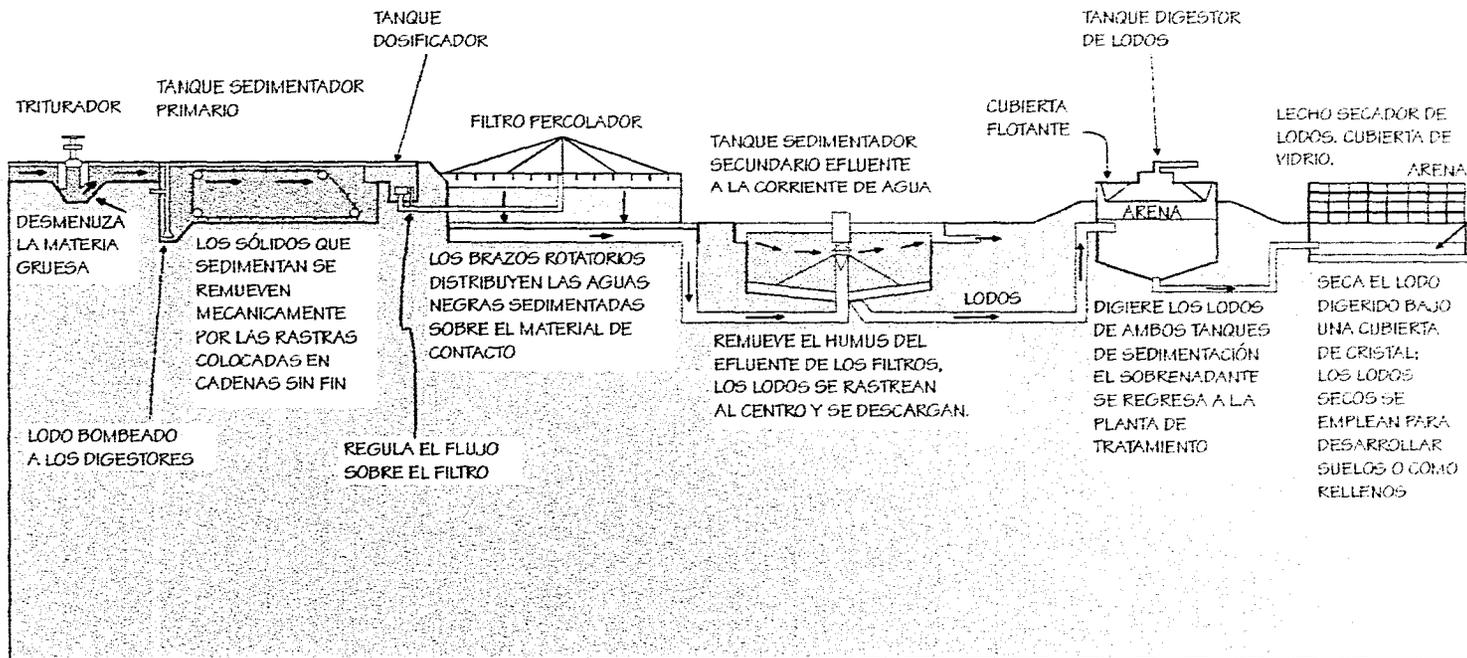
Anexo III. Tipos comunes de plantas para tratamiento de aguas negras.

Anexo III. Tipos comunes de plantas para tratamiento de aguas negras.

