

DOCUMENTOS TECNICOS

2 5 3
7 5 P O



2

SECRETARIA

739

ORGANIZACION PANAMERICANA DE LA SALUD

739
(1st copy)

ORGANIZACION PANAMERICANA DE LA SALUD
Oficina Sanitaria Panamericana, Oficina Regional de la
ORGANIZACION MUNDIAL DE LA SALUD



253-7590

El CEPIS es un centro tecnológico multinacional, creado por la OPS con sede en Lima, Perú, para proporcionar asistencia técnica y científica en el campo de la ingeniería y ciencias ambientales en la Región de las Américas. En cumplimiento de este propósito desarrolla y promueve programas que contemplan soluciones interdisciplinarias para los problemas ambientales de la Región, teniendo en cuenta las circunstancias especiales de cada país, sobre todo sus condiciones socioeconómicas y desarrollo institucional; actúa como centro regional de información y referencia contribuyendo a mejorar el proceso de comunicación entre entidades y profesionales de los países de la Región y de otros continentes, facilitando así el intercambio de tecnologías; colabora con los países en el desarrollo de sus recursos humanos a través de programas especiales de adiestramiento y estimula el desarrollo de investigaciones aplicadas al medio ambiente tanto en los países como en la sede misma del Centro.

El CEPIS desarrolla sus actividades en estrecha vinculación con el Departamento de Ingeniería y Ciencias del Ambiente de la OPS y cuenta con consultores que prestan sus servicios en las especialidades de contaminación del aire; higiene industrial; contaminación del agua y desarrollo de recursos hídricos; tratamiento de agua; tratamiento de aguas residuales; química del agua y laboratorios; análisis de sistemas y computación; vivienda y planificación física; e información técnica y científica.

739
(1st copy)



SERIE DOCUMENTOS TECNICOS 2

253
75 PO

LIBRARY
International Reference Centre
for Community Water Supply

POLIMEROS NATURALES Y SU APLICACION COMO AYUDANTES DE FLOCULACION

CENTRO PANAMERICANO DE INGENIERIA
SANITARIA Y CIENCIAS DEL AMBIENTE
LIMA, PERU
1975

Este documento constituye el Informe Final de un proyecto de investigación realizado en el laboratorio del Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente dentro de sus actividades para el desarrollo de tecnologías adecuadas a las condiciones de América Latina.

El grupo de investigadores estuvo integrado por los siguientes funcionarios del CEPIS:

