

103 241



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE QUIMICA

"ELIMINACION DE DETERGENTES EN AGUAS RESIDUALES"

TRABAJO MONOGRAFICO DE :
ACTUALIZACION
PARA OBTENER EL TITULO DE:
INGENIERO QUIMICO
PRESENTA:
GERARDO NOE VARGAS HUERTA

TESIS CON
FOLIA DE ORIGEN



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas Tesis Digitales Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS © PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

I N D I C E

		PÁG.
I.	Introducción	2.
II.	Generalidades	4.
	a) ¿Qué es un detergente?	4.
	b) Toxicidad de los detergentes	9.
	c) Biodegradabilidad	24.
III.	Eliminación de detergentes	34.
	a) Efectos de los detergentes en los procesos de tratamiento de aguas residuales	34.
	b) Efectos de los detergentes en el proceso de digestión de lodos	41.
	c) Efectos de los detergentes en la tasa de afluencia y en el proceso de lodos activados	43.
	d) Otros efectos producidos por los detergentes	47.
	e) Estudio de la degradación en un sistema de lodos activados	47.
	f) Entorficación	50.
	g) Comparación entre el método sencillo para la determinación del sulfato de amonio biológico (SAB) y el método tradicional del análisis de metileno (experimento)	63.
	h) Eliminación de detergentes por espumamiento	71.
	i) Estudio de la degradación de detergentes contenidos en algunos productos de uso cotidiano (fase experimental)	85.
IV.	Discusión	104.
V.	Conclusiones	108.
VI.	Bibliografía	110.

I. INTRODUCCION

En México, no sabemos con precisión desde cuando el hombre ha tenido un impacto considerable sobre su medio ambiente, pero lo que sí podemos asegurar, es que hasta muy recientemente, se ha tomado conciencia de ello.

El descubrimiento, podemos decirlo, se debe fundamentalmente a dos cosas: al avance internacional de las investigaciones científicas en el campo de la ecología, y al efecto negativo que el medio ambiente, modificado y utilizado tiene ya sobre los habitantes del país (contaminación).

Ya que México es un país en vías de desarrollo en donde la industrialización es meta a la que parece subordinarse cualquier otro interés, las condiciones de desequilibrio ecológico se están creando a un ritmo que supera inclusive en algunos casos, al de los países altamente industrializados.

En ciertas regiones del país, donde existen grandes complejos industriales, cuyos desechos son arrojados a los ríos o lagunas cercanas, se han presentado casos de mortalidad masiva de algunos organismos de importancia ecológica, que constituían el sostenimiento de algunas congregaciones, que permanecen al margen de la influencia industrial. Estos acontecimientos han inducido a aquellas instituciones encargadas de velar por la conservación y aprovechamiento racional de los recursos naturales, a que se preste atención a los factores que pudieran ser la causa de tales efectos, que entre otros, se consideran los Detergentes.

El gran incremento de sustancias sintéticas con características y efectos ambientales no determinados completamente, ha motivado una serie de estudios a fin de establecer las condiciones de degradación que deben cumplir dichas sustancias para no provocar alteraciones en el medio ecológico.

La necesidad de retornar al medio ambiente en una forma adecuada las sustancias que el hombre ha tomado de la naturaleza para su beneficio, obligó al establecimiento de métodos de tratamiento que permitieran su eliminación en mayor grado, los cuales dependerían directamente de la configuración de la sustancia activa procesada.

Actualmente, la sustancia activa de mayor empleo es el sulfato de alquilbenzeno, cuya estructura molecular permite su degradación por medios biológicos. Los sulfonatos de alfaolefinas se han comenzado a utilizar en forma comercial (principalmente en Japón), estableciéndose que aparte de ser más efectivo en sus propiedades de detergencia, son más fácilmente degradables, aunque más difíciles de fabricar por el complicado proceso químico requerido.

II. GENERALIDADES

a) ¿Qué es un detergente?

Cualquier agente que limpia, es por definición un detergente. En este sentido, muchos materiales de diferentes clases se pueden identificar como detergentes.

En general, cualquier molécula de detergente presenta una cadena polar alifática que es hidrofílica y una parte aromática que se caracteriza por ser hidrofóbica. A esta dualidad en la naturaleza de la molécula se deben las propiedades de los detergentes.

Otras de las características de los detergentes que se deben tomar en cuenta son: abatimiento de la tensión superficial, lo que se conoce como acción humectante; separación y desintegración de partículas que se aglomeran en diversas superficies, es decir, acción dispersante y, por último, incorporación de dichas partículas al agua, lo que se conoce como acción emulsificante.

Una de las principales diferencias que existen entre los detergentes y los jabones es que los primeros no forman precipitación insoluble de elementos alcalinotérreos como el Mg^{++} y el Ca^{++} en las aguas duras, esto es, la eficiencia en la acción de los detergentes es mayor, lo que ha determinado el incremento de la producción en el comercio.

Las formulaciones de los detergentes, contienen aproximadamente un 25% del producto activo (ABS) y otros aditivos que pueden ser

divididos en:

- 1) Sales alcalinas de ácidos inorgánicos débiles.
- 2) Hidróxido de sodio o potasio.
- 3) Sales inorgánicas neutras.

Los agentes activos superficiales o surfactantes son constituyentes importantes de los detergentes sintéticos y pueden definirse como solutos que poseen la particularidad de alterar las propiedades superficiales o de interfase de las soluciones, aun cuando se encuentren presentes a bajas concentraciones, es decir, el surfactante es un compuesto orgánico que combina las propiedades de humectación, dispersión y emulsificación con la estabilidad hacia la dureza de las aguas.

La clasificación de los agentes superficiales activos está basada principalmente, en su disociación electrolítica. Así, dependiendo de la naturaleza del grupo polar, se hace la distinción en: aniónicos, catiónicos, y no iónicos.

a) Surfactante aniónico.

Son sales de sodio que al ionizarse producen un ion positivo, que es el sodio y un anión o ion negativo que es el surfactante activo.

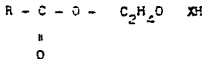
Los más comunes son los sulfonatos de alquil-benceno (ABS) y sulfonatos de alquil-benceno lineal (LAS). Muchas controversias han surgido respecto al poder contaminante de los detergentes del tipo ABS y sus efectos tóxicos y letales a la fauna acuática. Esto ha

Donde: R_1, R_2, R_3 = grupos alquinos
 R_4 = anillo aromático
 X = halógeno

c) Surfactantes no iónicos:

Son el resultado de la polimerización de óxidos de etilo. Este producto puede reaccionar con alcoholes grasos, alquil-fenoles, grasas, ácidos grasos emulsionándolos en el agua. Una característica de estos compuestos es que presentan poca tendencia a formar espuma cuando se combinan con otras materias. Su fórmula general es:

Su fórmula general es:



Donde R = Grupo alquilo.

d) Detergentes biológicos:

Recientemente aparecieron en el mercado una serie de detergentes - llamados biológicos, que son una mezcla de detergente común, perfume, colorante y un agente biológico que es una enzima proteolítica producida por una bacteria llamada Bacillus subtilis. Esta enzima al encontrarse en condiciones favorables de temperatura y humedad, provoca la desintegración de las moléculas de grasa, incluyendo también las proteínas.

b) Toxicidad de los detergentes:

En México, los detergentes (ABS) son usados en mayor cantidad que los jabones, debido a que tienen una gran actividad limpiadora y son más económicos; sin embargo, tienen efectos nocivos para los organismos como se muestra en los siguientes ejemplos: lesiones al bagre (*Ictalurus natalis*), causados por el ABS a concentraciones de 0.5 mg/l; disminución en un 3% de la actividad fotosintética en algas expuestas a 0.25 mg/l de ABS, causan alteraciones en la capacidad de reproducción del ostión.

Para poder entender el problema de los detergentes es necesario relacionar y conocer sus efectos en las comunidades biológicas, así como también saber las concentraciones existentes en los cuerpos de agua.

Con el propósito de esclarecer el problema de la contaminación causada por los detergentes en México, la Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos, a través de la Dirección de Protección y Ordenación Ecológica, inició en el año de 1971, una investigación consistente

en 6 etapas de estudio, mismo que terminó en 1978.

La investigación tenía como principales puntos a satisfacer:

1. Fijar el valor de la concentración de seguridad biológica que garantice el buen funcionamiento de los ecosistemas acuáticos.
2. Dar las bases técnicas para la facilidad de un cambio de formulación del compuesto ABS por LAS, que se considera menos nocivo y más biodegradable.

En este trabajo sólo se pretende mostrar la contaminación ocasionada por los detergentes en los principales cuerpos de agua y el efecto - de los mismos, medidos en pruebas de bioensayos, en diversos organismos, así como también algunos de los métodos utilizados para la eliminación de detergentes.

M E T O D O L O G I A

El trabajo se integró mediante la recopilación de datos de los ríos más importantes de México, cuyo caudal, en su gasto medio anual, es mayor a $40 \text{ m}^3/\text{seg.}$, los cuales fueron: Lerma, Balsas, Grijalba, Tehuantepec, Piaxtla, Culiacán, San Lorenzo, Fuerte, Yaquí, Colorado, Bravo, Santiago, Ometepec, Papagayo, Nautla, Tecolula, Ameca, Candelaria, Cazones, Tuxpan, Papaloapan, Blanco, Jamapa, La Antigua, Coatzacoalcos, Usumacinta, Armería, Presidio, Coahuayama, Sinaloa, Naza, Pánuco, Baluarte, Acaponeta, Mexquita, Verde, Hondo y Suchiate.

De los cauces mencionados, en el 80% se registran valores de detergentes, mismos que fueron proporcionados por la red de monitoreo; en el 20% restante, constituido por los ríos Nazas, Pánuco, Baluarte, Acaponeta, Mexquita, Verde, Hondo y Suchiate, no se tienen valores y no intervienen en este trabajo.

Los valores de detergentes en los cuerpos de agua se obtuvieron mediante la medición de las sustancias activas al azul de metileno (SAAM), y fueron proporcionados por el Programa Nacional de la Red de Monitoreo. Los valores presentados en este trabajo son el promedio de 40 a 60 muestras en diferentes puntos de los cuerpos de agua mencionados.

Para la evaluación de la toxicidad de los detergentes sobre los peces, fitoplancton, suelos, cultivos y animales de granja se utiliza la técnica de bioensayos, en el que los tratamientos fueron dos series de distintas concentraciones de ABS y LAS para cada experimento, relacionándose con el testigo de prueba.

En los trabajos de biodegradabilidad, se efectuaron análisis en afluentes y efluentes, para evaluar la remoción de detergente en cada sistema de tratamiento empleado.

RESULTADOS

De las investigaciones del Efecto de los Detergentes en Peces, Fitoplancton, Suelos, Animales de Granja y Cultivo Agrícola podemos exponer lo siguiente:

PECES. En la evaluación de la toxicidad de los detergentes sobre los peces, se utilizó la técnica de bioensayos estáticos y de flujo continuo. Los resultados se expresaron en la medida de TL50 a 96 horas, obteniéndose la concentración de detergente que daña al 50% de la población experimental. Los peces de experimentación fueron: *Cyprinus carpio*, *Tilapia melanopleura*, *Salmo gairdneri* y *Ctenopharyngodon idellus*, en estadios juveniles, y *Chirostoma grandocule* y *Ctenopharyngodon idellus* en estadios de fertilización (Movilización de esperma) eclosión y alevines.

El efecto letal de los detergentes (tabla 1), en peces, ha mostrado que el ABS es menos tóxico que el LAS. El ABS, en concentración de 5 a 40 mg/l, causa efectos perjudiciales en estadio juvenil de peces, mientras que el efecto de LAS se reporta desde 1 mg/l.

En pruebas subletales (tabla 2) para 60 días como promedio experimental en carpas y mojarras; en estadio juvenil se observan los efectos de LAS técnico para concentraciones de 0.75 mg/l, y de ABS desde 1.3 mg/l cuyo efecto consiste en atrofiar el epitelio de las agallas.

Los daños observados en esperma son: deformación y pérdida de movilidad

en las especies de *Chirostoma grandocule* y *Ctenopharyngodon idellus* lo que provoca un decremento de fertilización. La concentración perjudicial es de 1 mg/l y 2mg/l para ABS y LAS respectivamente, en concentraciones de 7 mg/l de ABS y 10 mg/l de LAS, provocando una aceleración en el proceso de eclosión, lo que perjudica a las crías, en virtud de no encontrarse aún en estadio de alevinos.

FITOPLANTON. El trabajo se basó en bioensayos estáticos, comparando los sucesos de cada recipiente con su concentración de detergente en relación al comportamiento de las comunidades plantónicas del testigo (sin concentración de detergentes); se estableció un análisis de varianza con niveles de 99% de confianza en la prueba para el análisis estático.

Se seleccionó un cultivo puro (*Chlorella vulgaris*) y varios mixtos. Los cultivos mixtos lo integran poblaciones plantónicas del lago de Patzcuaro, el Zarco y el estero del río Balsas. Los detergentes experimentales fueron, principalmente ABS y LAS en diversas formas: ABS Téc., ABS comercial, LAS Téc., LAS comercial.

Los efectos nocivos (tabla 3) se reportan como inhibición del crecimiento y mortalidad. Se obtuvieron datos que muestran gran disparidad en respuestas de fitoplancton a los detergentes, mientras que el ABS Téc., afecta desde 0.17 mg/l en las comunidades del Zarco, para las de Patzcuaro es del orden de 2.8 mg/l. Tal vez la explicación sea que las comunidades fitoplanctónicas del Zarco, por su localización, no reciben descarga de detergentes (inicio de escurrimiento: altura - 4 000 m.n.n.M), o que las especies son más sensibles al detergente que las especies de Patzcuaro, las que son sometidas en su estado "natural", a concentraciones de detergentes y, quizás por

este motivo, sean más resistentes. En datos promedio (tabla 4), se observa que el ABS es más tóxico que el LAS para las condiciones experimentales del Zarco. Para las condiciones experimentales del Balsas, el ABS es menos tóxico que el LAS.

En interpretaciones a los datos obtenidos en la investigación de los efectos de los detergentes en el fitoplancton, se admite que el efecto lo da la concentración y no el tipo de detergente.

SUELOS. La concentración probada en un suelo de textura arenosa, con 2% de materia orgánica y con una capacidad de intercambio catiónico de 15 mg/100 g, fue de 40 mg/l de detergente. Debido al tipo de suelo el efecto no se pudo cuantificar; la arena presentó poca capacidad de absorción y adsorción.

CULTIVOS. Los trabajos se realizaron en parcelas experimentales con los siguientes cultivos: rábano, espinaca, cebada, frijol y jitomate. Los resultados (tabla 5) reflejan que los detergentes (ABS y LAS) no mostraron efecto alguno sobre los cultivos. En los trabajos efectuados se registraron datos sobre germinación y crecimiento, comparándolos con un testigo.

ANIMALES DE GRANJA. La investigación se realizó con cerdos, conejos y gallinas, en una duración de 90 días. El suministro de los detergentes se efectuó por vía oral. En el agua de bebida se prepararon concentraciones de 40 a 200 mg/l para ABS y LAS.

Durante el tiempo de investigación no se detectaron alteraciones en los parámetros clínicos; hemoglobina, orina, coproparasitoscópicos y pruebas de funcionamiento hepático (transaminasa-glutamina-oxalocotica).

De las investigaciones de tratamiento y posibilidad socioeconómica para el cambio de formulación, se puede admitir que la eliminación de los detergentes, en el tratamiento de sedimentación primaria, alcanza un máximo de 10% y para el tratamiento en sistemas biológicos la eliminación es del orden de 70%.

En el sistema de tratamiento biológico, el LAS tiene mayor grado de eliminación que el ABS. Los valores promedio de los coeficientes de biodegradabilidad (tabla 6), exponen que el LAS es 1.74 veces más rápidamente biodegradable que el ABS.

Las investigaciones socioeconómicas establecen que, de acuerdo a resultados económicos, no existe ningún inconveniente en el cambio de formulación, su comercialización ha tenido buena aceptación, de acuerdo a las encuestas realizadas al público y a la industria en la elaboración y uso de los detergentes.

En lo que se refiere al estado de contaminación, de los detergentes en cuerpos de agua mexicanas (tabla 7) se obtuvieron que el 60% de los ríos tiene una concentración mayor a 0.20 mg/l y sólo el 3% rebasa la concentración de 1 mg/l. El río de mayor contaminación por detergentes durante su recorrido es el Lerma, su importancia radica en que desemboca al Lago de Chapala, que es el más grande e importante de México por su actividad pesquera y otros usos, además del endemismo del pescado blanco.

DISCUSIONES

Los núcleos de población en la República Mexicana en su mayoría se encuentran en los márgenes de los cuerpos de agua. La contaminación por detergentes es directa en lagos, ríos y presas. Esta contaminación por detergentes en virtud de no tener el tiempo de retención de las descargas, ya que se vierte directamente a sistemas, no presenta reducción en el grado de toxicidad de los detergentes, por lo que si sólo se efectúa el cambio de formulación de ABS por LAS implicará, para nuestro sistema, un mayor riesgo.

En las investigaciones realizadas, se admite que para el fitoplancton lo nocivo es la concentración y no el tipo de detergentes; sin embargo, un mayor número de resultados indican que el LAS es más tóxico que el ABS, así como también el LAS es más biodegradable que el ABS.

El valor de seguridad biológica obtenido en los trabajos de investigación realizados en seis etapas de estudio "Impacto de Detergentes en el Recurso Hidráulico" por la SARH en México, es de 0.20 mg/l; las concentraciones mayores de 0.20 mg/l de detergentes, perjudican la comunidad biológica de los ecosistemas acuáticos.