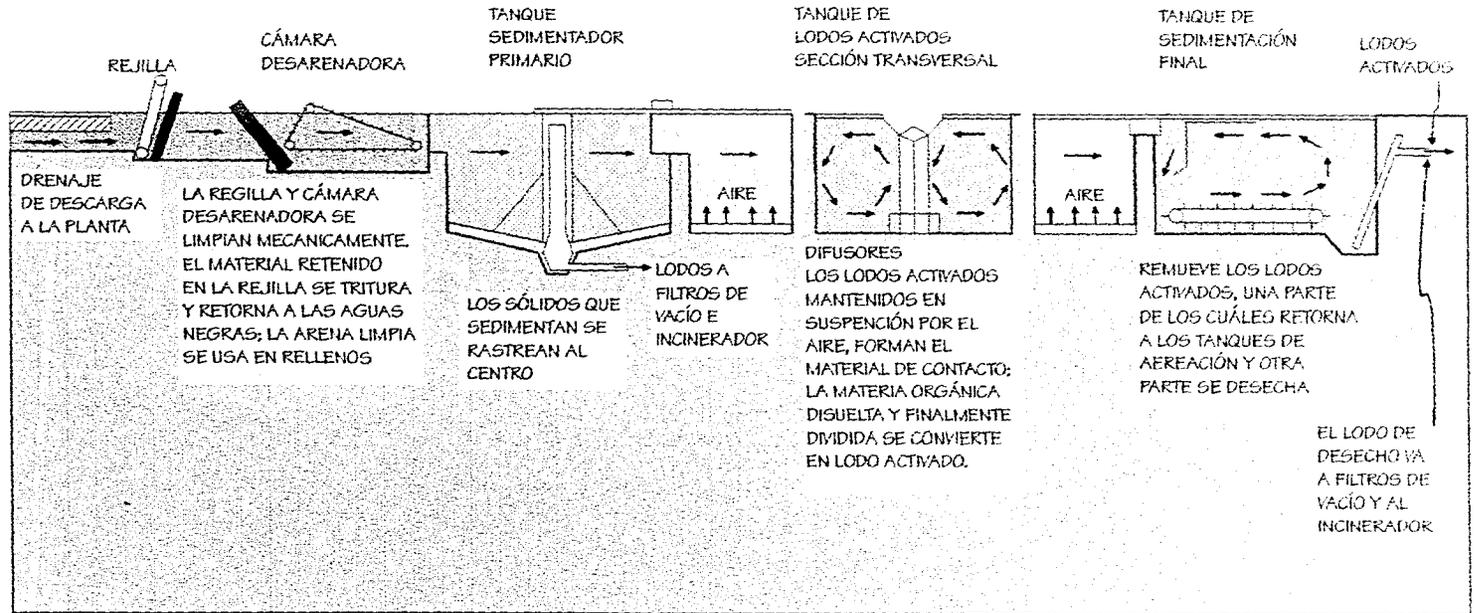


FILTRO PERCOLADOR INCLUYENDO CRIBADO GRUESO, REMOCIÓN DE ARENA, SEDIMENTACIÓN SIMPLE. TRATAMIENTO DE CONTACTO, SEDIMENTACIÓN FINAL Y SECADO DE LODOS

(65)



FILTRO PERCOLADOR INCLUYENDO TRITURACIÓN, SEDIMENTACION SENCILLA, TRATAMIENTO DE CONTACTO, SEDIMENTACIÓN FINAL, DIGESTIÓN Y SECADO DE LODOS



PLANTA DE LODOS ACTIVADOS INCLUYENDO CRIBADO GRUESO, REMOCIÓN DE ARENA, SEDIMENTACIÓN SIMPLE, TRATAMIENTO DE CONTACTO Y SEDIMENTACIÓN FINAL. LOS LODOS SON PARCIALMENTE DEHIDRATADOS MEDIANTE FILTROS DE VACÍO Y POSTERIORMENTE INCINERADOS.

## *Anexo IV. Ley General del Equilibrio Ecológico y La Protección al Medio Ambiente. 1988.*

(264)

### *TITULO PRIMERO: Disposiciones Generales.*

#### Capítulo I: Normas preliminares.

Art. 1o. La presente ley es reglamentaria de las disposiciones de la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos que se refieren a la preservación y restauración del equilibrio ecológico, así como a la protección del ambiente, en el territorio nacional y las zonas sobre las que la nación ejerce su soberanía y jurisdicción. Sus disposiciones son de orden público e interés social y tienen por objeto establecer las bases para . . .

VI. La prevención y control de la contaminación del aire, agua y suelo;

Art. 3o. Para los efectos de esta Ley se entiende por:

I. Ambiente: el conjunto de elementos naturales o inducidos por el hombre que interactúan en un espacio y tiempo determinados.

II. Áreas naturales protegidas: las zonas del territorio nacional y aquellas sobre las que la nación ejerce su soberanía y jurisdicción, en que los ambientes originales no han sido significativamente alterados por la actividad del hombre, y que han quedado sujetas al régimen de protección.

III. Aprovechamiento racional: la utilización que los elementos naturales, en forma que resulte eficiente, socialmente útil y procure su preservación y la del ambiente.

IV. Contaminación: la presencia en el ambiente de uno o mas contaminantes o de cualquier combinación de ellos que cause desequilibrio ecológico.

V. Contaminante: toda materia o energía en cualquiera de sus estados físicos y formas, que al incorporarse o actuar con la atmósfera, agua, suelo, flora, fauna o cualquier elemento natural, altere o modifique su composición y condición natural.

VI. Contingencia Ambiental...

VII. Control: Inspección, vigilancia y aplicación de las medidas necesarias para el cumplimiento de las disposiciones establecidas en este ordenamiento.

VIII. Criterios Ecológicos: los lineamientos destinados a preservar y restaurar el equilibrio ecológico y proteger el ambiente.

IX. Desequilibrio Ecológico: la alteración de las relaciones de interdependencia entre los elementos naturales que conforman el ambiente, que afecta negativamente la existencia, transformación y desarrollo del hombre y demás seres vivos.

X. Ecosistema: la unidad funcional básica de interacción de los organismos vivos entre sí y de éstos con el ambiente, en un espacio y tiempo determinados.

XI. Equilibrio ecológico: la relación de interdependencia entre los elementos que conforman el ambiente que hace posible la existencia, transformación y desarrollo del hombre y demás seres vivos.

XII. Elemento natural: los elementos físicos, químicos y biológicos que se presentan en un tiempo y espacio determinados sin la inducción del hombre.

XIII. Emergencia ecológica: . . .

XIV. Fauna Silvestre: las especies animales terrestres, que subsisten sujetas a los procesos de selección natural, cuyas poblaciones habitan temporalmente o permanentemente en el territorio nacional y que se desarrollan libremente, incluyendo sus poblaciones menores que se encuentren bajo control del hombre, así como los animales domésticos que por abandono se tornen salvajes y por ello sean susceptibles de captura y apropiación.

XV. Flora silvestre: las especies vegetales terrestres, así como hongos, que subsisten sujetas a los procesos de selección natural y que se desarrollan libremente en el territorio nacional, incluyen las poblaciones o especímenes de estas especies que se encuentran bajo control del hombre.

XVI. Flora y fauna acuáticas: las especies biológicas y elementos biogénicos que tienen como medio de vida temporal, parcial o permanentemente las aguas, en el territorio nacional y en las zonas sobre las que la nación ejerce derechos de soberanía y jurisdicción.

XVII. Impacto ambiental: modificación del ambiente ocasionada por la acción del hombre o de la naturaleza.

XVIII. Manifestación del impacto ambiental: el documento mediante el cual se da a conocer, con base en estudios, el impacto ambiental, significativo y potencial que generaría una obra o actividad, así como la forma de evitarlo o atenuarlo en caso de que sea negativo.

XIX. Mejoramiento: el incremento de la calidad del ambiente.

XX. Ordenamiento ecológico: el proceso de planeación dirigido a evaluar y programar el uso del suelo y el manejo de los recursos naturales en el territorio nacional y las zonas sobre las que la nación ejerce su soberanía y jurisdicción, para preservar y restaurar el equilibrio ecológico y proteger el ambiente.

XXI. Preservación: el conjunto de políticas y medidas para mantener las condiciones que propician la evolución y continuidad de los procesos naturales.

XXII. Prevención: el conjunto de disposiciones y medidas anticipadas para evitar el deterioro del ambiente.

XXIII. Protección: el conjunto de políticas y medidas para mejorar el ambiente y prevenir y controlar su deterioro.

XXIV. Recurso natural: el elemento natural susceptible de ser aprovechado en beneficio del hombre.

XXV. Región ecológica: . . .

XXVI. Residuo: cualquier material generado en los procesos de extracción, beneficio, transformación, producción, consumo, utilización, control o tratamiento cuya calidad no permita usarlo nuevamente en el proceso que lo generó.

XXVII. Residuo peligroso: todos aquellos residuos, en cualquier estado físico, que por sus características corrosivas, tóxicas, venenosas, reactivas, explosivas, inflamables, biológicas infecciosas o irritantes, representan un peligro para el equilibrio ecológico o el ambiente.

XXVIII. Restauración: conjunto de actividades tendientes a la recuperación y restablecimiento de las condiciones que propician la evolución y continuidad de los procesos naturales.

XXIX. Secretaría: la Secretaría de Desarrollo Urbano y Ecología.

XXX. Vocación natural: condiciones que presenta un ecosistema para sostener una o varias actividades sin que produzcan desequilibrios ecológicos.

## Capítulo II. Concurrencia entre la Federación, las entidades federativas y los municipios.

Art. 5o. -Son asuntos de alcance general en la nación o de interés de la Federación.