En los principales ríos más caudalosos de México se reportan concentraciones mayores de 0.20 mg/l de detergentes, lo que es muy importante. Por tales razones, la contaminación de los detergentes en México es grave, por lo que se debe ejercer un mejor manejo y control en su uso, o bien, tratar de cambiar la costumbre de usarlos haciéndose necesario recomendar el uso del jabón para tratar de no llegar a estados críticos de concentración perjudiciales para nuestro recurso hidráulico.

Ahora bien, si se implantan los sistemas de tratamiento de aguas residuales domésticas para remover los detergentes, se necesita establecer el cambio de formulación de ABS por LAS en virtud de que el LAS es más biodegradable que el ABS.

De las investigaciones realizadas en México podemos argumentar que el problema es grave, y de no tomar las medidas necesarias en el tratamiento y manejo de los detergentes, los problemas serán críticos, sobre todo si se toma en cuenta que las concentraciones en los cuerpos de agua se encuentran en los límites máximos de la concentración que afecta los organismos. Esto significa un riesgo potencial para las comunidades biológicas acuáticas, ya que de continuar rebasando el valor de 0.20 mg/l en los cuerpos de agua se causarán efectos irreversibles de alteraciones ecológicas en los sistemas acuáticos.

TABLA No. 1 EFECTOS DE LOS DETERGENTES EN PECES.

ESPECIE	TIPO DE DETERGENTES (mg/l) TL ₅₀ -96 hs.					
	ABS-T	ABS-C	ABS-CE	LAS-T	LAS-C	LAS-CE
Carpa de Israel (Cyprinus carpio)	18.0	no tóxica hasta 22.0	12.5	5.0	no tóxica hasta 22.0	5.4
Mojarra (Tilapia melanopleura)	37.0	23.0	32.0	23.0	4.6	12.0
Trucha arcoiris (Salmo gairdneri)	5.5	7.0	--	1.2	1.4	--
Carpa herbívora (Ctenopharyngodon idella)	5.4	10.2	15.6	10.2	5.4	10.2

T - Técnico.

C - Comercial.

CE - Comercial con enzimas.

TABLA No. 2 BIOENSAYES SUBLETALES PARA 60 DIAS EN PECES.

ESPECIE	TIPO DE DETERGENTE (mg/l)					
	ABS-T	ABS-C	ABS-CE	LAS-T	LAS-C	LAS-CE
Carpa de Israel (Cyprinus carpio)	2.7	2.7	1.37	0.75	0.75	0.82
Mojarra (Tilapia melanopleura)	5.5	3.7	4.0	2.7	0.60	1.80

TABLE No. 3 EFECTO DE LOS DETERGENTES EN COMUNIDADES
PLANTONICAS DE DIFERENTES LOCALIDADES

TIPO DE DETERGENTE	Z A R C O		PATZCUARO		B A L S A S	
	Lím.	LI-100%	Lím.	LI-100%	Lím.	LI-100%
ABS-T	0.17	1.29	2.72	20.78	0.18	1.37
ABS-C	0.16	1.39	3.32	25.39	0.71	5.37
ABS-CE	0.18	1.35	2.30	17.60	0.14	1.08
LAS-T	0.12	0.99	4.26	32.50	0.551	3.85
LAS-C	0.25	1.74	4.96	37.90	0.44	3.85
LAS-CE	0.34	2.53	6.12	23.86	0.44	3.29

Lim = Límites de Inhibición media.

TABLE No. 4 VALORES PROMEDIO DEL EFECTO DE
LOS DETERGENTES EN PLANTON.

TIPO DE DETERGENTE	Z A R C O		PATZCUARO		B A L S A S	
	Lím.	LIM-100%	Lím.	LI-100%	Lím.	LI-100%
ABS	0.18	1.37	2.78	21.25	0.34	2.60
LAS	0.23	1.77	4.11	31.42	0.46	3.50

TABLA No. 7 CONCENTRACIONES DE DETERGENTES EN CUERPOS DE AGUA CUYO GASTO MEDIO ANUAL ES MAYOR A 40 M³/SEG.

R I O	TRAMO DE LOCALIZACION POR ESTADOS	C O N C E N T R A C I O N	
		MAXIMA	PROMEDIO
AMECA	Jalisco	0.73	0.21
	Nayarit	-	-
Armería	Colima	0.36	0.11
	Jalisco	-	-
Balsas	Estado de México	-	-
	Morelos (Amacuzac)	0.40	0.42
	Guerrero	0.89	0.14
	Michoacán	0.50	0.16
	Puebla (Atoyac)	2.20	0.40
	Jalisco	-	-
Blanco	Veracruz	1.89	0.53
Bravo	Coahuila	0.84	0.23
	Nuevo León(San Juan)	2.13	0.74
	Chihuahua (Conchos)	0.35	0.09
	Tamaulipas	-	-
Candelaria	Campeche	0.34	0.10
Cazones	Veracruz	1.10	0.37
Coahuayana	Colima	0.29	0.12
	Michoacán	-	-
	Jalisco	-	-
Coatzacoalcos	Veracruz	0.42	0.09
	Oaxaca	-	-
Colorado	Sonora	0.79	0.25
	Baja California	5.31	1.79

Culiacán	Sinaloa Durango	0.05 -	0.02 -
Fuerte	Sinaloa	0.10	0.06
Grijalba	Chiapas Tabasco Veracruz	0.76 0.40 -	0.12 0.09 -
Jamapa	Veracruz	1.00	0.30
La Antigua	Veracruz	0.72	0.28
Lerma	Estado de México Michoacán Guanajuato Jalisco	31.17 1.39 2.54 45.00	1.64 0.26 0.50 2.00
Nautla	Veracruz Puebla	2.46 -	0.35 -
Ometepec	Guerrero	0.54	0.15
Papaloapan	Veracruz Oaxaca	0.92 -	0.26 -
Papagayo	Guerrero	1.40	0.20
Piactla	Sinaloa	0.11	0.06
Previdio	Sinaloa	0.14	0.07
San Durango	Sinaloa Durango	0.20 -	0.11 -
Santiago	Nayarit Jalisco	1.78 1.74	0.52 0.38

Sinaloa	Sinaloa	0.05	0.03
Tecolutla	Veracruz Puebla	1.16 -	0.28 -
Tehuantepec	Oaxaca	1.18	0.07
Tuxpan	Veracruz Hidalgo Puebla	1.40 - -	0.39 - -
Usumacienta	Campeche Tabasco Chiapas	0.20 0.25 -	0.11 0.09 -
Yaqui	Sonora Chihuahua	0.10 -	0.06 -

c) Biodegradabilidad:

Los procesos biológicos son los más adecuados para estabilizar la materia orgánica contenida en aguas residuales domésticas y algunas de origen industrial; sin embargo su efectividad depende de la calidad del agua tratada, pues se encuentra sujeta a las propiedades específicas de los constituyentes orgánicos del agua cruda, principalmente en el caso de aquellas que impiden la biodegradabilidad de dichos compuestos. Los detergentes del tipo ABS, debido principalmente a la estructura de las moléculas del agente tensoactivo, no permiten el ataque microbiano parcial o totalmente, de ahí la necesidad de modificarlas y favorecer su eliminación, eliminando efectos consecuentes en los cuerpos receptores o en los lugares de descarga.

La degradabilidad biológica de los detergentes involucra tres aspectos importantes:

- i) Rapidez de biodegradabilidad, que comprende la fase de síntesis o transformación de la molécula de detergente en protoplasma microbiano.
- ii) Magnitud de biodegradabilidad: es decir, la porción de molécula del detergente que son metabolizadas en procesos de tratamiento comunes.
- iii) Biodegradabilidad última, o sea la fase final de degradación, cuando la totalidad de la molécula ha sido convertida a bióxido de carbono y agua.

A fin de ejemplificar los aspectos mencionados, supónganse dos compuestos hipotéticos, A y B; el primero se degrada más rápidamente que el

segundo en un proceso de tratamiento biológico, es decir, que la magnitud de biodegradabilidad del compuesto A es mayor que la del B. Sin embargo, los compuestos intermedios, generados en la degradación del A, al ser descargados sobre un cuerpo receptor, resultan ser dañinos a ciertos organismos; no así los del compuesto B, lo que hace que este último llegue a su degradación última en un tiempo pertinente sin ningún impedimento; por tanto desde el punto de vista de efectos posteriores en el medio ambiente, el compuesto indicado a utilizarse es el B a pesar que la degradación del A en un principio es mayor.

1) Constantes de degradabilidad biológica:

Los compuestos orgánicos susceptibles de degradarse por acción microbiana presentan diferentes grados de dificultad para ser metabolizados, en función de sus características fisicoquímicas, al respecto, las curvas de la Fig. 1-1 son respectivas de la utilización de sustratos orgánicos y del crecimiento biológico, bajo condiciones intermitentes (sistema Batch).

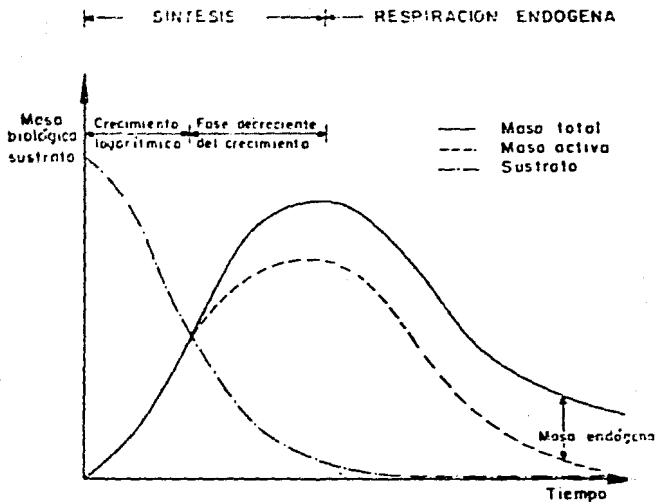
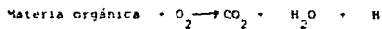
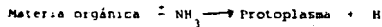


Fig. 1-1 Curvas de crecimiento biológico y utilización del sustrato en sistema batch. Reacciones metabólicas.

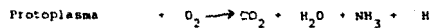
1 Energía



2 Síntesis



Respiración endógena



Al graficar el tiempo de experimentación contra el logaritmo de la concentración de sustrato, se obtienen las rectas de la Fig. 1-2 cuyas pendientes representan las constantes específicas de biodegradabilidad de energía-síntesis y de respiración endógena. La constante energía-síntesis, K_s , simboliza la rapidez con que el sustrato es aprovechado por los microorganismos (anabolismo); o sea, que la energía generada en una reacción de oxidación entre la materia orgánica y oxígeno, es utilizada para realizar la síntesis de protoplasma microbiana. La constante de respiración endógena, K_e , representa la velocidad con que el protoplasma es utilizado predominantemente (fase catabólica), en virtud de limitarse la cantidad de sustrato.

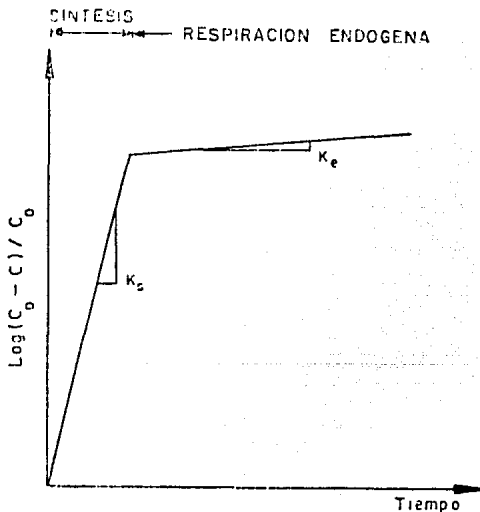


Fig. 1-2 Representación de las constantes de síntesis y respiración endógena.

DEGRADACION PRIMARIA:

La influencia de la estructura molecular de los detergentes en los fenómenos de la degradación, se conoce como degradación primaria.

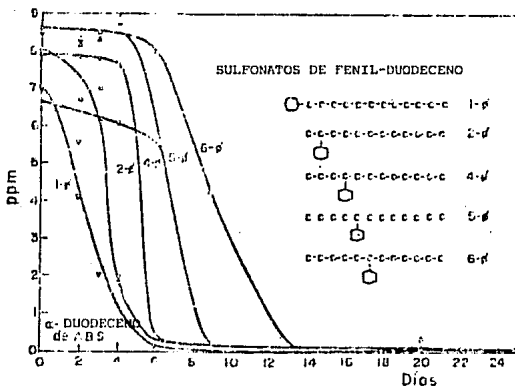
La generalización sobre la biodegradación de los detergentes por algunos investigadores, es que, el sulfato de alquilo (LAS) es biodegradable y el sulfato de alquil benceno (ABS) no lo es. Esto se le atribuye a la resistencia del ABS, derivado del polipropileno a la estructura muy ramificada del grupo alquilo; en contraste el ABS lineal primario presenta menos resistencia a la degradación biológica.

Para comprobar lo anterior, se efectuaron determinaciones de DBO en varios alcoholes con cadenas de 4 a 9 átomos de carbono. Los resultados de esta experimentación, demostraron que: a medida que el número de ramificaciones era mayor, la resistencia a la biodegradación se incrementa. En la degradación biológica, el efecto de un grupo metilo lateral, unido a una molécula lineal de surfactante, es poco notable, observándose que cuando se aumentan las ramificaciones a una molécula, se incrementa la resistencia, siendo mayor cuando se presentan ramificaciones cuaternarias en los extremos de las cadenas de las moléculas.

Otros estudios muy importantes realizados sobre los efectos de la longitud de la cadena y la posición del fenilo en ella sugiere que: entre mayor sea la distancia entre el grupo sulfonato y el extremo hidrofóbico, mayor es la velocidad de biodegradación primaria del ABS, hecho que se conoce como principio de distancia.

POSICION DEL FENILO.

Cuando la degradación es dependiente de la posición del grupo fenilo en la cadena, los tensoactivos son más rápidamente degradados cuando presentan dicho grupo cerca de los extremos de la cadena, que aquellos con el grupo fenilo en posición central.



Biodegradación de LAS con 12 carbonos e isómeros individuales en ensayos por separado en agua de río (Swisher 1963).

DEGRADACION ULTIMA.

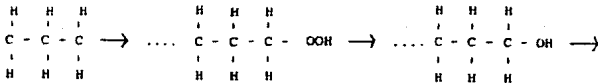
Los mecanismos de las bacterias y otros microorganismos para degradar los surfactantes, son aquellos que han desarrollado para utilizar elementos naturales, o productos de los desechos de otros, como un proceso vital en la obtención de energía. Estos mecanismos son catalizados por enzimas. La presencia de un compuesto extraño en ambientes naturales puede ser un fac-

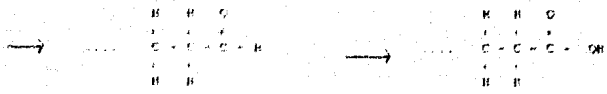
tor que determine la producción de nuevas enzimas por las bacterias capaces de usar tales productos como sustratos para la obtención de alimento y energía. El primer paso en el mecanismo general para la obtención de energía, se llevó a cabo por la omega oxidación: en el caso de los surfactantes, es la degradación del grupo hidrofóbico. El mecanismo por el cual la porción alifática del surfactante es degradado, se designa beta oxidación.

El término de oxidación aromática, se aplica cuando el grupo hidrofóbico contiene un anillo benzenico y es transformado por la acción de los microorganismos, a compuestos más sencillos que puedan ser aprovechados por otros.

OXIDACION OMEGA.

El ataque de LAS y ABS, por las bacterias se inicia con la oxidación del grupo metilo terminal. Sin embargo, el mecanismo exacto y las etapas intermedias propuestas son muy contradictorias. Este se debe, probablemente a los microorganismos que se usan en los experimentos, la longitud de la cadena del compuesto que se use y a las condiciones experimentales. La mayoría de los investigadores que han estudiado este proceso, convergen en que la oxidación omega, consiste en la adición de oxígeno molecular, catalizados por la enzima oxigenada para dar un hidroxiperóxido primario, a un aldehído y a un ácido carboxílico.



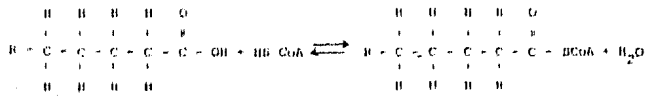


W - Oxidación por oxidación.

OXIDACION BETA.

Los organismos degradan los ácidos grasos por el proceso de oxidación beta. La reacción es una oxidación simultánea de dos carbonos de la cadena de ácido graso, en una sucesión de grupos acetilos, los cuales son usados para la obtención de energía o reacciones de síntesis por las células. Este mecanismo, son una serie de reacciones catalizadas enzimáticamente donde el grupo carboxilo se esterifica por lo menos en dos etapas intermedias por la CoA (Coenzima A).

Posteriormente, dos hidrógenos son eliminados para formar derivados alfa, beta hidroxi, siendo deshidrogenados a su vez para formar un compuesto beta ceto. Finalmente, otra molécula de CoA se adhiere entre los carbonos alfa y beta separando el grupo acetilo de la Co A, dejando un compuesto (Co A - ácido graso) de dos carbonos más corto que la molécula original.



Este puede aparecer en los países subdesarrollados, en la transición de los socialistas, en sectores políticos más fuertemente influenciados por los principios que rigen los socialistas para su distribución.

A pesar de la cantidad de investigaciones efectuadas para determinar la distribución de los distritos, así como algunas conclusiones sobre que nos ayudaron a tener un criterio general, ya que las investigaciones más importantes se refieren a ciertos aspectos de la estructura de la economía de los distritos como: tamaño de la zona, características, presencia de grupo étnico y religioso y no al aspecto global de la actividad económica, así como que, los distritos del tipo III son más susceptibles de ser transformados en entornos más adaptables, por la acción de los planificadores, que los del tipo II y III.

III. ELIMINACION DE DETERGENTES:

A) Efectos de los Detergentes en los procesos de tratamiento de aguas residuales.

La espuma que se forma tanto en las plantas de tratamiento de aguas residuales municipales como en las corrientes receptoras, fue la primera indicación de los posibles efectos perjudiciales que podrían ejercer los detergentes en los procesos de tratamiento y en la operación de las mismas.

El primer indicio en los estudios de los problemas ocasionados por presencia de detergentes en las aguas residuales, aparece en 1947. Dichos estudios trataban sobre la formación de espumas en una planta de tratamiento de agua residual en Pensilvania, E.U.A., donde se daba solamente evidencia indirecta de que los detergentes fueron los agentes responsables del problema.

El estudio mencionado recibió gran publicidad y con ello se desató una controversia sobre el papel de los detergentes en la formación de espumas; sin embargo, existe en la actualidad un criterio más o menos generalizado de que los detergentes son, sin duda, agentes que contribuyen en la formación de espuma. Otros factores, tales como: tiempo de aireación, concentraciones de sólidos suspendidos, etc., tienen marcada influencia en la cantidad y característica de la espuma formada.

A través de la amplia experimentación realizada, se ha notado una gran variación en la ocurrencia de espuma, no sólo en diferentes plantas, sino también en una misma planta, bajo condiciones aparentemente iguales de operación. La evaluación y cuantificación de los factores que

constituyen a la ocurrencia, zitura o persistencia, es sumamente compleja.

Problemas causados por la formación de espumas:

Se ha podido observar que la formación de espuma, ocurre principalmente en: tanques de afluencia, afluente final de las plantas de tratamiento de aguas residuales y en las corrientes receptoras de los mismos. Los efectos nocivos de la formación de espumas son fundamentalmente los siguientes:

- a) Aspecto desagradable, tanto en las unidades de tratamiento como en los cuerpos receptores.
- b) Problemas de operación, ocultamiento de las estructuras de control y recubrimiento de las superficies de trabajo con sedimentos, los cuales, contienen altas concentraciones de material superficialmente activo, grasa y proteínas, lodos, etc.
- c) Mayor peligro en accidentes que pueden ocurrir al personal de operación.

Factores que influyen en la formación de espuma:

Se han efectuado numerosas experiencias sobre los factores que solos o en combinación parecen ser los contribuyentes en la formación de espuma. En dichos experimentos se emplearon diferentes detergentes comerciales sintéticos, de concentraciones conocidas. Por ser el ABS el surfactante más utilizado en la formulación de detergentes sintéticos y en adición por ser biológicamente "duros", y por lo tanto apto para

particular en los procesos de tratamiento, fue usado como material de referencia.

A continuación se presenta una evolución que resume los resultados más significativos sobre la influencia de los diversos factores en la formación de espuma.

a) Tasa de aireación.

Los resultados de los experimentos, muestran que la formación de espuma en estado estable, se produce a concentraciones de ABE tan bajas como 1 mg/l y con tasas de aireación de 236 centímetros cúbicos por segundo. Las aguas residuales de la Ciudad de México, por ejemplo tienen concentraciones de ABE muy por encima de este valor.

La formación de espuma está directamente relacionada con la tasa de aireación, por lo que se ha concluido que la tasa de aireación, es el factor más importante en la formación de espuma.

En general, se ha observado que la cantidad de espuma y su acumulación en los tanques de aireación, son incrementados positivamente con el aumento en la tasa de aireación.

b) Profundidad de los tanques de aireación.

A pesar de que la fluctuación en la profundidad del agua en los tanques de aireación es pequeño, se han efectuado estudios para determinar el significado de la profundidad en la formación de es-

puma. Los resultados de dichos estudios, muestran que la profundidad de los tanques de aireación, constituyen un factor importante, esto es, a mayor profundidad de los tanques se necesita menos concentración de surfactante para producir una altura dada de espuma.

c) **Concentración de sólidos suspendidos en el licor mezclado.**

Se ha hecho notar que la baja concentración de sólidos suspendidos, generalmente se asocia con una alta tendencia a formar espuma.

El nivel de concentración de sólidos suspendidos para el control de espuma, varía grandemente de una planta a otra, no pudiendo hacerse generalizaciones. Sin embargo, existe un criterio más o menos uniforme de que la concentración de sólidos está directamente relacionada con el problema de espuma.

d) **pH y dureza.**

La región de formación de espuma, se caracteriza por un alto valor de pH y ocurre en la parte final de la degradación de la fase carbónica, y la formación de espuma decrece con el incremento en la dureza del agua.

e) **Presencia o ausencia de sustancias anti-espumantes.**

Sustancias como: aceites, grasas, sales y ácidos grasos, sirven como inhibidores en la formación de espuma. Dichas sustancias pierden su efectividad a medida que son estabilizadas en su paso a través de las unidades de aireación.

f) Presencia de agentes superficialmente activos.

Se ha podido observar que los surfactantes varían ampliamente en su habilidad para formar espuma. Sin embargo, no existe una opinión definida sobre las concentraciones mínimas de detergentes requeridas para producirla en condiciones normales de operación en una planta de tratamiento de agua residuales. Se ha experimentado con muestras representativas, de la mayor parte de surfactantes usados en la formación de los detergentes sintéticos comerciales bajo condiciones iguales de operación. Los resultados del estudio, indican una gran discrepancia en el comportamiento de los detergentes.

Así, el Lypón T-77 que es un surfactante aminado, es uno de los que produce mayor cantidad de espuma, esto se debe a que las aminas incrementan las características espumantes de los surfactantes.

En el curso de la experimentación, se observó que todos los tipos de ABS comienzan a producir espuma a una concentración que fluctúa alrededor de 0.3 ppm. Productos comerciales como: Ehofat, Ethomid y Duponal C, son espumantes débiles; en cambio, los conocidos como Sucrodet no-iónicos son fuertes productores de espuma, sólo comparados a los ABS comerciales. El grupo de los glicoles de polietileno, en la experimentación, no produjeron espuma a concentraciones de 50 ppm.

Entre los jabones de baño, el comerciante conocido como "Vel",

produce cantidades significativas de espuma a concentraciones de 2.0 ppm. y los denominados "Dove" y "Zest", no presentan tendencias a formar espuma a concentraciones de 20 ppm.

g) Efecto de mezclas de detergentes en la formación de espuma.

El comportamiento de mezclas de diferentes detergentes, es de particular importancia, por reflejar condiciones cercanas a las que realmente se presentan en las plantas de tratamiento de aguas residuales.

Algunos estudios al respecto, sugieren que la mezcla de detergentes puede incrementar la formación de espuma por simple adición de propiedades.

En una investigación de este tipo, en la cual se estudió el carácter de una gran variedad de detergentes mezclados con ABS, se encontró que de acuerdo al comportamiento de la mezcla se pueden definir tres grupos.

Un grupo está representado por: "Ope-S" y Alkil fenoxi-polietilenglicol, el cual parece ser compatible con el ABS; en esta mezcla, se observa espuma adicional solamente al comienzo de la experiencia y luego, en el curso de la misma no se observa ningún incremento. El segundo grupo está formado por Sucrodet, mismo que fue compatible con el ABS, pero la espuma fue mayor. El tercer grupo, formado por glicoles de polietileno, no muestra influencia significativa en la tendencia a formar espuma con el ABS.

Como complemento a la investigación, se estudió la formación en que los jabones de baño afectaban el comportamiento del A.S.S. Se encontró que el producto comercialmente conocido como "Vel", incrementa fuertemente la formación de espuma, en cambio, los productos conocidos como "Dove" y "Zest" no presentan incrementos significativos de espuma.

b) Sustancias que contribuyen a la formación de espuma.

Muchos desechos industriales, son difíciles de tratar por el proceso de lodos activados, debido a los problemas de espuma. Notables por esta causa, son los desechos industriales de pulpa de madera, producción de antibióticos e industrias de conservas de carnes. Cuando estos desechos son descargados junto con las aguas residuales domésticas, se pueden esperar problemas de espuma en gran escala.

Las seis clases diferentes de materiales que pueden contribuir a la formación de espuma son:

- 1) Residuos de detergentes aniónicos suaves usados con fines domésticos.
- 2) Residuos de detergentes aniónicos duros (no biodegradables) utilizados en la industria.
- 3) Residuos de detergentes no iónicos usados en la industria.
- 4) Residuos de detergentes no iónicos duros usados con fines domésticos.
- 5) Residuos de poliglicoles usados principalmente en la industria.

6) Residuos de poliglicoles formados por la degradación de los detergentes no iónicos suaves, usados en la industria.

B) Efectos de los detergentes en el proceso de digestión de lodos.

No existen resultados substanciales en la literatura que indiquen que la presencia de detergentes en las aguas residuales, causen algún disturbio apreciable en el proceso de digestión, a pesar de que se citan muchas condiciones insatisfactorias de operación y reducción en el volumen de gases de la digestión.

a) Es poco probable que los lodos combinados de la sedimentación primaria y secundaria, en una planta de tratamiento que emplee el proceso de lodos activados, cause interferencias en las digestiones de los lodos.

b) Los métodos colorimétricos, no son lo suficientemente precisos para determinar el efecto de ABS en los procesos de tratamiento de aguas residuales, por lo cual, muchos resultados contradictorios se deben a la selección inadecuada de prácticas analíticas.

c) Solamente un pequeño porcentaje de ABS es adsorbido por materiales inorgánicos como arena, bantonita, tierra de diatomeas, etc.

d) El porcentaje máximo de ABS adsorbido por los sólidos filtrables suspendidos, varía un 10% y 12%, no más de 10% del ABS presente en las aguas residuales domésticas, está asociado con los sólidos.

e) La concentración de ABS en las aguas residuales domésticas, no tie-

de gran significado en el porcentaje adsorbido por los sólidos, y consecuentemente en la concentración de ABS eliminado por sedimentación primaria.

f) Debido al hecho de que los detergentes son altamente solubles en agua y no son precipitados por los iones de Ca^{++} y Mg^{++} , es poco probable que cantidades significativas de ABS sean eliminadas por sedimentación o flotación.

g) Debido a las propiedades fisicoquímicas de los surfactantes, podría ser eliminada por adsorción en la superficie de los sólidos sedimentables; sin embargo, la medida de dicha fracción es sumamente compleja, ya que los métodos colorimétricos convencionales de análisis, no son apropiados para toda clase de surfactantes, y son de dudosa precisión al ser aplicados en un medio como el de las aguas residuales.

Muchos estudios indican eliminaciones en las unidades primarias que fluctúan entre el 10% y el 50%.

Con la aplicación del Verde de Metileno, basado en análisis colorimétrico, se ha determinado que el 30% del ABS presente en las aguas residuales crudas, es eliminado por sedimentación; sin embargo, aplicando técnicas analíticas más precisas, se ha demostrado que dichos resultados pueden ser más confiables.

Estudios efectuados con la aplicación de técnicas radiológicas han dado como resultado que solamente el 10% del ABS puede ser adsorbido por los sólidos; y que, el máximo porcentaje de ABS eliminado en las

unidades de sedimentación primaria, con periodos de retención de 2 a 4 horas, es del orden de: 2% al 4%, como máximo.

h) De la pequeña cantidad de detergentes, asociada a los sólidos sedimentables, se puede deducir que, los procesos secundarios (lodos activados, filtros percoladores) son importantes factores en la eliminación de ABS en el tratamiento de aguas residuales.

i) De lo anterior mencionado, se puede concluir que las cantidades (2% a 4%) de ABS eliminados por sedimentación primaria difícilmente pueden producir disturbios en la digestión de lodos. Dichos valores están basados en observaciones hechas en la reducción de gases.

j) Los residuos sólidos de los lodos activados, en una planta de tratamiento, pueden llevar como máximo 1.5% del ABS influente al digestor. En los experimentos efectuados, no fue posible mantener un sistema de lodos activados en el cual, fueran arrastrados suficientes sólidos como para enviar 3.5% del ABS influente al digestor.

En conclusión, sólo una pequeña cantidad de ABS está asociada con los sólidos crudos o activados que van al proceso de digestión.

C) Efectos de los detergentes en la tasa de aireación y en el proceso de lodos activados.

Un criterio más o menos generalizado en la literatura, es que la mayor parte de los detergentes reducen la razón de transferencia de oxígeno en la aireación.

Numerosos investigadores, proponen un incremento en la tasa de aireación en el proceso de lodos activados, después del advenimiento de los detergentes sintéticos.

Algunos investigadores, establecen que el efecto más favorable ejercido por los detergentes, en los procesos de tratamiento de aguas residuales, es en la eficiencia general de los procesos de tratamiento biológico. Una serie de estudios indican que la eficiencia del proceso, se reduce en un 20% con la presencia de detergentes.

Parece ser que la causa del problema del efecto antes mencionado es debido a la reducción de la razón a la cual el oxígeno es transferido de las burbujas de aire de los difusores a los residuos, en el proceso de los lodos activados. La experimentación, ha demostrado que los detergentes no afectan la eficiencia de los difusores de aire cuando la aplicación de oxígeno se efectúa a una tasa mayor que la normalmente necesaria para el proceso de lodos activados.

En una gran variedad de experimentos que se efectuaron con diferentes surfactantes sintéticos en la transferencia de oxígeno, utilizando difusores de aire a presión, se concluye que los surfactantes aniónicos y no iónicos tienen un efecto considerable; aquellos que interfieren en gran escala reduce la razón de transferencia en más del 50%.

Una gran variedad de sustancias orgánicas, interfieren con la transferencia de oxígeno en un medio como las aguas residuales, sin embargo, la mayoría de esas sustancias son destruidas durante el tratamiento biológico.

gico, y la tasa de aireación se aproxima a la que ocurre en agua limpia. En presencia de surfactantes biológicos duros la recuperación no es tan rápida como completa, indudablemente, este es el factor que produce incremento en la tasa de aireación en muchas plantas de tratamiento.

En estudios efectuados, se ha observado que la aplicación de aire, se efectúa a tasa normal en ausencia de detergentes. Cuando se añadían detergentes al agua, se notó una marcada reducción en el grado de nitrificación, siendo necesario incrementar el flujo de aire con un factor de dos a tres, para restaurar la eficiencia.

Otro factor que parece estar involucrado en el problema, es la acción suavizadora de las espumas, la cual posiblemente disminuye la transferencia de oxígeno hacia la atmósfera. Este efecto puede ser perjudicial en plantas que utilizan unidades mecánicas de aireación, cuya acción depende fundamentalmente de la extensión de las superficies de contacto con la atmósfera; sin embargo, el efecto mencionado no ha sido suficientemente comprobado y sobre ello existen contradicciones en la literatura.

A parte del efecto en la transferencia de oxígeno, no existe evidencia de que los detergentes sintéticos en las concentraciones normales encontradas en las aguas residuales, sean peligrosas para los procesos de tratamiento. En particular, los filtros percoladores parecen no ser afectados.

Respecto a los efectos de los detergentes en el proceso de lodos activados, aparte de lo ya mencionado es de interés anotar las principales

conclusiones de los estudios efectuados por Sanitary Research Laboratory (Universidad de los Angeles California, E.U.A.), dichos resultados, son dignos de confianza, ya que la valoración de los efectos, se basan en determinaciones analíticas precisas. Las principales conclusiones son las siguientes:

- a) La concentración de ABS presente en las aguas residuales (5-10 ppm), no tienen efecto en los lodos activados.
- b) Se observó el efecto de concentraciones crecientes de ABS, reduciendo a la mitad la concentración de sólidos en el licor mezclado de los lodos activados. Los periodos de aireación dentro del rango normal usado en las plantas de lodos activados (4-6 horas) no presentaron variación en la reducción de ABS; sin embargo, con periodos de aireación de 24 horas se obtuvieron reducciones considerables.
- c) Se ha observado que el ABS se degrada entre 45 a 55% en unidades experimentales de lodos activados.
- d) Parece que la máxima reducción de ABS por lodos activados, va asociado a la disminución de DBO y viceversa; sin embargo, la evaluación de esta variable no está bien definida.
- e) Con base en los resultados totales de la investigación, se concluye que la máxima reducción de ABS en una planta de lodos activados, diseñada con los parámetros usuales y operaciones en condiciones normales, es del orden del 55-60%.

D) Otros efectos producidos por los detergentes.

En este trabajo se mencionan efectos secundarios producidos por los detergentes en los procesos de tratamiento de aguas residuales, entre los cuales se pueden mencionar los siguientes:

- 1) Cambios en la DBO y sólidos suspendidos de las aguas residuales.
- 2) Alteración de la carga orgánica en varias unidades de tratamiento.
- 3) Modificación del tratamiento de las aguas residuales.
- 4) Efectos corrosivos de partes mecánicas de las plantas.
- 5) Interferencias en la determinación de oxígeno disuelto.
- 6) Interferencia en la cloración.
- 7) Interferencia con la coagulación y flotación del floculador.
- 8) Efectos de los aditivos.

De investigaciones efectuadas, se ha encontrado que los fosfatos no afectan la eficiencia de la sedimentación, pero sí incrementan el volumen de lodos. Este incremento puede ser significativo en los procesos de lodos activados. Los aditivos como los tripolifosfatos, interfieren en la formación de flóculos. A este respecto pueden considerarse que presentan mayor significación los detergentes para uso industrial, que los domésticos.

E) Estudio de la degradación de detergentes en un sistema de lodos activados.

Con el fin de que el agua residual vertida al medio ambiente vaya menos contaminada, es necesario aplicarle algún tratamiento eficiente mediante el cual se obtenga agua de calidad adecuada para su posible reutilización.

El sistema de Lodos Activados ha sido ampliamente utilizado por su alta eficiencia y tolerancia a las variaciones que en flujo y carga orgánica tienen las aguas residuales. Los detergentes como contaminantes orgánicos sintéticos, son compuestos cuya remoción no es fácil y su eliminación representa un problema importante a resolver.

En este trabajo se presentan los resultados de remoción de detergentes en un sistema de lodos activados para diferentes concentraciones de detergentes, midiéndose el efecto que los diversos parámetros de operación tienen sobre ésta.