XV. El aprovechamiento racional y la prevención y el control de la contaminación de aguas de jurisdicciones federales, conforme a esta Ley, la Ley Federal de Aguas, las disposiciones vigentes del derecho internacional y las normas que de dichas disposiciones se deriven.

Art. 6o.- Compete a las entidades federativas y municipios en el ámbito de sus circunscripciones territoriales y conforme a la distribución de atribuciones que se establezca en las leyes locales:

VIII. La regulación del aprovechamiento racional y la prevención y el control de la contaminación de las aguas de jurisdicción de los estados;

IX. La prevención y control de la contaminación de aguas federales que tengan asignadas o concesionadas para la prestación de servicios públicos y de las que se descarguen en las redes de alcantarillado de los centros de población, sin perjuicio de las facultades de la Federación, en materia de tratamiento, descarga, infiltración y reuso de aguas residuales, conforme a esta Ley y las demás aplicables;

### Capítulo III. Atribuciones de la Secretaría y coordinación entre las dependencias y entidades de la Administración Pública Federal.

Art. 9o.- En el Distrito Federal la Secretaría ejercerá las atribuciones a que se refiere el artículo 8o. y el Departamento del Distrito Federal ejercerá las que se prevén para las autoridades locales, sin perjuicio de las que competan a la asamblea de representantes del Distrito Federal, ajustándose a las siguientes disposiciones especiales:

A. Corresponde a la Secretaría: . . .

VI. Establecer las condiciones de descarga de las aguas residuales de los sistemas de drenaje del Distrito Federal a los cuerpos receptores;

VII. Expedir coordinadamente con las Secretarías de Agricultura y Recursos Hidráulicas y de Salud, las normas técnicas para regular el alejamiento, explotación, uso o aprovechamiento de aguas residuales;

B. Corresponde al departamento del Distrito Federal:

VI: Aplicar las normas técnicas que expidan la Secretaría y la Secretaría de Salud, para regular las descargas de aguas al sistema de drenaje y alcantarillado del Distrito Federal;

VII. Establecer y desarrollar la política de reuso de aguas en el Distrito Federal, en coordinación con la Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos;

VIII. Implantar y operar sistemas de tratamiento de aguas residuales de conformidad con las normas técnicas ecológicas aplicables;

XVIII. Observar las normas técnicas ecológicas en la prestación de los servicios públicos de alcantarillado, limpia, mercados, y centrales de abasto, panteones, rastros, tránsito y transportes locales;

C. La Secretaría y el Departamento del Distrito Federal se coordinarán particularmente cuando se trate de las siguientes materias:

II. Aplicar, en las obras e instalaciones destinadas al tratamiento de aguas residuales que se construyan en el Distrito Federal, los criterios que emitan las autoridades federales, a efecto de que las descargas en cuerpos y corrientes de agua que pasen al territorio de otra u otras entidades federativas, satisfagan las normas técnicas ecológicas aplicables;

#### Capítulo IV: Política Ecológica.

#### Capítulo V: Instrumentos de la Política Ecológica.

Sección I: Planeación Ecológica.

Sección II: Ordenamiento Ecológico.

Sección III: Criterios ecológicos en la promoción del desarrollo.

Sección IV: Regulación ecológica de los asentamientos humanos.

Sección V: Evaluación del impacto ambiental.

Art. 28o.- La realización de obras o actividades públicas o privadas, que puedan causar desequilibrios ecológicos o rebasar los límites y condiciones señalados en los reglamentos y las normas técnicas ecológicas emitidas por la Federación para proteger el ambiente, deberán sujetarse a la autorización previa del Gobierno Federal, por conducto de la Secretaría o de las entidades federativas o municipios, conforme a las competencias que señala esta Ley, así como al cumplimiento de los requisitos que se les impongan una vez evaluado el impacto ambiental que pudieren originar, sin perjuicio de otras autorizaciones que corresponda otorgar a las autoridades competente.

Art. 29o.- Corresponderá al Gobierno Federal, por conducto de la Secretaría, evaluar el impacto ambiental a que se refiere el artículo 28 de esta Ley, particularmente tratándose de las siguientes materias:

I. Obra pública federal;

II Obras hidráulicas, vías generales de comunicación, oleoductos, gasoductos y carboductos;

III. Industria química, petroquímica, siderúrgica, papelera, azucarera, de bebidas, del cemento, automotriz y de generación y transmisión de electricidad; . . .