Se obtuvo una remoción de hasta 70% para una concentración de 15 mg/l, una demanda química de oxígeno de 475 mg/l sólidos suspendidos volátiles de 1380 mg/l y tiempos de residencia de 6 horas.

Los procesos convencionales de tratamiento de aguas de desecho constan principalmente de pretratamiento, tratamiento primario, secundario, terciario y disposición de lodos residuales.

Los principales objetivos de este proceso son: por una parte la reducción de la demanda bioquímica de oxígeno y organismos patógenos, además de la eliminación de nutrientes, compuestos tóxicos, compuestos no biodegradables y sólidos disueltos.

En México, se encuentran al rededor de 150 plantas de tratamiento de aguas residuales, distribuidas de la siguiente manera:

Tipo de sistemas	No. de instalaciones
Lodos activados	48
Lagunas biológicas	42
Tanques Imhoff	19
Sedimentadores primarios	13
Secadores API	11
Filtros rociadores	7
Zanjas de oxidación	3
Emisores submarinos	2

Como se puede observar, los sistemas más empleados son los de tratamiento biológico como Lagunas de Estabilización y Lodos Activados, que por presentar características de economía y eficiencia respectivamente son empleados en diferentes zonas; es decir, las lagunas son empleadas en zonas rurales ya que su mantenimiento es económico y la carga orgánica que manejan es relativamente baja.

Por otro lado, los Lodos Activados se emplean en zonas urbanas e industriales, donde la carga orgánica generalmente es alta, además es posible manejar flujos altos.

DESARROLLO

En este trabajo se empleó una unidad de laboratorio de Lodos Activados (Eckendelder, 1968), con mezclado completo y recirculación interna, consta de dos partes principales, un tanque de aireación en donde se forma la flora microbiana responsable de la degradación de la materia orgánica y, separado por una mampara deslizable, un tanque de sedimentación en donde los

sólidos en suspensión se separan y permiten obtener un afluyente libre de material en suspensión y una recirculación de lodos en forma fácil y continua sin necesidad de bombeo adicional.

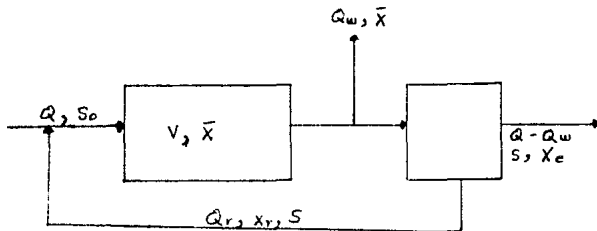


DIAGRAMA DE FLUJO DEL SISTEMA DE LODO ACTIVADOS/RECIRCULACION

Con el propósito de analizar dicho modelo es necesario hacer algunas suposiciones en la forma siguiente:

1. La degradación de la materia orgánica por los microorganismos sólo se lleva a cabo en el tanque de aireación y se considera que si se lleva a cabo degradación en el clarificador, ésta es despreciable con respecto a la que se obtiene en el aireador.
2. El nutriente limitante para el crecimiento heterotrófico es la materia orgánica y todos los demás nutrientes se encuentran en exceso.
3. El pH y la temperatura son constantes y adecuados.

4. El sustrato es soluble y biodegradable.

5. En el término k_d se incluyen todos los aspectos que pueden influir en forma negativa el crecimiento como pueden ser: predación, muerte, energía para mantenimiento, etc.

También es necesario definir los siguientes parámetros:

Tiempo de residencia (θ_h).

$$\theta_h = \frac{V}{Q} \quad (1)$$

Tiempo medio de residencia celular (θ_c).

$$\theta_c = \frac{XV}{Q_w X + X_e (Q - Q_w)} \quad (2)$$

En la ecuación anterior cuando el clarificador funciona eficientemente X_e prácticamente igual a 0 por lo que la ecuación se reduce a:

$$\theta_c = \frac{V}{Q_w} \quad (3)$$

EN DONDE:

Q -Flujo de alimentación (m^3/hr).

V -Volumen del reactor (m^3)

X -Concentración de microorganismos en el tanque de aireación (g/l).

Q_w -Flujo de lodos de desecho (m^3/h).

X_e Concentración de lodos en el afluente del clarificador.

Dos parámetros adicionales considerados en la figura 1 son:

- X -Concentración de microorganismos en el tanque de aireación (g/l).
- S_0 -Concentración de materia orgánica en la alimentación (g/l)
- S -Concentración de materia orgánica en el tanque de aireación (g/l).
- Q_r -Flujo de lodos en la línea de recirculación (m^3/h).

En general en los sistemas de tratamiento de aguas residuales, la materia orgánica se mide en forma indirecta como demanda química de oxígeno o como demanda bioquímica de oxígeno (DQO o DBO) teniendo las mismas unidades. En forma similar la concentración de microorganismos se mide en forma indirecta como sólidos suspendidos volátiles (SSV); ya que la medición de los diversos grupos microbianos no se podría llevar a cabo en una forma rápida para poder ser incluida en el modelo.

Para obtener las ecuaciones de diseño, simplemente realizamos balances de materia en el sistema:

Balance para Microorganismos:

$$\text{Acumulación} = \text{entrada} = \text{salida} + \text{Producción.} \quad (4)$$

En donde:

$$\text{Acumulación} = V \frac{dx}{dt} \quad (g/h) \quad (5)$$

$$\text{Entrada} = Q X_0 \quad (g/h) \quad (6)$$

$$\text{Salida} = Q_r X + X_e (Q - Q_r) \quad (g/h) \quad (7)$$

$$\text{Producción} = (Y \frac{ds}{dt} - K_d X) V \quad (\text{g/h}) \quad (8)$$

Al substituir las ec. 5, 6, 7 y 8 en la ec. 4 y considerar además que el valor de X_0 es igual a 0 nos da:

$$V \frac{dx}{dt} = (Y \frac{ds}{dt} - K_d X) V - (Q_w X + X_e (Q - Q_w))$$

En la ec. 9, Y es la constante de rendimiento celular y usualmente se expresa como g SSV/g DQO. Si a esta ecuación le aplicamos condiciones de estado estacionario y suponemos que la recirculación de los lodos funciona con una alta eficiencia, tenemos:

$$\frac{dx}{dt} = 0 \quad (10)$$

y

$$X_e = 0 \quad (11)$$

Lo que al substituir en 9 nos queda:

$$Y \frac{ds}{dt} - K_d X = (Q_w X/V) \quad (12)$$

La velocidad de consumo de sustrato en la ec. anterior, se puede expresar en términos de cantidades finitas en la forma siguiente:

$$\frac{ds}{dt} = \frac{Q}{V} (S_0 - S) \quad (13)$$

Lo que al substituir en 12, dividir entre X y aplicar los valores de las ec. 1 y 3 nos queda:

$$\frac{Y}{Q_w X} (S_0 - S) - K_d = \frac{1}{c} \quad (14)$$

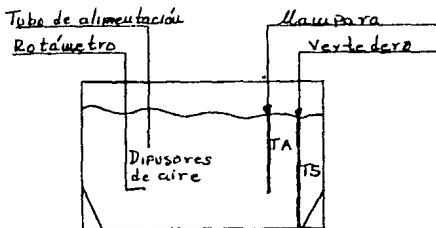
De donde podemos finalmente despejar el valor de S y llegar a la ec. 15.

$$S = \frac{S_0 Y O_c - X O_h (K_d O_c + 1)}{Y O_c} \quad (15)$$

Dicha ecuación nos permite conocer la calidad de un efluente cuando se conocen sus características (S_0), el tipo de reactor (O_h) y el sistema microbiano (Y , O_c y K_d).

En nuestro caso, para una carga orgánica (S_0), una concentración celular constante (X) y un flujo de lodo de desecho constante y necesario para mantener la concentración celular X en el valor requerido, se calculó el valor de O_c con la ec. 3 y el valor de K_d al substituir todos los valores anteriores en la ec. 15.

FIG. DETALLADA DEL SISTEMA DE LABORATORIO



Los parámetros de diseño empleados en el modelo son:

Concentración celular X , se midió como sólidos suspendidos volátiles (SSV).

Concentración de sustrato S , se midió como demanda química de oxígeno (DQO).

En forma adicional se hicieron determinaciones de sólidos suspendidos (SS), sólidos sedimentables (SD), oxígeno disuelto (OD), pH, temperatura, respiración, índice volumétrico de lodos, todos medidos en el tanque de aireación. También se midieron las demandas químicas de oxígeno tanto del agua de alimentación como del agua tratada.

Los detergentes que se emplearon en este estudio, son en general detergentes de uso industrial. La concentración de ellos en los estudios se midió como sustancias activas al azul de metileno, que es una forma de medir los -detergentes de tipo aniónico.

Todos los parámetros mencionados se evaluaron siguiendo la metodología recomendada por los manuales de análisis de agua y agua residual de la SARH.

Las condiciones de operación en las que se trabajó fueron las óptimas encontradas para la remoción de materia orgánica en un sistema de este tipo y que son:

$$S_0 = 560 \pm 25 \text{ mg/l de DQO}$$

$$X = 1250 \text{ mg/l de SSV}$$

$$O_h = 6h$$

Las concentraciones de detergentes utilizadas para los diversos experimentos realizados fueron de 0.0, 3.3, 9.65, 15.57, 19.1, 32.3, 37.24 y 50.02 mg/l de sustancias activas al azul de metileno (SAAM).

La aireación en las unidades se controló con rotámetros (Wallace & Tiernan NP 151), las unidades se ajustaron con el vertedero a un volumen de 10 litros y los flujos de alimentación se controlaron con bombas peristálticas (Masterflex modelos WZ1R057 y 7535-00 Cole Parmer USA) con los cabezales y las mangueras adecuadas.

El agua residual empleada en estos estudios corresponde a la especificada por la OECD que equivale en carga orgánica a la de una agua residual doméstica promedio.

RESULTADOS

Por cuestión de espacio, se muestran en la tabla siguiente únicamente los resultados obtenidos en el experimento inicial, que por no contener detergente se empleó como testigo; y el resumen de todos los experimentos con cada uno de los parámetros que se controlaron, como son: eficiencia del sistema tanto para remoción de materia orgánica como de detergentes, variación de los tiempos de residencia celular e hidráulico y la concentración de sólidos suspendidos volátiles en el sistema, así como temperatura, pH, índice volumétrico de lodos, respiración y rendimiento celular.

Como se observa en los resultados, la estabilidad del sistema se ve afectada a medida que la concentración de detergente aumenta, lo que se ve reflejado en un descenso global de la eficiencia de remoción de materia orgánica (DQO). Dicho efecto se puede explicar en términos del descenso que la concentración de sólidos suspendidos volátiles del tanque de aireación sufre, lo que es consecuencia del descenso en la velocidad de crecimiento de los lodos o bien al aumento del tiempo medio de residencia celular (θ_c).

ya que:

$$\frac{1}{O_c} = H$$

Lo anterior implica que existe un descenso de casi el 50% en la velocidad de crecimiento, cuando la concentración de detergentes es de 15.5 mg/l, lo que indica un claro efecto inhibitorio de los detergentes y se refleja también en el descenso de hasta 60% en la velocidad específica de respiración pues el sistema debe cumplir la ecuación.

$$Q_{O_2} = m_0 = (1/Y_0) H$$

En donde: m_0 es el oxígeno requerido para mantenimiento g O_2 /g SSV min.

Y_0 rendimiento en base a oxígeno g SSV/g O_2

COMPORTAMIENTO DE LOS PARAMETROS DEL SISTEMA DE LODOS ACTIVADOS DE ACUERDO A LA CONCENTRACION DE DETERGENTES EMPLEADA EN EL ESTUDIO

PARAMETRO	CONCENTRACION DE DETERGENTE (SAAM) (mg/l)							
	0.0	3.3	9.6	15.5	19.1	32.3	37.2	5.6
Temp. °C	21	23	21	22	21	18	20	19
pH	7.5	7.2	7.9	7.7	7.9	7.8	8.1	8.1
SSV*	1.6	1.52	1.41	1.39	1.1	2.5	1.45	1.31
SVI**	125	151	141	200	--	128	141	130
Q_{O_2} ***	0.6	0.57	0.28	0.2	0.52	0.1	--	--
Rendimiento §	--	0.23	0.25	0.16	--	--	0.178	0.141
DQO****	82	74	80	72	72	72	59.8	57.6
SAAM*****	--	42	66	69	51	41	30	40.3
t_h (horas)	6.0	7.1	6.1	5.8	6.6	5.8	6.14	6.1
t_h (días)								
O_c	4.3	6.2	5.6	7.8	33	4.8	8.7	18

* mg/l acumulados entre el periodo de medición.

** Indice volumétrico de lodos ml/l.

*** Velocidad de respiración ug de oxígeno/mg de SSV min.

§ g de SSV/g de DQO.

**** Eficiencia de remoción de demanda química de oxígeno.

***** Eficiencia de remoción de detergentes.

-- No cuantificado.

Para las concentraciones de 19.1 y 32.3 se obtuvieron datos no fácilmente explicables, ya que hay un descenso casi a cero de la velocidad de crecimiento para la primera y una recuperación considerable para la segunda. Si se piensa en la toxicidad que se consideró en los experimentos con concentraciones más bajas, no debiera haber recuperación, lo que sugiere la necesidad de tener más información al respecto. Sin embargo, existen datos que indican un desplazamiento muy acentuado de la población original del sistema, por otra diferente que resiste las altas concentraciones de detergente y que permite explicar la recuperación del sistema en 32.3 mg/l.

Si se toma en cuenta la remoción de detergente, ésta es en general baja, aunque presenta un óptimo de 70% para 15 mg/l y desciende a valores más altos. Lo anterior se puede atribuir al descenso en la concentración de sólidos o bien al descenso en la capacidad de adsorción de los mismos como consecuencia del descenso en la tensión superficial del sistema a altas concentraciones de detergente.

En conclusión se puede decir que aunque la degradación de detergente no es muy alta, no es mala. Además es factible incrementarla mediante el incremento en la concentración de sólidos suspendidos volátiles en el sistema, lo que se puede lograr disminuyendo Q_w al máximo posible y trabajando a valores más altos de SSV en el tanque de aireación.

P) Eutroficación.

Los fosfatos, compuestos que contienen el elemento natural fósforo, han sido usadas en la fabricación de fertilizantes agrícolas, detergentes y una amplia variedad de productos industriales. Este elemento, es esen-

cial en todas las formas de vida animal y vegetal, presentándose también en el medio ambiente.

El uso de fósforo, en todas sus formas, es considerablemente grande.

A pesar del uso de los fosfatos, durante mucho tiempo no se tiene evidencia de que sean tóxicos a la vida humana. Sin embargo, cuando las aguas negras de las ciudades y los fertilizantes de los campos agrícolas confluyen en las aguas naturales, constituyen, junto con el carbono, nitrógeno, hierro y potasio principalmente, los nutrientes esenciales para la flora acuática. Dichos elementos, contribuyen en el proceso de maduración conocido como eutroficación, que se interpreta como: el enriquecimiento de las aguas por aquellos elementos, ocasionando una sobrepoblación de las plantas acuáticas, principalmente algas.

En los últimos años, aparentemente como resultado del incremento de los nutrientes en los cuerpos de agua, dicho proceso se ha acelerado. A esta circunstancia se conoce como eutroficación "cultural".

Al aumentar la densidad de los microorganismos del agua, la demanda de oxígeno es mayor, siendo perjudicial para los peces y eventualmente para el propio cuerpo de agua. El problema de la eutroficación, ha alcanzado grandes proporciones en los depósitos naturales de agua en los Estados Unidos, siendo en su mayoría poco conocido, ya que, en general existe carencia de conocimientos científicos adecuados de las principales causas que provocan el problema.

Algunos científicos, han afirmado que el fósforo es la causa primaria en el proceso, otros creen que el carbono y el nitrógeno son las fuentes primordiales del fenómeno. A pesar de que no existe un criterio definido al respecto la mayoría de los investigadores están de acuerdo que los detergentes contribuyen en un 50% a la causa, además de otras fuentes como el escurrimiento de los campos agrícolas. Varias propuestas han surgido para eliminar o disminuir los fosfatos de los detergentes, para frenar el proceso de eutroficación de los lagos, ríos y estanques, a pesar de que no existen bases científicas de que los detergentes son el control primario en el problema.

DISCUSION

Los problemas de la contaminación por compuestos químicos, recientemente ha aumentado debido al gran desarrollo científico y técnico en todos sus aspectos, así como el elevado incremento de la población humana en el mundo, transformando en forma progresiva el medio ambiente en el que habita y se desenvuelve, y en algunas ocasiones destruyéndolo. Esta transformación, en algunos países ha ocasionado que muchos de sus recursos naturales hayan desaparecido o estén en proceso de extinción. En el caso particular de los detergentes no biodegradables en algunos países, han cambiado las formulaciones a formas menos complejas, que puedan ser degradadas y transformadas por los microorganismos; en cambio en otros la producción y uso de los detergentes ha aumentado considerablemente causando graves daños a la vida acuática.

Las investigaciones que se han llevado a cabo para conocer los efectos de una amplia gama de surfactantes, de uso común sobre los organismos, aunque los resultados obtenidos sirven de mucho, no se pueden considerar representativos debido a que los seres vivos presentan una amplia variación de sensibilidad a los efectos de los detergentes, aun dentro de la misma especie. Por otra parte, la sensibilidad o resistencia varía de acuerdo con el ciclo de vida y tamaño de los organismos.

Más aún, los organismos de un país, no son los mismos que en otro y aunque sean del mismo género, la especie o variedad pueden ser diferentes, lo que traduce en cambios en las respuestas a la toxicidad de los detergentes; asimismo, los factores físicos del medio ambiente; por su influencia sobre

los organismos, hacen que su sensibilidad a los contaminantes se altere.

Además, los detergentes usados para efectuar los ensayos aunque básicamente presenten los mismos elementos, la cantidad y clase de los aditivos varían de lugar en lugar por lo que los resultados no pueden ser válidos para efectuar una generalización de sus efectos en los organismos.

Aunado con todo lo anterior, existe el hecho de que los contaminantes no se comportan de igual manera en los laboratorios, donde se efectúan los ensayos que en la naturaleza, puesto que en condiciones experimentales sólo se observa el efecto particular de uno o dos contaminantes, a la vez y no a la amplia gama de desechos que se pueden presentar en los cuerpos de agua, así como la influencia sobre los elementos naturales de los propios ecosistemas.

La cantidad de literatura que se ha publicado en otros países, con respecto al impacto de los detergentes en el medio ambiente, es bastante amplia. Dichos estudios son base en la prevención de la contaminación de sus fuentes naturales.

Hasta muy recientemente en México, las investigaciones en este tópico, han sido de interés por aquellas instituciones de velar por la conservación de la calidad del agua, ya sea para el aprovisionamiento de las poblaciones o para los organismos, sin embargo, en dichos estudios, no se incluyen los aspectos biológicos y ecológicos necesarios.

G) Comparación entre el método sencillo para la determinación del sulfonato de alquil benceno (ABS) y el método tradicional del azul de metileno. (experimento)

En agosto de 1972 Takashi Tanaka, Kazuo Huro y Akinori Kawana del Instituto Gubernamental para la Investigación en Osaka, Japón, publicaron un artículo titulado "Un método sencillo para la determinación de sulfonato de alquil benceno (ABS) por colorimetría visual".

El fundamento de este método está basado en que una pequeña porción de sulfonato de alquil benceno (ABS) es adsorbido en forma selectiva por una esponja de poliuretano la cual se sumerge dentro de la solución problema conteniendo cristal violeta. La intensidad de color del complejo ABS-CV adsorbido por la esponja es proporcional a la concentración de ABS. El límite de detección de este método es de 0.5 ppm. El Complejo ABS-CV es fácilmente disuelto en metanol y muestra una máxima adsorción a 588 nm en la solución. Estos investigadores también probaron diferentes espumas (cloruro de polivinilo, poliestireno y polietileno) encontrando resultados más satisfactorios al usar poliuretano blanco de una densidad de 0.024 g/cm^3 cortado en cubos de $2 \times 2 \times 2 \text{ cm}$.

En la actualidad el método de rutina que se utiliza comúnmente para la determinación de sulfonato de alquil benceno es el Método de Azul de Metileno cuyo fundamento consiste en la formación de un complejo entre el azul de metileno y el ABS, este complejo es extraído con cloroformo y leído a 652 nm de longitud de onda. La intensidad de color es directamente proporcional a la concentración de ABS.

Este método es aplicable en un margen de 0.025 a 100 mg/l.

Con base a lo anterior y dada la importancia sanitaria que tienen los detergentes en el campo de la contaminación ambiental, se pensó en la posibilidad de usar el método propuesto por Takashi Tanaka y colaboradores. Con este fin se probaron ambos métodos y más adelante presentamos los resultados preliminares obtenidos.

II. Material y Métodos:

1. Método del Azul de Metileno.

a) Aparatos:

1 Espectrofotómetro para leer a 652 nm.

Material:

-Embudo de separación de 500 ml.

-Tripie o soporte con anillo.

-Frasco gotero.

-Probetas de 50 ml.

-Probetas de 100 ml.

-Embudo de vidrio de filtración rápida.

-Pipeta de 10 ml.

-Matraz aforado de 100 ml.

-Celda de 1 cm para el espectrofotómetro.

-Papel filtro.

-Fibra de vidrio.

-Vasos.

-Piseta con agua destilada.

b) Reactivos:

Solución madre de alquil bencen sulfonato (ABS). Se pesa 1 g de ABS en base 100% activa, se disuelve en agua destilada y se diluye a 1 litro; 1 ml = 1 mg de ABS. Conservar en refrigeración para evitar su biodegradación. Preparar cada semana.

Solución Patron de ABS. Diluir 10 ml de la solución madre de ABS a 1 litro con agua destilada: 1 ml = 0.010 mg de ABS. Preparar diariamente.

Indicador de fenolftaleína: Disolver 5 g de fenolftaleína en 500 ml de alcohol etílico o isopropílico al 95% y agregar 500 ml de agua destilada.

Hidróxido de sodio 1 N: Disolver 40 g de NaOH en agua y diluirlo a 1 litro.

Acido sulfúrico 1 N: Diluir cuidadosamente 27.2 ml de H_2SO_4 concentrado de una densidad de 1.8 en un litro de agua destilada.

Cloroformo grado espectro analítico.

Reactivo de Azul de Metileno: Disolver 100 mg de azul de metileno en 100 ml de agua destilada, de esta solución se pasan 30 ml a un matraz volumétrico de 1000 ml y se agregan 500 ml de agua destilada, 6.8 ml de H_2SO_4 concentrado y 50 g de or-

ortofosfato monosódico monohidratado ($\text{Na H}_2\text{PO}_4 \text{H}_2\text{O}$) agitando hasta su completa disolución y diluir a 1 litro.

Solución de lavado: En un matraz aforado de 1 litro agregar 6.8 ml de H_2SO_4 concentrado a 500 ml de agua destilada, adicionar a continuación 50 g de ortofosfato monosódico monohidratado ($\text{NaH}_2\text{PO}_4 \text{H}_2\text{O}$) y agitar hasta su completa disolución. Diluir hasta el aforo.

c) Procedimiento:

Concentración mínima detectable: 10 mg/l.

Colocar 100 ml de la muestra o una alícuota diluida a 100 ml con agua destilada, en un embudo de separación.

Agregar unas gotas de fenolftaleína.

Adicionar NaOH 1N gota a gota hasta la aparición de un color rosa.

Adicionar H_2SO_4 1N gota a gota hasta la desaparición del color rosa.

-10 ml de cloroformo.

-25 ml de azul de metileno.

-Agitar vigorosamente por 30 segundos.

-Permitir que se separen las capas.

-Extraer la capa de cloroformo a un segundo embudo de separación.

-Repetir la extracción 3 veces usando 10 ml de cloroformo en cada ocasión.

- Combinar todos los extractos en el segundo embudo de separación.
- Agregar 50 ml de solución de lavado.
- Agitar vigorosamente por 30 segundos.
- Dejar que las capas se separen.
- Extraer la capa de cloroformo a través de la lana de vidrio a un matraz aforado de 100 ml.
- Repetir el lavado dos veces usando 10 ml de cloroformo en cada ocasión.
- Lavar la lana de vidrio y el embudo con el cloroformo recolectado de los lavados en el matraz aforado de 100 ml.
- Diluir con el cloroformo hasta la marca del aforo.
- Mezclar bien.
- Leer a 652 nm contra un testigo de cloroformo.
- Cálculos.

$$\text{mg/l de ABS} = \frac{\text{mg de ABS} \cdot 1000}{\text{ml de muestra}}$$

2. Método sencillo para la determinación del sulfonato de alquil benceno (ABS).

a) Material:

- Vasos de precipitado de 250 ml.
- Agitadores de vidrio.
- Pipeta de 1 ml y de 5 ml.
- Probeta de 100 ml.

b) Reactivos:

-Acido sulfurico 1N.

-Cristal violeta 10^{-3} M.

-Cubo de poliuretano blanco de densidad 0.024 g/cm^3
de $2 \times 2 \times 2 \text{ cm}$.

c) Procedimiento:

-Colocar 100 ml de muestra en un vaso de precipitados.

-Adicionar 1 ml de H_2SO_4 1N si la muestra es neutra ajustar
a pH 2.5.

-Adicionar 2.5 ml de cristal violeta.

-Sumergir un cubo de poliuretano y dejar 5 minutos.

-Sacar el cubo, lavar el cubo para eliminar el exceso de
cristal violeta y eliminar el agua.

-Comparar visualmente con una serie de patrones de calibración
a los que se les dio el mismo tratamiento.

3. Plan de trabajo.

Para el método del Azul de Metileno se elaboró una curva de cali-
bración usando las siguientes concentraciones en miligramos: 0.01,
0.03, 0.05, 0.09, 0.11 y 0.13.

Para el método japonés se probaron diferentes concentraciones con
el objeto de seleccionar aquellas que pudieran tener mayor facili-
dad de lectura por comparación visual.

Se hizo una pequeña encuesta para comprobar que la escala selec-

cionada era la más adecuada.

Se presentaron muestras de diferentes concentraciones y se analizaron por los dos métodos.

III. RESULTADOS

Conc. de ABS en la muestra en ppm	Conc. determinada por el azul de metileno en ppm	Conc. determinada por el método sensillo en la escala 1 en ppm	Conc. determinada por el método sensillo en la escala 2 en ppm
0.1	0.96	0.5	0 y 1.0
0.3	0.31	0.5	0 y 1.0
0.5	0.47	0.5	0 y 1.0
0.8	0.77	entre 0.5 y 1.0	aprox. 1.0
1.0	1.20	entre 0.5 y 1.0	aprox. 1.0
1.3	1.33	entre 0.5 y 1.0	aprox. 1.0
1.5	1.47	entre 1.0 y 1.5	entre 1.0 y 2.0
1.8	1.76	entre 1.0 y 1.5	entre 1.0 y 2.0
2.0	1.96	entre 2.0 y 2.5	aprox. 2.0
2.3	2.32	entre 2.0 y 2.5	aprox. 2.0
2.5	2.47	entre 2.5 y 3.0	aprox. 2.0
2.8	2.78	entre 2.5 y 3.0	entre 2.0 y 3.0
3.0	3.03	entre 2.5 y 3.0	entre 2.0 y 3.0
3.3	3.27	entre 2.5 y 3.0	aprox. 3.0
3.5	3.45	entre 3.5 y 4.0	aprox. 3.0
3.8	3.74	entre 3.5 y 4.0	entre 3.0 y 4.0
4.0	4.03	entre 4.0 y 4.5	entre 3.0 y 4.0
4.3	4.34	entre 4.0 y 4.5	aprox. 4.0
4.5	4.53	entre 4.0 y 4.5	aprox. 4.0
4.8	4.76	entre 4.0 y 4.5	aprox. 5.0

Nota:

Escala 1: 0, 0.5, 1.0, 1.5, 2.0, 2.5, 3.0, 3.5, 4.0, 4.5, 5.0

Escala 2: 0, 1.0, 2.0, 3.0, 4.0, 5.0

Aunque este trabajo es un estudio preliminar, podemos concluir en base a los resultados obtenidos que no es conveniente sustituir este método sencillo por el método del azul de metileno debido a la mayor exactitud y sensibilidad que este presentó; por lo que un laboratorio que requiera mucha exactitud en esta determinación deberá seguir usando el método tradicional.

Otra limitación, que presenta este método es su aplicación en aguas que presentan turbidez y color ya que sólo se hizo el estudio en aguas claras.

Este método sencillo debido a su rapidez y economía, resulta conveniente utilizarlo en aquellos estudios que sólo requieran una estimación de la concentración de ABS presente. Por consiguiente, podríamos considerar aplicable este método para el campo, en donde en muy poco tiempo tendríamos una idea del ámbito en el cual se encontrase la concentración de ABS.

H) Eliminación de detergentes por espumamiento.

La problemática que presenta la incorporación al medio ambiente de las sustancias activas de los detergentes sintéticos utilizados en nuestro medio, ha generado el planteamiento de un estudio a mediano plazo con dos objetivos primordiales: 1) la eliminación de detergentes de desechos concentrados para su posible recuperación y reuso, y 2) la eliminación de detergentes en sistemas de tratamiento biológico con aireación.

Eliminación de detergentes:

La limitación de los procesos biológicos para eliminar tensoactivos, está basada en la biodegradabilidad de un porcentaje considerable de moléculas, este porcentaje de eliminación oscila alrededor del 50%. Esta limitación ha hecho necesario recurrir a procesos fisicoquímicos, para tratar de eliminar los tensoactivos de las aguas residuales y del agua potable. Entre los procesos estudiados destacan la sedimentación, la precipitación por coagulación, la adsorción, remoción por espumamiento y la ozonólisis.

En diversos estudios realizados, se ha comprobado que las eficiencias de eliminación de detergentes en procesos de sedimentación simple en tratamiento de aguas residuales son muy pequeñas, variando entre el 2 y 6%.

La no selectividad de la mayoría de los coagulantes químicos y su alto costo, limitan su utilización en la eliminación de detergentes de las aguas residuales, por lo que este proceso se considera útil en tratamientos terciarios o en plantas potabilizadoras. Entre los materiales

adsorbentes que se han utilizado pueden mencionarse: talco, carbonato de calcio, emulsiones aceitosas, parafinas y carbón activado.

La propiedad del ozono como oxidante de la materia orgánica se ha utilizado para eliminar detergente de aguas residuales, pero la no selectividad y el elevado costo del ozono impiden su uso a nivel de tratamiento secundario.

El proceso de remoción por espumamiento se basa en que la espuma producida en una solución conteniendo detergente, concentra las moléculas permitiendo ser recolectadas y eliminadas. El método puede tener aplicabilidad, tanto para aguas residuales como para potabilización, encontrándose altas eficiencias de alrededor de 80%, y si se añade un agente espumante la eficiencia se incrementa hasta más del 90%.

Eliminación de detergentes por espumamiento:

Como anteriormente se mencionó, uno de los procesos más atractivos para la eliminación de detergentes del medio físico agua, es el espumamiento. Este proceso utiliza las propiedades de los detergentes de formar mezclas coloidales con los fluidos no miscibles entre sí. Para el caso de la formación de espumas, los elementos coloidales son agua y el aire, teniendo como puente a las moléculas de detergente. El agente tensoactivo actúa de tal forma, que estabiliza al coloide el tiempo más que suficiente para que éste pueda ser removido, o en otros casos para que provoque los problemas para su fácil manejo en los tanques de aireación. Debido a que la pequeña capa líquida de cada burbuja formada, contiene al tensoactivo en muy altas concentraciones, la separación de la espuma implica la separa-

ción de detergente. Para provocar la formación de espumas es necesario que el líquido de trabajo, reciba una inyección de aire y que éste sea vigorosamente agitado para facilitar el contacto agua-detergente-aire. Este aspecto es particularmente importante ya que entre más pequeña sea la burbuja formada, mayor será el área superficial de la interfase general agua-aire y la remoción será más eficiente.

Otro factor importante es el tiempo, en que la burbuja esté en contacto con el líquido, ya que de esta manera se permitirá la saturación de la interfase con detergentes; este factor puede ser resuelto brindando una altura conveniente al separador.

El volumen de burbuja, considerando la fase aire, es importante ya que éste se traducirá en el número de burbujas y por lo tanto en el área superficial efectiva de la interfase aire-agua. Un modelo comentado por Nemerow que incluye las posibles variantes del proceso es:

$$C_f - C_B = 1000 \frac{G}{F} E_B S \quad (1)$$

Donde: C_f y C_B = Concentraciones de detergente en el influente y efluente (mg/l).

G = Tasa volumétrica del aire inyectado (l/min)

E_B = Exceso de soluto superficial correspondiente a C_B
(mg/cm²)

S = Superficie específica de las burbujas en la fase espuma (cm²/cm³).

y F = Gasto del líquido alimentado (l/min.).

Para la aplicación del modelo se requiere de experimentación a nivel laboratorio con una pequeña planta piloto, consiste en un cilindro con un difusor en el fondo, el cual libera pequeñas burbujas que en su recorrido a través del líquido adsorben el tensoactivo. La espuma formada es forzada a salir del espumador, descargándolas como un desecho concentrado. Para la aplicación del modelo es necesario establecer las siguientes suposiciones: a) el reactor está completamente mezclado, b) la profundidad del líquido es suficiente para obtener la máxima adsorción de tensoactivo en la interfase aire-agua, c) la densidad del líquido es constante, d) no hay ruptura de burbujas en la espuma formada, y e) el volumen del líquido arrastrado por la espuma es despreciable.

En el presente análisis y con base en el trabajo realizado por Millan L. R. (Remoción de Detergentes por Espumamiento), se supone que el espumamiento corresponde a un proceso de separación con una cinética de primer orden, es decir, que la velocidad de reacción depende de la concentración de tensoactivo, siempre y cuando las demás variables se mantengan fijas. Bajo esta condición, la velocidad de reacción estará dada por:

$$\frac{d \text{ ABS}}{dt} = K \text{ ABS} \quad (2)$$

En donde: $\frac{d \text{ ABS}}{dt}$ = velocidad de la reacción (M/L³/T)

K = Constante de la velocidad de reacción, en este caso con valor negativo (T⁻¹)

$$\begin{aligned} \text{ABS} &= \text{Concentración de detergente como (ABS)} \left(\frac{\text{M}^3}{\text{L}}\right) \\ t &= \text{tiempo (T)} \end{aligned}$$

La forma de evaluar la velocidad de reacción es simple y muy utilizada en estudios experimentales. La metodología consiste en medir la concentración del reactivo a varios intervalos de tiempo en un reactor "batch". Por integración y ordenando términos, la ec. (1) se obtiene:

$$\ln \text{ABS} = Kt + \ln (\text{ABS})_0$$

Donde: ABS_0 = concentración inicial de detergente en el reactor (M/L^3), la ecuación anterior es semejante a la de una recta con pendiente K y ordenada al origen $\ln \text{ABS}_0$, las cuales se determinan para las características del modelo experimental y para el fluido de trabajo.