#### Sección VI: Normas técnicas ecológicas.

Art. 36o.- Para los efectos de esta Ley, se entiende por norma técnica ecológica, el conjunto de reglas científicas o tecnológicas emitidas por la Secretaría, que establezcan los requisitos, especificaciones, condiciones, procedimientos, parámetros y límites permisibles que deberán observarse en el desarrollo de actividades o uso y destino de bienes, que causen o puedan causar desequilibrio

ecológico, o daño al ambiente, y, además, que uniformen principios criterios, políticas y estrategias en la materia.

Las normas técnicas ecológicas, determinarán los parámetros dentro de los cuales se garanticen las condiciones necesarias para el bienestar de la población y para asegurar la preservación y restauración del equilibrio ecológico y la protección al ambiente.

Art. 37o.- Las actividades y servicios que originen emanaciones, emisiones, descargas o depósitos, que causen o puedan causar desequilibrio ecológico o producir daño en el ambiente o afectar los recursos naturales, la salud, el bienestar de la población, o los bienes propiedad del Estado o de los particulares, deberán observar los límites y procedimientos que se fijan en las normas técnicas ecológicas aplicables.

Sección VII: Medidas de protección de áreas naturales.

Sección VIII: Investigación y educación ecológicas.

Sección IX: Información y vigilancia.

## *TITULO Segundo Áreas naturales protegidas.*

### Capítulo I: Categorías, Declaratorias y Ordenamiento de Áreas Naturales Protegidas.

Sección I: Tipos y Caracteres de las áreas naturales protegidas.

Art. 53o.- Las áreas de protección de recursos naturales, son aquellas destinadas a la preservación y restauración de zonas forestales y a la conservación de suelos y aguas. Se consideran dentro de esta categoría de manejo las siguientes áreas:

V. Zonas de protección de ríos, manantiales, depósitos y en general, fuentes de abastecimiento de agua para el servicio de las poblaciones.

Sección II: Declaratorias para el establecimiento, conservación, administración, desarrollo y vigilancia de áreas naturales protegidas.

Capítulo II: Sistema Nacional de áreas naturales protegidas.

Capítulo III: Flora y fauna silvestres y acuáticas.

*TITULO TERCERO: Aprovechamiento racional de los elementos naturales.*

Capítulo I: Aprovechamiento racional del agua y los ecosistemas acuáticos

Capítulo II: Aprovechamiento racional del suelo y sus recursos.

Capítulo III: Efectos de la exploración y explotación de los recursos no renovables en el equilibrio ecológico.

Art. 108o.- Para prevenir y controlar los efectos nocivos de la exploración y explotación de los recursos naturales no renovables en el equilibrio e integridad de los ecosistemas, la Secretaría expedirá las normas técnicas ecológicas que permitan:

I. La protección de las aguas que sean utilizadas o sean el resultado de esas actividades, de modo que puedan ser objeto de otros usos;

*TITULO CUARTO: Protección al Ambiente.*

Capítulo I: Prevención y control de la contaminación de la atmósfera.

Capítulo II: Prevención y control de la contaminación del agua y de los ecosistemas acuáticos.

Art. 117o.- Para la prevención y control de la contaminación del agua se considerarán los siguientes criterios.

I. La prevención y control de la contaminación del agua, es fundamental para evitar que se reduzca su disponibilidad y para proteger los ecosistemas del país;

II. Corresponde al Estado y la sociedad prevenir la contaminación de ríos, cuencas, vasos, aguas marinas y demás depósitos y corrientes de agua, incluyendo las aguas del subsuelo.

III. El aprovechamiento del agua en actividades productivas susceptibles de producir su contaminación, conlleva la responsabilidad del tratamiento de las descargas, para reintegrarla, en condiciones adecuadas para su utilización en otras actividades y para mantener el equilibrio de los ecosistemas;

IV. Las aguas residuales de origen urbano deben de recibir tratamiento previo a su descarga en ríos, cuencas, vasos, aguas marinas y demás depósitos o corrientes de agua, incluyendo las aguas del subsuelo; y

V. La participación y corresponsabilidad de la sociedad es condición indispensable para evitar la contaminación del agua.