En la práctica los reactores "batch" no son muy utilizados, prefiriéndose los reactores de flujo continuo. En el caso de la reacción descrita, la constante de reacción es la misma en ambos casos, pudiéndose diseñar el reactor continuo, utilizando la siguiente expresión:

$$t_r = \frac{1}{K} \ln \frac{\text{ABS}_0 - c}{\text{ABS}}$$

Donde t_r = tiempo de retención del líquido en el reactor = $\frac{\text{Volumen}}{\text{gasto}}$, (T) esto significa que para una concentración determinada en el influente y una concentración deseada en el efluente, conociendo la constante de reacción y manteniendo las características del sistema, semejantes, es posible determinar el tiempo de residencia necesario, que permita el diseño del reactor continuo. Cabe hacer mención que la limitante para obtener una eficiencia deseada es la económica, lo que no permite tener un reactor infinitamente grande.

EXPERIMENTACION:

Las consideraciones que se tomaron en cuenta fueron: la colocación y estructura del difusor, la altura del reactor, la medición de los gastos, y el muestreo de influente, efluente y espuma. El difusor se diseñó de tal forma, que permitiera el intercambio de mallas difusoras con el fin de, en un futuro, experimentar con diversos tamaños y configuraciones de burbujas. El difusor (ver figura 1) consistió básicamente de un envase plástico de un producto comercial, en el que la tapa original fue modificada de tal forma que sólo quedara la rosca para fijar la malla difusora al envase, que a su vez se fijó a la base del espumador. El aire comprimido se canalizó al difusor por medio de manguera de latex. La malla utilizada en este experimento consistió en tela de "manta" con un tamaño de poro de aproximadamente 125 micras.

El espumador se construyó con un tubo de lámina galvanizada, de los utilizados en bajadas de aguas pluviales, con 15 cm de diámetro y 90 cm de altura. La parte inferior se selló con una tapa del mismo material y en la parte superior se adaptó un codo del mismo diámetro y material para recolectar las espumas y evitar su retorno al reactor, (ver figura 2). Al reactor con un volumen útil de 14.6 l se le hicieron varias perforaciones como sigue: 2 de 13 mm de diámetro a 85 cm del fondo y en posiciones opuestas para entrada del influente y salida del influente respectivamente, 2 de 6 cm de diámetro una en el fondo y otra a 1 cm de altura para fijar y conectar el aire al difusor respectivamente, y una de 8 mm de diámetro a 18 cm de altura para toma de muestras del contenido. Al orificio del efluente fue conectado un tubo de vidrio hasta cerca del fondo del reactor para evitar la salida de espuma por este conducto.

El modelo operó con flujo "batch" y se analizaron 3 fluidos diferentes:

- a) Agua de la llave a la que se le agregó suficiente detergente comercial "Roma" para que la concentración de SAAM fuera de 20 mg/l aproximadamente.
- b) Agua residual de lavado doméstico en el que se utilizó detergente comercial líquido "Vel-rosita" y cantidades no determinadas de hipoclorito de sodio en forma de blanqueador.
- c) Aguas negras crudas del influente de la planta de tratamiento de "El Rosario", del Departamento del Distrito Federal.

La rutina de operación del sistema fue como sigue:

1. Se llenó el cilindro hasta su máxima capacidad y se abrió la válvula de aire hasta regular el gasto por medio de un rotámetro.
2. Se desechó el agua de la llave y se desconectó la manguera alimentadora de aire (no se cerró la válvula).
3. Se llenó el cilindro con el líquido de trabajo.
4. Se tomó una muestra la que correspondió a $t = 0$.
5. Se reconectó el flujo de aire.
6. Se tomaron muestras a diferentes tiempos.
7. La espuma producida era colectada y destruida por aplicación de aire.
8. Se determinaron las concentraciones de las muestras por el método del Azul de Metileno.

Resultados y análisis:

Se realizaron un total de 5 corridas de las que fue posible obtener los resultados que se muestran en la tabla 1. Las figuras 3, 4, 5 y 6 son una representación gráfica de los resultados obtenidos en las corridas de agua de la llave y los residuos del lavado doméstico.

De los resultados se puede observar una tendencia de la reacción a seguir un comportamiento con cinética de primer orden. Se determina por el método de mínimos cuadrados, las curvas se trazaron en papel semilogarítmico obteniendo los valores de K como siguen:

1. Agua de la llave con Q aire 2.4 l/min; $K = -0.03069 \text{ min}^{-1}$
2. Agua de la llave con Q aire 5.1 l/min; $K = -0.05838 \text{ min}^{-1}$
3. Agua de la llave con Q aire 10.5 l/min; $k = -0.09696 \text{ min}^{-1}$
4. Agua de lavado con Q aire 5.1 l/min; $k = -0.25430 \text{ min}^{-1}$
5. Aguas negras con Q aire 5.1 l/min; $K = 0$

Para el caso 4 el ajuste consideró únicamente los tres primeros puntos (23, 24 y 25 de la tabla 1), ya que a partir de ese momento ya no hubo espumamiento. Para el caso 5, no se realizó ajuste ya que el agua residual no espumó desde el inicio de la corrida, por lo que se consideró una K igual a cero. En las tres primeras corridas se ajustaron todos los puntos y se observó que el espumamiento cesó cuando la concentración de detergente era cercana a 1 mg/l.

Con los resultados obtenidos para el agua de la llave se trató de establecer una correlación entre valor de K y gasto de aire. La figura 7 muestra

los puntos obtenidos, y aunque no se ajusta totalmente a una recta se consideró una relación lineal, la cual por mínimos cuadrados presentó una pendiente de 109.23 l, a la cual se le denominó como constante M. De esta forma la ecuación 3 puede expresarse como sigue:

$$tr = \frac{M}{Q \text{ aire}} \frac{ABS}{ABS} - 1 \quad (4)$$

Como ejemplo ilustrativo y suponiendo los valores de algunos parámetros se pueden aplicar los resultados encontrados en la experimentación para establecer las bases de diseño de un espumador de flujo continuo.

Datos: Tamaño del poro del difusor (a) = 125 micras.

Eficiencia de remoción deseado (E) = 90%.

Tasa volumétrica de inyección de aire (Q aire) = 5.1 l/min.

Constante de la velocidad de reacción (K) = -0.05838 min.

Diámetro de la burbuja en la fase espumosa (d) = 1 mm.

Volumen del líquido en el reactor (v) = 14.6 l.

Concentración inicial de tensoactivo (ABS) = 20 mg/l como ABS.

Valor de M = 109.23 l.

Concentración mínima posible de obtener = 1 mg/l.

Cálculos:

Concentración de tensoactivo en el afluente.

$$ABS = 20 (1 - 90/100) = 2 \text{ mg/l como ABS}$$

Tiempo de retención requerido para reactor flujo continuo.

$$tr = \frac{109.23}{5.1} \frac{20}{2} - 1, \quad tr = 192.7 \text{ min.}$$

Gasto máximo a tratar.

$$Q = \frac{14.6}{192.7} \quad (60), \quad Q = 4.55 \text{ l/hr.}$$

Superficie de burbujas en la fase espuma.

$$S = \frac{3 (2)}{0.1}, \quad S = 60 \text{ cm}^2/\text{cm}^3$$

Exceso de soluto superficial en la espuma (E_B)

$$E_B = \frac{(20-2) 0.0758}{1000 (5.1) (60)} \quad E_B = 4.46 \cdot 10^{-6} \text{ mg/cm}^2$$

Relación gasto de aire-gasto de líquido alimentado.

$$\frac{Q_{\text{aire}}}{Q} = 67.28$$

El proceso de espumamiento es eficiente en la eliminación de detergente, sin embargo, en aguas residuales crudas el contenido de materia orgánica limita la formación de espuma y por tanto el proceso en general. Aparentemente el problema se fundamenta en la forma en que se encuentra el tensoactivo en el líquido. El proceso de espumamiento permite la eliminación de moléculas de detergente que se encuentren libres, como es el caso en que el detergente se adiciona al agua limpia. En el caso de agua residual, el complejo detergente-impureza no es eliminado por burbujeo sino hasta que la acción del proceso de tratamiento, libera a las moléculas de detergente las cuales formarán la espuma. Esta idea se ve apoyada por experimentación de campo como son: producción de espuma en corrientes de agua residual que han tenido oportunidad de autopurificación, riego con aguas negras tratadas, espuma-

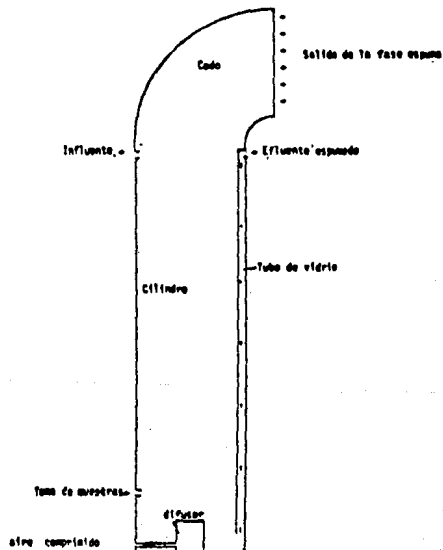
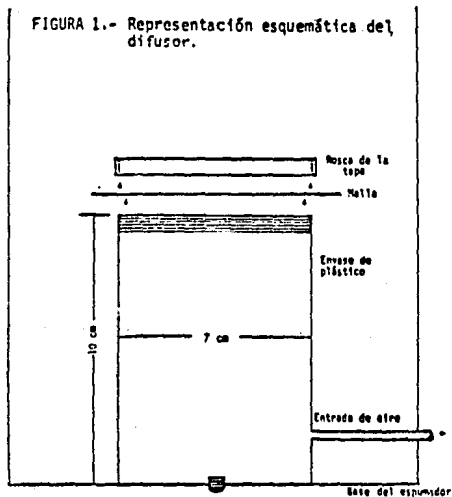
miento en zonas finales de tanques de aireación en procesos biológicos de tratamiento, etc.

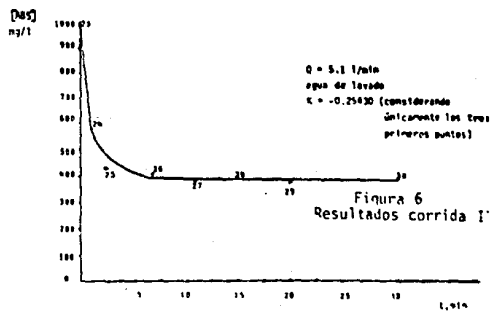
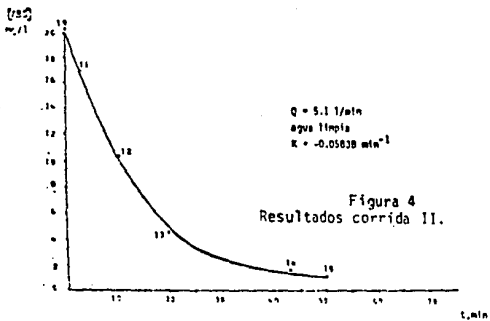
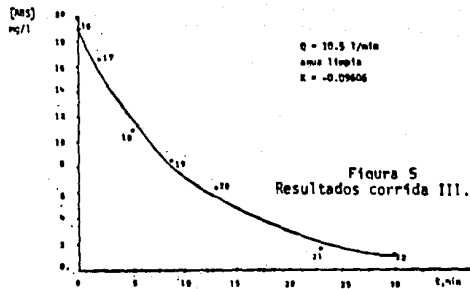
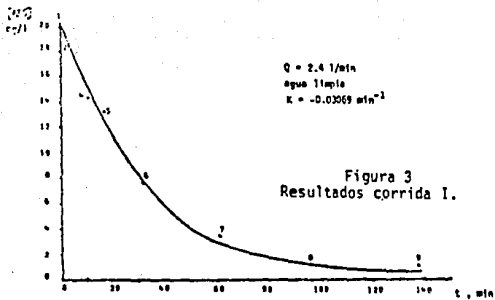
La eliminación de aproximadamente el 50% del detergente en desechos concentrados permite establecer una posibilidad de recuperación y reuso. Esta posibilidad se incrementa si, como se dijo anteriormente, las moléculas del tensoactivo en la espuma se encuentran libres.

La eficiencia de remoción por espumamiento depende de tres factores primordiales: a) capacidad de espumamiento del tensoactivo, b) contenido de material orgánico en el líquido a tratar que forme complejo con las moléculas de detergente, y c) estabilidad de la espuma tratada.

Existe una relación entre la constante de remoción de detergente por espumamiento y el flujo de aire, sin embargo, es necesario probar más flujos de aire, especialmente en el intervalo bajo, para establecer satisfactoriamente esta relación.

FIGURA 2.- Diagrama del esumador utilizado en la experimentación.





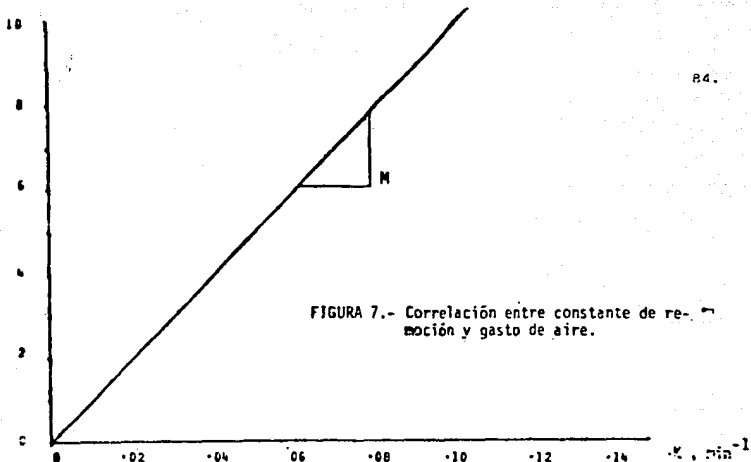


FIGURA 7.- Correlación entre constante de remoción y gasto de aire.

CATEGORÍA	FLUIDO DE TRAZADO	MUESTRA	TIEMPO (min)	CONCENTRACION ABS (mg/l)	Q_c (l/min)
I	AGUA DE LA LLAVE	1	0	21.0	2.4
		2	2.35	18.5	
		3	5.0	18.0	
		4	10.0	14.6	
		5	15.0	13.6	
		6	31.0	7.8	
		7	60.0	3.4	
		8	95.0	1.1	
		9	137.0	1.3	
II	AGUA DE LA LLAVE	10	0	23.1	5.1
		11	2.5	17.1	
		12	10.2	12.4	
		13	20.0	4.4	
		14	43.0	1.7	
		15	50.0	1.7	
III	AGUA DE LA LLAVE	16	0	19.0	10.5
		17	2.0	16.4	
		18	5.0	10.8	
		19	8.0	8.2	
		20	13.0	6.1	
		21	23.0	1.9	
22	30.0	1.1			
IV	RESIDUO DE LAVADO DOMESTICO	23	0	595.1	5.1
		24	1.0	580.5	
		25	3.0	439.0	
		26	7.0	404.9	
		27	11.0	350.5	
		28	15.0	390.2	
		29	20.0	350.5	
30	30.0	320.1			
V	AGUA RESIDUAL	31	0	25.6	5.1

TABLA 1.- Resultados experimentales de remoción de detergentes por espumanteo.

I) ESTUDIO DE LA DEGRADACION DE DETERGENTES CONTENIDOS EN ALGUNOS PRODUCTOS DE USO COTIDIANO (fase experimental por: Centro de Investigaciones y Estudios Avanzados del IPN, Depto de Biotecnología y Bioingeniería. México D.F.)

Uno de los problemas más importantes en el tratamiento de aguas residuales, lo constituye la selección del sistema más adecuado para eliminar de ella los contaminantes en forma eficiente, lo que también depende de una buena optimización del sistema seleccionado. Sin embargo, el hablar de optimizar implica una comparación continua con respecto a un valor establecido es decir, un patrón.

En el caso de los detergentes son muchos los intentos realizados con el fin de establecer patrones que cumplan con la función mencionada, sin embargo cada autor lo ha hecho en condiciones tan diferentes que no permiten la comparación de unos resultados con otros, haciendo difícil la reproducibilidad de los mismos. La OECD (Organización para la Cooperación Económica y el Desarrollo), con el fin de evitar los problemas mencionados, propuso algunos lineamientos generales con el fin de realizar pruebas de biodegradación.

En este trabajo se presentan los resultados de dichas pruebas cuando se aplicaron a los principios activos de productos de limpieza de uso industrial y doméstico que se emplean en México. Las muestras estudiadas fueron un total de 75, 20 detergentes de uso industrial, 15 de uso doméstico, 25 jabones de tocador y 15 shampoos para el cabello. En todos los casos se determinó su composición fisicoquímica, se extrajeron los principios activos y se establecieron los patrones AECD. Los valores de degradación obtenidos son muy indicativos con respecto al origen de los

productos, aunque en general van desde 36% a 100% para la prueba confirmativa.

Con el propósito de encontrar la solución a los problemas mencionados, se realizaron un gran número de trabajos, encontrándose como las más importantes causas de dichos problemas a las siguientes:

1. Cadenas olefinicas muy ramificadas.
2. Gran número de sustituyentes.
3. Compuestos insolubles.
4. Altos pesos moleculares.

En el caso de los detergentes sintéticos los puntos 1 y 2 son aplicables con un gran número de variantes dentro de ellos. En países desarrollados como Alemania, Estados Unidos, etc., se optó por cambiar los principios activos por otros cuya estructura fuese más accesible al ataque microbiano, así se introdujeron los alquilbencen sulfonatos lineales (LAS) que sustituyeron a sus predecesores ramificados (ABS).

En nuestro país, por diversas razones, este cambio no se ha realizado y es difícil que se realice a corto plazo, razón por la cual se considera un problema de actualidad que amerita trabajar en él, ya que la única alternativa para remover los detergentes (siempre que sea posible), es optimizando su remoción en las plantas de tratamiento de agua residual.

Uno de los aspectos más importantes en el tratamiento de aguas residua-

les, lo constituye la selección del sistema adecuado que permita eliminar de ellas los contaminantes en forma eficiente, lo que depende además de una buena optimización del sistema. Sin embargo el hablar de optimizar implica una comparación continua con respecto a un patrón establecido. En el caso de los detergentes, el establecer sus características degradativas en condiciones controladas y reproducibles, nos permitirá obtener el patrón que permita comparar la bondad de los experimentos que se realizan.

Finalmente y con el propósito de dar fin al problema mencionado, la Organización para la Cooperación Económica y el Desarrollo (OECD), así como la Asociación Americana de Jabones y Detergentes, dictaron una serie de medidas tendientes a normalizar las pruebas, que debe satisfacer un detergente para ser considerado biodegradable o no biodegradable.

En el presente trabajo se presentan los resultados de dichas pruebas cuando se aplicaron en detergentes comúnmente empleados en México, tanto en el renglón doméstico como en el industrial.

Materiales y métodos:

1. Selección de las muestras. La gran variedad de funciones que un detergente puede tener en la actualidad (además de la acción limpiadora), hace difícil un muestreo que permita cubrirlas a todas ellas pues como se muestra en la tabla I, la cantidad de muestras que habría que analizar haría muy complicado el trabajo. Afortunadamente los fabricantes y distribuidores de estos productos, no son tan numerosos como los detergentes que fabrican o venden, lo que facilitó en forma notable el trabajo.

Las muestras empleadas se seleccionaron, tomando como base aquellos detergentes que tienen mayor demanda en el mercado. En las tablas II y III se presentan el nombre, tipo y fabricante de las muestras empleadas.

La caracterización de dichas muestras consistió en la determinación de los contenidos de humedad, cenizas, nitrógeno orgánico, fósforo y detergentes aniónicos (medidos como sustancias activas al azul de metileno). La metodología empleada en todos los casos fue la recomendada en el Standar Methods.

T A B L A I
ALGUNOS USOS QUE TIENEN LOS DETERGENTES

Limpieza de metales
Limpiadores antiniebla
Formación de microemulsiones
Acabados textiles
Repelentes para agua
Emulsificación de disolventes
Preparación de polímeros espumosos
Agentes antimicrobianos
Emulsificantes en alimentos
Fabricación de pinturas
Fabricación de extinguidores
Fabricación de cosméticos
Suavizantes de telas
Adhesivos en carreteras
Fabricación de vidrio
Purificación de arena
Beneficio de metales
Desincrustantes de calderas
Revoedores
Anticorrosivos
Emulsificación de plaguicidas

2. Extracción y purificación de los principios activos. Una vez caracterizadas las muestras y en particular medida la cantidad de sustancias de superficie activa presentes en cada una, es necesario extraerlas y purificarlas con el objeto de tener un material de pureza razonablemente alta y evitar al máximo posible las interferencias.

De acuerdo con los resultados obtenidos (ver resultados de caracterización, en los detergentes para uso doméstico, las diferencias en composición no son muy acentuadas, por lo que se manejaron como un solo lote (lote MD). En las muestras de uso industrial cuyo contenido de detergente varió desde 0 hasta 33%, obligaron a seguir el siguiente criterio de agrupación: las muestras que no contienen detergente (9 en total) no se extrajeron, las muestras en polvo que sí contienen detergente se trabajaron como una mezcla (lote M), la muestra líquida que contiene 33% de detergente se trabajó como una sola muestra (lote 4) y las muestras líquidas que contienen detergente en pequeña cantidad se extrajeron juntas (lote 5B). Las muestras de "shampoo" se manejaron como un solo lote, y los jabones de tocador no se extrajeron, por no haberse detectado cantidades apreciables de detergente en ellas.

Para obtener los principios activos se efectuó una extracción sólido-líquido o líquido-líquido, según el caso, con disolventes orgánicos, en los que el detergente es más soluble debido a sus grupos hidrofóbicos. La mezcla de detergentes para la formación de cada lote se llevó a cabo con la adición de una cantidad fija de SAAM (sustancias activas al azul de metileno) de cada muestra, lo que implica una cantidad de muestra inversamente proporcional a la pureza.

Los productos en polvo se mezclaron con agua destilada en proporción 1:1 hasta formar una pasta fina, se agitaron por 10 minutos con el objeto de mantener la muestra homogénea, y por cada 100 g de agua usada se adicionaron 60 g de K_2CO_3 y se continuó la agitación hasta que se di-

solvieron. Para los productos líquidos la cantidad de K_2CO_3 se determinó del peso de la fracción evaporada de una pequeña muestra de 10 g secada a baño maría. Se adicionó entonces isopropanol (1-2.5 partes por volumen de pasta), la mezcla se agitó por 30 minutos y se filtró por medio de succión. El residuo se lavó repetidamente con pequeñas cantidades de isopropanol y el filtrado se pasó a un embudo de separación, se desechó la capa acuosa (inferior) y la capa superior que es el isopropanol, se filtró a un matraz de destilación y se destiló para concentrar tanto como la espuma lo permitió. El residuo de la destilación se transfirió cuantitativamente a un mortero y el contenido se concentró en baño maría con agitación frecuente. A este material se le determinó SAAM para medir la eficiencia de la extracción.

3. Pruebas de Biodegradabilidad. La OECD clasifica las pruebas de biodegradabilidad en dos niveles, un nivel presuntivo en matraz en agitación y un nivel confirmativo en un sistema de lodos activos.

En la prueba presuntiva, el detergente bajo prueba se adiciona como única fuente de carbono y energía, a un medio de cultivo mineral con una composición igual al agua de dilución usada en la determinación de la demanda bioquímica de oxígeno, esto es: $CaCl_2$ 27.5 mg, KH_2PO_4 8.5 mg, K_2HPO_4 21.75 mg, Na_2HPO_4 33.4 mg, NH_4Cl 1.7 mg, $MgSO_4$ 22.5 mg y $FeCl_3 \cdot 6H_2O$ 0.25 mg, todo por litro de agua destilada. El surfactante se adiciona en una concentración de 5 mg/l en matraces Erlenmeyer de 2000 ml, conteniendo 900 ml de medio. Se incuban a 25°C con agitación suficiente para no tener limitación por oxígeno. Como inóculo se emplean 0.5 ml del efluente del clarificador secundario de una planta de tratamiento de

agua residual.

La prueba consiste en medir el contenido de sustancias activas al azul de metileno con respecto al tiempo. Se considera que un detergente es biodegradable cuando en un periodo que no exceda a 19 días, se degrade en un 90% o más, y no biodegradable si no alcanza este valor en el tiempo mencionado.

La prueba confirmativa se recomienda aplicarla a aquellos detergentes, que no han pasado la prueba presuntiva, ya que una muestra puede no pasar la prueba presuntiva pero la confirmativa sí. En este caso se trata de simular las condiciones de una planta de tratamiento de agua residual (lodos activados). El detergente no es la única fuente de carbono ni de energía, pues se ensaya con una agua residual sintética cuya composición por litro es: Peptono 160 mg, Extracto de carne 110 mg, Urea 30 mg, NaCl 7 mg, $\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ 4mg y $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ 2 mg. El ensayo se lleva a cabo en una unidad de lodos activados con las siguientes condiciones de operación: Sólidos totales 2500 mg/l, tiempo de residencia hidráulico, 3 horas, temperatura entre 18° y 25°C, oxígeno disuelto, no menos de 2 mg/l y el detergente en estudio se adiciona en una concentración de 20 mg/l.

De igual forma que en la prueba presuntiva, el detergente se considera biodegradable si en las condiciones señaladas, el promedio de por lo menos 15 días de remoción, es mayor 90%.

Con la finalidad de aplicar las dos pruebas mencionadas a los lotes obtenidos en la etapa de purificación y extracción, el lote MD se trató en forma individual, los lotes M, 4 y 58 se mezclaron en proporciones iguales de SAAM y se trataron como un solo lote (lote MI), finalmente los "shampoos" se manejaron también como un solo lote (lote 5).

TABLA II
**NOMBRE COMERCIAL Y FABRICANTES DE LOS DETERGENTES PARA USO DOMESTICO
 E INDUSTRIAL EMPLEADO**

NOMBRE COMERCIAL	ESTADO FISICO	FABRICANTE
Rayo	Sólido	Detersol S.A.
Fab limón	"	Colgate S.A.
Doña Blanca	"	La Corona S.A.
Rápido	"	Protec & Gamble
Tepeyac	"	La Corona S.A.
Roma	"	"
Axión	"	Colgate S.A.
Salvo plus	"	Protec & Gamble
Viva fuerza fría	"	Colgate S.A.
Ariel	"	Protec & Gamble
Labomatic	"	Colgate S.A.
Biotex	"	Cotop S.A.
Aqua Teat at 250	Líquido	Aqua Treat S.A.
Monitrex	"	Dubois Mexicana
Ensol	"	" "
Isomex	"	" "
Race O	"	" "
Race B	"	" "
Oven Cleaner	"	" "
Oh Limpia	"	Jabón Oh Limpia
El-bee	Pasta	Wyandotte Corp.
Estococon KB	"	Stoffel y Cía.
Sperex A.C.	Sólido	Dubois Mexicana
Termospresz	"	" "
Actex	"	" "
Br 5512 S	"	Industrias Canex
Dubois 422-L	"	Dubois Mexicana
PEQ*	"	Productos y Especiali- dades Químicas S.A.

*No es un nombre comercial.

Resultados y conclusiones:

Los resultados de la caracterización fisicoquímica de los detergentes de uso doméstico e industrial se muestran en la tabla IV, mientras que la de los "shampoos" y jabones se muestra en la tabla V. El incremento en pureza que la extracción proporcionó a los 5 lotes, se muestra en la tabla VI.

Los resultados obtenidos en los experimentos de degradación se muestran en las tablas VII y VIII y en forma gráfica en las figuras 1 y 2, al mismo tiempo en dichas figuras se comparan con el comportamiento que tiene un detergente de tipo Alquilbencen sulfonato (ABS) grado técnico.

Las conclusiones que en general es posible obtener de la caracterización de las muestras de detergente analizadas son:

Detergentes domésticos. En general presentan un bajo contenido de humedad, aunque se observan variaciones de 3 a 4 veces en su contenido entre un detergente de tipo biológico y uno no biológico. El contenido de materia inorgánica es muy elevado en todos los casos.

Las diferencias en el contenido de nitrógeno entre los biológicos y los no biológicos son despreciables, razón por la cual fueron tratados en la misma forma.

Detergentes industriales. Estas muestras presentan una gran variación en el contenido de SAAM, ya que fluctuaron desde 0 hasta 33%. El contenido de detergente en general es bajo, sobre todo para las muestras líquidas (excepto la de 33% que se vende como un detergente concentrado) y aumenta li-

geramente en las sólidas, sin embargo se encuentran en los límites inferiores reportados para este tipo de productos.

Los contenidos de nitrógeno orgánico y de fosforo son bajos, si se comparan con los valores obtenidos en las muestras domésticas.

Otro aspecto importante lo constituye el alto grado de materia inorgánica que contienen, cuya función es actuar como emulsificante o dispersante en los detergentes, pero que también les confiere un alto poder abrasivo, lo que unido al pH alcalino y elevada temperatura en la que muchos de ellos trabajan, les confiere un elevado poder de corrosión, con lo cual se alejan considerablemente de la definición de detergente y que es la de un material que limpia sin causar abrasión ni corrosión, esto es, limpia por tensión superficial.

Para fines de la extracción, se observa que el principal problema a resolver es la eliminación de la materia orgánica, que contienen las formulaciones comerciales en casi todos los casos.

TABLA III
NOMBRE COMERCIAL Y FABRICANTES DE LOS
JABONES Y DE LOS SHAMPOOS EMPLEADOS

NOMBRE COMERCIAL	ESTADO FISICO	FABRICANTE
Escudo	sólido	Protec & Gamble
Rexona	"	La Corona S.A.
Dial	"	Armour S.A.
Tip	"	Mariano Salgado
Nordico	"	Colgate Palmolive
Lux	"	La Corona S.A.
Rosa Venus	"	"
Palmolive	"	Colgate Palmolive
Camay	"	Proter & Gamble
Tepeyac	"	La Corona S.A.
Vitta	"	Lab. Grissi
Tres Manzanillas	"	"
Organogal	"	"
Algas marinas	"	"
Tortuga	"	"
Almendra	"	"
Jitomate Alfa	"	Jabones Especiales
Avena Alfa	"	"
Caspel	"	Lab. Coresmar S.A.
Neutro	"	Jabones Finos S.A.
Colgate	Líquido	Colgate Palmolive
Splendor	"	"
Wellapon	"	Productora de . Cosméticos S.A.
Elseve Balsam	"	Cosbel S.A.
Mennen	"	Mennen de México
Farrah Fawcett	"	Bertini S.A.
Breck	"	Shulton de México
Eminence	"	Vel-mart S.A.
Manzanilla	"	Lab. Grissi
Herbal essence	"	Clayrol de México
Alberto VO ₅	"	Alberto Culver
Selsun Azul	"	Abbott
Prorwin 21	"	Mennen de México
ZP	"	Revlon S.A.

TABLA IV
ANÁLISIS FÍSICOQUÍMICOS DE LOS DETERGENTES
DE USO DOMÉSTICO E INDUSTRIAL EMPLEADOS

NOMBRE	HUMEDAD	CENIZAS	NH ₄	PO ₄ *	SAAM***
	%	%	%	%	%
ABS	2.26	-	-	-	100
CIEGA	3.63	69.8	0	10.6	36.8
Ruth	2.21	82.9	0	13.6	19.2
Rayo	4.45	67.0	0	10.4	24.0
Fab limón	7.84	77.5	0	20.4	27.2
D. Blanca	4.43	71.7	0.04	14.8	30.4
Rápido	8.99	76.3	0	16.8	27.2
Tepeyac	8.01	71.2	0	19.5	34.4
Roma	6.54	71.1	0.56	13.8	31.2
Axión	3.64	75.7	0.45	11.0	29.6
S. plus	2.0	71.6	0.45	10.0	36.4
V.F. Fría	10.7	69.1	0.11	-	30.4
Ariel	10.1	61.3	0.79	18.4	22.4
Lavomatic	7.9	78.5	0.56	17.2	29.6
Biotex	1.59	77.0	0.34	8.96	40.8
Monitrex	89.8	5.67	0.19	0.14	-
Emcol	84.1	0.17	0.01	0.14	0.86
Isodex	78.3	20.6	0.04	-	-
Race O	62.0	0.5	0.01	-	33.3
O. Cleaner	87.4	5.17	0.12	-	2.10
Race B	94.8	0.27	0.16	0.02	-
Aquatreat	95.1	0.40	0.02	0.02	-
Oh'limpia	92.6	1.91	0.01	0.02	5.25
Oh'limpia	24.2	63.0	-	3.56	-
PEQ	75.4	21.2	-	0.60	-
422-L	7.8	79.9	0.06	3.80	-
El-bee	1.7	86.3	0.03	1.50	0.06
Oh'limpia	2.4	88.3	0.02	-	4.5
Estocopon	3.5	88.3	0.02	1.30	22.8
Spres AC	12.4	84.3	0.06	3.40	-
Actex	14.5	78.7	0.10	-	1.30
Termosprex	-	92.5	0.03	-	1.30
Br 5512 S	-	77.8	0.03	-	-

Todos los resultados son el promedio de 3 determinaciones.

* Nitrógeno amoniacal.

** Fosfatos.

*** Sustancias activas al azul de metileno.

- No detectado.

TABLA V
ANÁLISIS FÍSICOQUÍMICOS DE LOS JABONES DE
TOCADOR Y DE LOS "SHAMPOOS" EMPLEADOS -

NOMBRE	HUMEDAD	CENIZAS	NH ₄ *	PO ₄ **	SAAM***
Zest	9.69	15.97	0.04	0.01	0.01
Spleen	9.57	14.67	0.06	0.04	0.008
Escudo	7.35	16.05	0.06	0.00	0.02
Rexona	8.81	17.84	0.05	0.00	0.003
Dial	9.84	16.12	0.11	0.007	0.001
Tip	5.27	16.45	0.06	0.006	0.005
Nordiko	10.58	16.71	0.06	0.001	0.02
Lux	4.39	17.65	0.04	0.001	0.02
Rosa Venus	7.61	19.16	0.0	0.0	0.005
Falmolive	10.16	17.49	0.05	0.0	0.005
Canay	7.61	17.83	0.05	0.003	0.033
Colgate	9.92	16.97	0.03	0.0	0.01
H. Pravia	12.19	18.98	0.06	0.009	0.002
Tepeyac	6.14	18.61	0.03	0.0	0.002
Vitta	7.99	15.38	0.076	0.02	0.0
Neutro	5.65	17.78	0.06	0.002	0.002
3 Manzanillas	7.39	13.53	0.08	0.001	0.006
Neutro John	3.23	18.10	0.08	0.02	0.003
Organogal	8.14	16.13	0.05	0.0	0.001
A. marinas	26.64	12.64	0.05	0.003	0.001
Vegetales	26.03	17.31	0.0	0.008	0.001
A. Tortuga	21.94	20.05	0.05	0.007	0.002
A. Jitomate	22.56	15.69	0.06	0.008	0.001
Avena	21.90	20.99	0.06	0.009	0.001
G. y Hiel	28.66	13.09	0.07	0.002	0.001
Splendor	79.54	1.45	0.0	0.001	12.25
Elseve B	87.24	4.15	0.0	0.004	5.12
Wellapon	84.12	4.81	0.0	0.005	10.35
Breck	75.47	4.46	0.0	0.001	16.45
Mennen	86.65	0.37	0.0	0.001	11.4
Selsun	75.55	9.66	0.0	0.134	8.45
A. VO ₅	80.21	4.65	0.0	0.031	8.6
Herbel	71.94	5.87	0.0	0.001	9.1
F. Fawcett	74.25	0.286	0.0	0.005	26.6
Eminence	82.83	4.12	0.0	0.008	7.7
protein 21	-	-	0.0	0.001	15.3
Zpl1	75.75	7.83	0.0	0.033	13.1
Silkience	74.35	5.49	0.0	0.003	14.5
Manzanilla	72.42	6.91	0.0	0.008	12.35
Shampyel	77.12	4.76	0.0	0.004	14.25

*Nitrógeno amoniacal.