Art. 118o.- Los criterios para la prevención y control de la contaminación del agua serán considerados en:

I. El establecimiento de criterios sanitarios para el uso, tratamiento y disposición de aguas residuales, para evitar riesgos y daños a la salud pública;

II. La formulación de las normas técnicas que deberá satisfacer el tratamiento del agua para el uso y consumo humano;

III. Los convenios que celebre el Ejecutivo Federal para entrega de agua en bloque a los sistemas usuarios o a usuarios, especialmente en lo que se refiere a la

determinación de los sistemas de tratamiento de aguas residuales que deben instalarse;

IV. La restricción o suspensión de explotaciones y aprovechamientos que ordene la Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos, en casos de disminución, escasez o contaminación de las fuentes de abastecimiento, o para proteger los servicios de agua potable;

V. Las concesiones, asignaciones, permisos y en general autorizaciones que deben obtener los concesionarios, asignatarios o permisionarios, y en general los usuarios de las aguas propiedad de la nación, para infiltrar aguas residuales en los terrenos, o para descargarlas en otros cuerpos receptores distintos de los alcantarillados de las poblaciones; y

VI. La organización, dirección y reglamentación de los trabajos de hidrología en cuencas, cauces y álveos de aguas nacionales, superficiales y subterráneas.

Art. 119o.- Para la prevención y control de la contaminación del agua corresponderá:

I. A la Secretaría:

a) Expedir, en coordinación con la Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos, y las demás autoridades competentes, las normas técnicas para el vertimiento de aguas residuales en redes colectoras, cuencas, cauces, vasos, aguas marinas y demás depósitos o corrientes de agua, así como para infiltrarlas en terrenos;

b) Emitir los criterios, lineamientos, requisitos y demás condiciones que deban satisfacerse para regular el alejamiento, la explotación, uso o aprovechamiento de aguas residuales, a fin de evitar contaminación que afecte el equilibrio de los

ecosistemas o a sus componentes, y en su caso, en coordinación con la Secretaría de Salud, cuando se ponga en peligro la salud pública;

c) Expedir las normas técnicas ecológicas a las que se sujetará el almacenamiento de aguas residuales, con la intervención que en su caso completa a otras dependencias;

d) Dictaminar las solicitudes de permisos para infiltrar o descargar aguas residuales en terrenos o cuerpos distintos de los alcantarillados;

e) Fijar condiciones particulares de descarga cuando se trate de aguas residuales generadas en bienes y zonas de jurisdicción federal y de aquellas vertidas directamente en aguas de propiedad nacional;

f) Fijar condiciones particulares de descarga a quienes generen aguas residuales captadas por sistemas de alcantarillado, cuando dichos sistemas viertan sus aguas en cuencas, ríos, cauces, vasos y demás depósitos o corrientes de aguas de propiedad nacional, sin observar las normas técnicas ecológicas o, en su caso, las condiciones particulares de descarga que hubiese fijado la Secretaría;

g) Promover el reuso de aguas residuales tratadas en actividades agrícolas e industriales;

h) Determinar los procesos de tratamiento de las aguas residuales, considerando los criterios sanitarios que en materia de salud pública emita la Secretaría de Salud, en función del destino de esas aguas y las condiciones del cuerpo receptor, que serán incorporados en los convenios que celebre el Ejecutivo Federal para la entrega de agua en bloque a sistemas usuarios o a usuarios, conforme a la Ley Federal de Aguas;

i) Resolver sobre las solicitudes de autorización para el establecimiento de plantas de tratamiento y sus descargas conjuntas, cuando dichas descargas contaminantes prevengan de dos o más obras, instalaciones o industrias de

jurisdicción federal, tomando en consideración los criterios sanitarios establecidos por la Secretaría de Salud. Esta autorización únicamente podrá otorgarse cuando los efectos en las cuencas de aguas nacionales lo permitan, conforme a los usos determinados por la Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos; y

j) Promover la incorporación de sistemas de separación de las aguas residuales de origen doméstico de aquellas de origen industrial en los drenajes de los centros de población, así como la instalación de plantas de tratamiento para evitar la contaminación de aguas.

II. A la Secretaría, en coordinación con la Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos y la de Salud:

a) Expedir las normas técnicas ecológicas para el uso o aprovechamiento de aguas residuales;

b) Emitir opinión a la que deberá sujetarse la programación y construcción de nuevas industrias que pueden producir descargas contaminantes de aguas residuales, así como de las obras e instalaciones conducentes a purificar las aguas residuales de procedencia industrial en los casos de jurisdicción federal; y

c) Expedir las normas técnicas ecológicas que deberán observarse para el tratamiento de aguas residuales de origen urbano que se destinen a la industria y a la agricultura. Para el ejercicio de esta atribución, dichas dependencias tomarán como base los estudios de la cuenca y sistemas correspondientes;

III. A la Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos, resolver sobre las solicitudes de concesión, permiso, o autorización que se formulen para la explotación, uso o aprovechamiento de aguas residuales, considerando los criterios y lineamientos, para la preservación del equilibrio ecológico;

IV. A la Secretaría expedir normas técnicas sobre la ejecución de obras relacionadas con el alejamiento, tratamiento y destino de las aguas residuales

conducidas o no, por sistemas de alcantarillado, considerando los criterios sanitarios establecidos por la Secretaría de Salud; y

V. A los estados y municipios:

a) El control de las descargas de aguas residuales a los sistemas de drenaje y alcantarillado;

b) Requerir a quienes generen descargas a dichos sistemas y no satisfagan las normas técnica ecológicas que se expidan, la instalación de sistemas de tratamiento;

c) Determinar el monto de los derechos correspondientes para que el municipio o autoridad estatal respectiva pueda llevar a cabo el tratamiento necesario, y en su caso, proceder a la imposición de las sanciones a que haya lugar; y

d) Llevar y actualizar el registro de las descargas a las redes de drenaje y alcantarillado que administren, el que será integrado al registro nacional de descargas a cargo de la Secretaría.

Art. 120o.- Para evitar la contaminación del agua, quedan sujetos a regulación federal o local:

I. Las descargas de origen industrial;

II. Las descargas de origen municipal y su mezcla incontrolada con otras descargas;

III. Las descargas derivadas de actividades agropecuarias;

IV. Las descargas de desechos, sustancias o residuos generados en las actividades de extracción de recursos no renovables;

V. La aplicación de plaguicidas, fertilizantes y sustancias tóxicas;

VI. Las infiltraciones que afecten los mantos acuíferos; y

VII. El vertimiento de residuos sólidos en cuerpos y corrientes de agua.

Art. 121o.- No podrán descargarse o infiltrarse en cualquier cuerpo o corriente de agua o en el suelo o subsuelo, aguas residuales que contengan contaminantes, sin previo tratamiento y el permiso o autorización de la autoridad federal, o de la autoridad local en los casos de descargas en aguas de jurisdicción local o a los sistemas de drenaje y alcantarillado de los centros de población.

Art. 122o.- Las aguas residuales provenientes de usos municipales, públicos o domésticos y las de usos industriales o agropecuarios que se descarguen en los sistemas de alcantarillado de las poblaciones o en las cuencas, ríos, cauces, vasos y demás depósitos o corrientes de agua, así como las que por cualquier medio se infiltren en el subsuelo y, en general, las que se derramen en los suelos, deberán reunir las condiciones necesarias para prevenir:

I. Contaminación de los cuerpos receptores;

II. Interferencias en los procesos de depuración de las aguas; y

III. Trastornos, impedimentos o alteraciones en los correctos aprovechamientos, o en el funcionamiento adecuado de los sistemas, y en la capacidad hidráulica en las cuencas, cauces, vasos, mantos acuíferos y demás depósitos de propiedad nacional, así como de los sistemas de alcantarillado.

Art. 123o.- Todas las descargas en las redes colectoras, ríos, cuencas, cauces, vasos, aguas marinas y demás depósitos o corrientes de agua y los derrames de aguas residuales en los suelos o su infiltración en terrenos, deberán satisfacer las normas técnicas ecológicas que para tal efecto se expidan, y en su caso, las condiciones particulares de descarga que determine la Secretaría o las autoridades

locales. Corresponderá a quien genere dichas descargas, realizar el tratamiento previo requerido.

Art. 124o.- Cuando las aguas residuales afecten o puedan afectar fuentes de abastecimiento de agua, la Secretaría lo comunicará a la Secretaría de Salud y promoverá ante la autoridad competente la negativa del permiso o autorización correspondiente, o su inmediata revocación, y en su caso, la suspensión del suministro.

Art. 125o.- La Secretaría, .... , determinará las condiciones particulares de descarga y los sistemas de tratamiento de deberán instalar las dependencias y entidades de la Administración Pública Federal, para descargar aguas residuales.

Art. 126o.- Los equipos de tratamiento de las aguas residuales de origen urbano que diseñen, operen o administren los municipios, las autoridades estatales, o el Departamento del Distrito Federal, deberán cumplir con las normas técnicas ecológicas que al efecto se expidan.