**Fosfatos.

*** Sustancias activas al azul de metileno.

- No determinado.

Jabones de tocador. Como se puede apreciar de los resultados de los jabones, el contenido de nitrógeno y fósforo es prácticamente despreciable y el contenido de detergentes es cercano al cero en todos los casos, lo que hace suponer que su composición sí corresponde a la de los jabones (aunque no fueron analizados).

"Shampoos" para el baño. De la tabla V se aprecia el hecho de que prácticamente el único de los "shampoos", además del agua, son los detergentes de tipo aniónico, ya que el contenido de cenizas, corresponde al residuo del grupo sulfonato de dichos detergentes.

Es conveniente señalar que el poder contaminante potencial, de los jabones y de los "shampoos" es mucho menor, que el de los detergentes de uso doméstico e industrial, ya que prácticamente no contienen fosfatos ni nitrógeno, quedando su poder contaminante reducido a la carga orgánica que representa el detergente.

T A B L A V I
PUREZA DE LOS SURFACTANTES OBTENIDA

LOTE	TIPO	% PUREZA ANTES EXTRACCION	% PUREZA DESPUES EXTRACCION
MD	Doméstico	29.9	72
M	Industrial	8.9	96
4	"	33.3	100
58	"	3.9	70
S	Doméstico	11.70	40

De las pruebas de degradabilidad efectuadas con los principios activos de las muestras de uso doméstico, se observa que presentan 30 y 43% de degradación para las pruebas presuntivas y confirmativa respectivamente. En el caso de las muestras de uso industrial los valores de degradación fueron de 39 y 48% para las mismas pruebas.

Si comparamos estos valores con los obtenidos con el principio activo usado como referencia (ABS_4), se observa que tanto las muestras domésticas como las industriales, son más susceptibles a la degradación una vez que han sido mezcladas con los aditivos que dan lugar a la formulación comercial, se supone que lo anterior puede ser debido a las condiciones de alcalinidad en la que la mayoría de las muestras actúa, lo que puede dar lugar a una mayor fragilidad de la molécula.

De acuerdo con los criterios OECD, las muestras de detergentes de tipo industrial y doméstico contienen detergentes aniónicos no biodegradables.

T A B L A V I I

RESULTADOS DE LAS PRUEBAS PRESUNTIVAS DE BIODEGRADABILIDAD

LOTE	% DEGRADADO A LOS 19 DIAS	% MAXIMO VALOR DEGRADADO
ABS_t	18	95
MD	30	80
MI	39	85
S	100	100

En el caso de los principios activos contenidos en los "shampoos" (lote S), los resultados muestran que son detergentes de tipo biodegradable, ya que

se degradaron en su totalidad en un periodo que no excedió de 6 días, lo que los hace caer de acuerdo a los criterios OECD en el grupo de los detergentes biodegradables o suaves. Este resultado hace pensar en el hecho de que los detergentes aniónicos contenidos en las muestras de "shampoos" que se estudiaron son del tipo ABS lineales, lo que indica que puede tratarse de detergentes importados, ya que en el país no se fabrican ABS de tipo lineal.

T A B L A V I I I

RESULTADOS DE LAS PRUEBAS CONFIRMATIVAS DE BIODEGRADABILIDAD

LOTE	% PROMEDIO DEGRADADO DURANTE 15 DIAS DE EXPERIMENTACION
ABS	30
MD	43
MI	48
S	*

* No se realizó la prueba por no ser necesario ya que el principio activo pasó la prueba presuntiva.

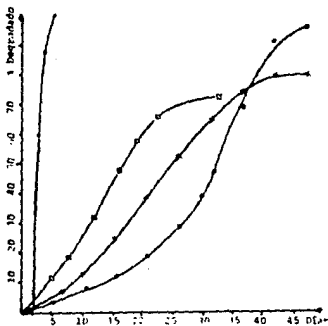


Fig. 1 Curvas de degradación obtenidas para las diversas pruebas presuntivas realizadas con los detergentes estudiados.

Alquilbencen sulfonato grado técnico.
Principio activo de los detergentes industriales.
Principio activo de los detergentes domésticos.
Principio activo de los "shampoos".

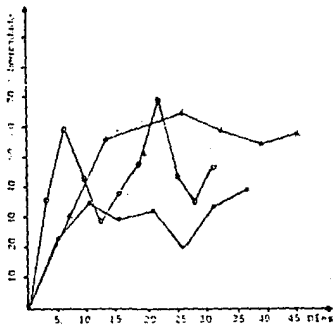


Fig. 2 Curvas de degradación obtenidas para las diversas pruebas confirmativas realizadas con los detergentes estudiados.

Alquilbencen sulfonato grado técnico.
Principio activo de los detergentes domésticos.
Principio activo de los detergentes industriales.

Discusión:

Los problemas de la contaminación por compuestos químicos, recientemente ha aumentado debido al gran desarrollo científico y técnico en todos sus aspectos, así como el elevado incremento de la población humana en el mundo, transformando en forma progresiva el medio ambiente en el que habita y se desenvuelve, y en algunas ocasiones destruyéndolo. Esta transformación, en algunos países ha ocasionado que muchos de sus recursos naturales hayan desaparecido o estén en proceso de extinción.

En el caso particular de los detergentes no biodegradables, en algunos países, han cambiado las formulaciones a formas menos complejas, que puedan ser degradadas y transformadas por los microorganismos; en cambio en otros, la producción y uso de los detergentes ha aumentado considerablemente causando daños graves a la vida acuática.

Las investigaciones que se han llevado a cabo para conocer los efectos de una amplia gama de surfactantes, de uso común sobre los organismos, aunque los resultados obtenidos sirven de mucho, no se pueden considerar representativos debido a que los seres vivos presentan una amplia variación de sensibilidad a los efectos de los detergentes, aun dentro de la misma especie. Por otra parte, la sensibilidad o resistencia varía de acuerdo con el ciclo de vida y tamaño de los organismos.

Más aún, los organismos de un país, no son los mismos que en otro y aunque sean del mismo género, la especie o variedad pueden ser diferentes, lo que se traduce en cambios en las respuestas a la toxicidad de los detergentes;

asimismo, los factores físicos del medio ambiente, por su influencia sobre los organismos, hacen que su sensibilidad a los contaminantes se altere.

Además, los detergentes usados para efectuar los ensayos, aunque básicamente presenten los mismos elementos, la cantidad y clase de los aditivos varían de lugar en lugar, por lo que los resultados no pueden ser válidos para efectuar una generalización de sus efectos en los organismos.

Aunado con todo lo anterior, existe el hecho de que los contaminantes no se comportan de igual manera en los laboratorios, donde se efectúan los ensayos, que en la naturaleza, puesto que en condiciones experimentales sólo se observa el efecto particular de uno o dos contaminantes a la vez, y no a la amplia gama de desechos que se pueden presentar en los cuerpos de agua, así como la influencia sobre los elementos naturales de los propios ecosistemas.

Los efectos de los detergentes en la agricultura, aún no ha sido bien estudiado, ya que el efecto de los detergentes en uno o dos cultivos, no se puede generalizar, puesto que las plantas también presentan diferentes grados de sensibilidad a los detergentes.

En íntima relación con lo anterior, se encuentran los efectos de los detergentes en los suelos, sin embargo, al respecto, aún falta por conocer mucho de su comportamiento frente a los detergentes, ya que la influencia de estos está regida por las características físicas, químicas y biológicas de los suelos. Asimismo, estas características determinan que las aguas subterráneas sean contaminadas por los detergentes y otros productos.

Si se comparan los resultados obtenidos de los bioensayos en peces, se podrá apreciar que las concentraciones que se consideran tóxicas o letales varían, aun cuando se trata de la misma especie. Esto obedece a que los métodos usados para analizar las concentraciones de los detergentes, son diferentes de acuerdo con el criterio de los investigadores. Es decir, algunos de estos métodos analíticos son más precisos que otros, lo que da como resultado las diferencias encontradas.

Cabe mencionar que pese a las investigaciones efectuadas sobre el efecto de los detergentes del tipo ABS y LAS, las autoridades en este tema, aún no se ponen de acuerdo en si estos productos son perjudiciales, benéficos o no tienen efectos en los factores bióticos de un ecosistema. Al respecto, algunos apoyan que estos compuestos son perjudiciales y que debería reglamentarse estrictamente su fabricación y uso; otros, por lo contrario, apoyan la teoría de que no causan daños a los organismos.

Sin embargo, las opiniones en pro y en contra de los efectos en el medio ambiente, se deben a que no han sostenido investigaciones minuciosas con los métodos óptimos, ya sea en forma experimental o en condiciones naturales.

Por otra parte, aun cuando otros países hayan cambiado de surfactantes del tipo ABS a LAS, la potencialidad nociva de este último compuesto, cuando se presenta en mezclas con otros contaminantes, no se ha determinado.

Los puntos mencionados en esta breve discusión, nos llevan a considerar que los resultados de las investigaciones efectuadas en otros países, no son

válidas para las características de nuestro ambiente, pero sí nos pueden dar idea de los aspectos que se deben tomar en cuenta, así como los valores de los posibles límites de seguridad.

La cantidad de literatura que se ha publicado en otros países, con respecto al impacto de los detergentes en el medio ambiente, es bastante amplia. Dichos estudios son base en la prevención de la contaminación de sus fuentes naturales de agua.

Hasta muy recientemente en México, las investigaciones en este tópico, han sido de interés por aquellas instituciones de velar por la conservación de la calidad del agua, ya sea para el aprovisionamiento de las poblaciones o para los organismos, sin embargo, en dichos estudios, no se incluyen los aspectos biológicos y ecológicos necesarios.

V. CONCLUSIONES

La degradación biológica de los surfactantes del tipo ABS, depende de la posición de los grupos fenilos y sulfonatos en la estructura de la molécula del detergente, longitud de la cadena de carbonos de la misma y de sus ramificaciones. Debido a la linealidad de la molécula de los surfactantes del tipo LAS, estos son fácilmente degradados, siendo la degradación, en general, más rápida a medida que se incrementa la longitud de la cadena.

Con respecto a los daños tóxicos causados en peces, suelos, animales de granja y cultivos, las concentraciones así como el tipo de detergente varían en la importancia del daño ya que por ejemplo el efecto letal de los detergentes en peces ha mostrado, que el ABS es menos tóxico que el LAS. El ABS en concentraciones de 5 a 40 mg/l causa efectos perjudiciales en los peces, mientras que el efecto del LAS se reporta desde 1 mg/l. Ahora bien la materia orgánica y los minerales como: fierro y aluminio son los principales factores en la absorción de los detergentes por los suelos y la presencia de detergentes en éstos aumenta la retención de herbicidas y otros productos tóxicos a la flora.

Los ríos que representan los caudales más importantes para las actividades piscícolas y otros usos, están contaminados por detergentes en concentraciones que rebasan el límite de seguridad biológica (0.20 mg/l) encontrados en estudios realizados a nivel nacional.

De las investigaciones de tratabilidad y posibilidad socioeconómica para el cambio de formulación del tipo de ABS a LAS, se puede admitir que la remoción de los detergentes en el tratamiento de sedimentación primaria, al-

canza un máximo de 10% y para el tratamiento en sistemas biológicos la remoción alcanza el orden de 70%.

Por todos estos argumentos expuestos en el presente trabajo, podemos argumentar que el problema es grave, y de no tomar las medidas necesarias en el tratamiento y manejo de los detergentes, los problemas serán críticos, sobre todo si se toma en cuenta que las concentraciones en los cuerpos de agua de nuestro país se encuentran en los límites máximos de la concentración que afecta a los organismos. Esto significa un riesgo potencial para las comunidades biológicas acuáticas, ya que de continuar rebasando el valor de 0.20 mg/l en los cuerpos de agua se causarán efectos irreversibles de alteraciones ecológicas en los sistemas acuáticos los cuales repercutirán en toda la población.

VI. B I B L I O G R A F I A

1. A.W.W.A. Task group. "Characteristics and effects of synthetic detergents".
JOURNAL AMERICAN WATER WORKS ASSOCIATION. Vol. 46, No. 8 pp 751 - 774
(1954).
2. Bogan, R.H. and C.N. Sawyer "Biochemical degradation of synthetic detergents".
I. Preliminary
SEWAGE AND INDUSTRIAL WASTES. Vol. 26, pp 1069-1080 (1954)
3. Bogan, R.H. and C.N. Sawyer "Biochemical degradation of synthetic detergents".
II. Studies on the relation between chemical structure and biochemical oxidation.
SEWAGE AND INDUSTRIAL WASTES. Vol. 27, pp 917-928 (1955)
4. Bogan, R.H. and C.N.N. Sawyer "Biochemical degradation of synthetic detergents".
SEWAGE AND INDUSTRIAL WASTER
Vol. 28, No. 5, pp 637-643 (1956).
5. Brenner, T.E. "The impact of biodegradable surfactants on water quality".
THE JOURNAL OF THE AMERICAN OIL CHEMISTS' SOCIETY.
Vol. 45, No. 6, pp 433 - 436 (1968)
6. Eisler, R. "Some effects of a synthetic detergent on estuarine fish"
TRANS. AMER. FISHE. SOC.
Vol. 94, 26 (1965)

7. Degens, P.N., Van Der Zee, H Kommer, J.D. and Kamphuis, A.H.
"Synthetic detergents and sewage processing. V. The effect of synthetic detergents on certain waterfauna".
JOUR. AND PROC. INST. SEW. PURIF. Part 1 No. 63 (1950)
8. Departament of scientific and industrial Research. "Notes on Water Pollution. Synthetic Detergents".
Water Pollution Research Laboratory
No. 15, Dic. 1961, 4 p.
9. Gatellier, G. and Plooy, A.D. "Studies on the removal of synthetical absorption and biochemical degradation"
REVUE INST. FR. PETROLE.
Vol. 21, pp 431-441
10. Gray, F.W., J. F. Gerecht, and I.J. Krems. "The preparation Of Model Long Alkylbenzenes and a study of their isomeric sulfonation products"
JOUR. ORGANIC. CHEM.
Vol. 20, 511 (1955).
11. Hamm, A, "Fish toxicity of nonionic detergents".
MUENCH BEITR ABWASSER. FISCH FLUSSBIOL
Vol. 9, 118 (1967)
12. Hammerton, C. "Observations on the decay of synthetic detergents in natural waters".
J.APPL. CHEM. Vol. 5, pp 145 -174 (1956)
13. Hammerton, C. "Synthetic detergents and water supplies"
PROC. SOC. WATER TREAT. EXAM.
Vol. 5, 145 - 174 (1956)

14. Heyman, J.J. and A.H. Molof "Biodegradation of linear alkylate sulfonates"
Current Research.
ENVIRONMENTAL SCIENCE AND TECHNOLOGY.
Vol. 2, No. 10, pp. 773-778 (1968)
15. Heyman, J.H. and A.H. Molof "Initiation of biodegradation of surfactants"
JOURNAL WATER POLLUTION CONTROL FEDERATION
Vol. 39, No. 1, pp 50-62 (1967)
16. Klein, S.A. and P.H. McGauhey "Effects of LAS on the Quality of Waste water effluents"
Sanitary Engineering Research Laboratory
University of California, Berkeley
Report No. 66-5 (1966)
78 pp
17. Klein, S.A. and McGauhey, P.H. "The persistence of ABS in waste waters"
DEVS. IND. MICROBIOL.
Vol. 5, pp 78-84 (1963)
18. Mann, H. "The action of surface active washing agents on fish and animals, forming fish food"
ARCH. FISCHWISS (Germany)
Vol. 6, 131 (1955)
19. McKinney, R.E. and J.M. Symons "Bacterial degradation of ABS
I. Fundamental biochemistry
SEWAGE AND INDUSTRIAL WASTES.
Vol. 31, pp 549-556 (1959)

20. Nelson, J.F., McKinney, R.E. McAtter and Konecky M.S. "The biodegradability of alkilbenzene sulfonates"
DEVS. IND MICROBIOL.
Vol. 2, pp 92-101 (1960)
21. Nelson, J.F., R.E. McKinney, J.A.L. McAteer and M.S. Konecky
"Biodegradability of ABS"
DEVELOP IND. MICROBIOL.
Vol. 2, pp 13-101 (1961)
22. Surber, E.W. and T.O. Thatcher "Laboratory studies of the effects of alkil benzine sulfonate (ABS) on aquatic invertebrates"
Vol. 92, pp 152 -160 (1963)
23. Murguía Vaca, A. List Mendoza 1970. "La investigación que produce en los cultivos y en el ganado, el empleo de agua conteniendo detergentes"
Ed. Instituto de Ingeniería. U.N.A.M
Contrato No. El -70-8 México.
24. Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos. Estudio del Impacto de Detergentes en el Recurso Hidráulico, etapas I, II, III, IV, V, VI.
Instituto de Ingeniería de la UNAM. 1971, 1973, 1974, 1975, 1976 y 1978
25. Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos. DGPOE. Red. de Monitoreo Nacional. Sistema de Información de la Calidad del Agua. 1980.
26. Instituto de Ingeniería y Dirección de Prevención de Contaminación.
"Evaluación de los Estudios sobre ABS y LAS y sus Efectos en la Agricultura y la Fauna".
27. Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos.
"Manual de Análisis del Agua y Agua Doméstica"

28. Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos.

"I, II, III, IV y V Congreso Nacional de Ingeniería Sanitaria"

29. Millan L.R. "Eliminación de detergentes por espumamiento"

3a. Edición, México, D.F.

30. Organization For Economic Cooperation and Development (OECD)

"Proposed Methods for the determination of biodegradability of surfactants used in synthetic detergents" Paris.