Art. 127o.- La Secretaría y las Secretarías de Agricultura y Recursos Hidráulicos y de Salud, emitirán opinión, con base en los estudios de la cuenca y sistemas correspondientes, para la programación y construcción de obras e instalaciones de purificación de aguas residuales de procedencia industrial.

Art. 128o.- Las aguas residuales provenientes del alcantarillado urbano podrán utilizarse en la industria y en la agricultura, si se someten en los casos que se requiera al tratamiento que cumpla con las normas técnicas emitidas por la Secretaría, en coordinación con las Secretaría y Recursos Hidráulicos y de Salud.

En los aprovechamientos existentes de aguas residuales en la agricultura, se promoverán acciones para mejorar la calidad del recurso, la reglamentación de los cultivos y las prácticas de riego.

Art. 129o.- El otorgamiento de asignaciones, autorizaciones, concesiones o permisos para la explotación, uso o aprovechamiento de aguas en cantidades económicas susceptibles de contaminar dicho recurso, estará condicionando al tratamiento previo necesario de las aguas residuales que se produzcan.

Art. 130o.- La Secretaría resolverá sobre las solicitudes de autorización para descargar aguas residuales, sustancias o cualquier otro tipo de residuos en aguas marinas, fijando en cada caso las normas técnicas ecológicas, condiciones y tratamiento de las aguas y residuos, de acuerdo al reglamento correspondiente. Cuando el origen de las descargas provenga de fuentes móviles o de plataformas fijas en el mar territorial y la zona económicamente exclusiva, la Secretaría se coordinará con la Secretaría de Marina para la expedición de las autorizaciones correspondientes.

Art. 131o.- Para la protección del medio ambiente marino, el Ejecutivo Federal emitirá los criterios para la explotación, conservación y administración de los recursos naturales, vivos y abióticos, del lecho y el subsuelo del mar y de las aguas suprayacentes, así como los que deberán observarse para la realización de actividades de exploración y explotación en la zona económica exclusiva.

Art. 132o.- La Secretaría se coordinará con las Secretarías de Marina, de Energía, Minas e Industria Paraestatal y de Pesca, a efecto de que dentro de sus respectivas

atribuciones y competencias, intervengan para prevenir, controlar, vigilar y abatir la contaminación del medio marino, y preservar y restaurar el equilibrio de sus ecosistemas, con arreglo a lo que se establece en la presente Ley, la Ley Federal del Mar, los demás ordenamientos aplicables y las normas vigentes del derecho internacional.

Art. 133o.- La Secretaría y la Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos, con la participación que en su caso corresponda a la Secretaría de Salud conforme a otros ordenamientos legales, realizarán un sistemático y permanente monitoreo de la calidad de las aguas, para detectar la presencia de contaminantes o exceso de desechos orgánicos y aplicar las medidas que procedan o, en su caso, promover su ejecución. En los casos de aguas jurisdicción local se coordinarán con las autoridades de los estados y municipios.

Capítulo III. Prevención y control de la contaminación del suelo.

Capítulo IV. Actividades consideradas como riesgosas.

Capítulo V. Materiales y Residuos peligrosos.

Capítulo VI. Energía Nuclear.

Capítulo VII. Ruido, vibraciones, energía térmica y lumínica, olores y contaminación visual.

*TITULO QUINTO. Participación Social.*

*TITULO SEXTO: Medidas de control y de seguridad y sanciones.*

Capítulo I. Observancia de la Ley.

Capítulo II. Inspección y vigilancia.

Capítulo III. Medidas de seguridad.

Capítulo IV. Sanciones administrativas.

Capítulo V. Recurso de inconformidad.

Capítulo VI. De los delitos del Orden Federal.

Art. 186o.- Se impondrá pena de tres meses a cinco años de prisión y multa por el equivalente de 100 a 10,000 días de salario mínimo general vigente en el Distrito Federal, al que sin autorización de la autoridad competente y en contravención a las disposiciones legales, reglamentarias y normas técnicas aplicables, descargue, deposite o infiltre o lo autorice u ordene, aguas residuales, desechos o contaminantes en los suelos, aguas marinas, ríos, cuencas, vasos o demás depósitos o corrientes de agua de jurisdicción federal que ocasionen o puedan ocasionar graves daños a la salud pública, la flora o la fauna, o los ecosistemas.

Cuando se trate de aguas para ser entregadas en bloque a centros de población, la pena se podrá elevar hasta tres años más.

Capítulo VII. Denuncia popular.