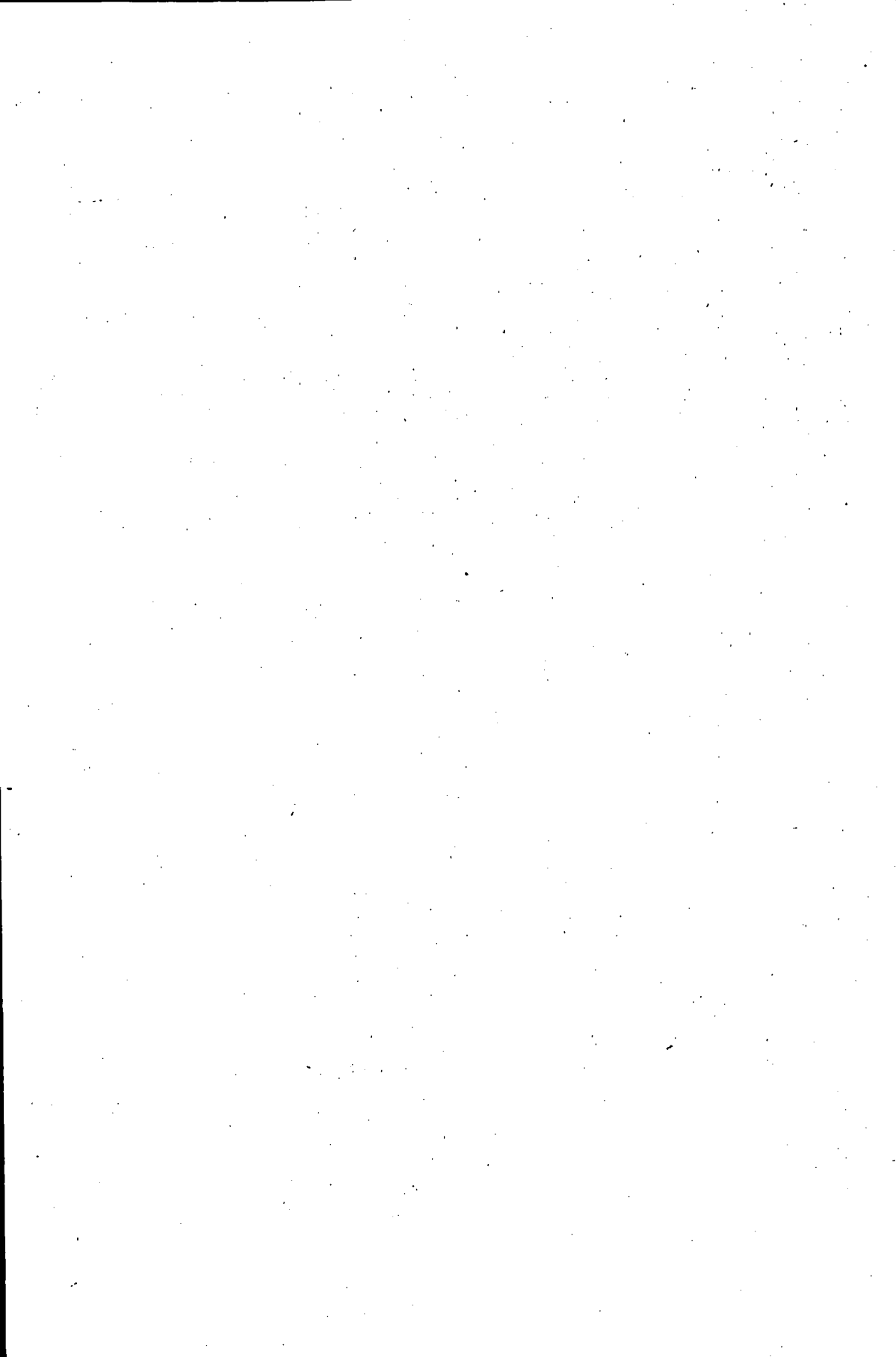
Dr. Cliff J. Kirchmer, Asesor Regional
en Química del Agua y Laboratorios

Ing. Jorge Arboleda V., Asesor Regional
en Tratamiento de Agua

Srta. María Luisa Castro, Técnica de
Laboratorio

CONTENIDO

I	INTRODUCCION	1
II	ASPECTOS BASICOS	2
	A. Definición y estructura de los polímeros	2
	B. Clasificación de los polímeros	2
	C. Modos de acción de los polímeros	5
III	METODO DE EXPERIMENTACION	9
	A. La prueba de jarras	9
	B. Agua usada en los ensayos	10
	C. Dosis óptima de coagulantes	11
	D. Selección de polímeros sintéticos para fines comparativos	11
IV	EXPERIMENTOS CON ALGINATO DE SODIO	12
	A. Descripción de las algas	12
	B. Composición de los alginatos	13
	C. Diferentes usos del ácido algínico - toxicidad	13
	D. Obtención del alginato de sodio	14
	E. Uso del alginato de sodio como ayudante de floculación	15
V	EXPERIMENTOS CON TUNAFLOC	20
	A. Descripción de la planta	20
	B. Composición de la penca de la tuna - toxicidad	22
	C. Métodos de extracción del tunafloc	22
	D. Uso del tunafloc como ayudante de floculación	23
VI	EXPERIMENTOS CON ALMIDONES	27
	A. Composición de los almidones	27
	B. Almidones solubles en agua	28
	C. Uso de los almidones como ayudantes de floculación	28
VII	OTROS POSIBLES AYUDANTES NATURALES DE FLOCULACION	29
VIII	CONCLUSIONES	30
	BIBLIOGRAFIA	31



I. INTRODUCCION

En la actualidad, el uso de polímeros como ayudantes de coagulación y floculación está bastante extendido y es práctica corriente en muchas plantas de tratamiento de agua, principalmente de países industrializados.

En los Estados Unidos, la venta de polímeros orgánicos en 1970 fue de 20.45 millones de kilos y se espera que en el año 1980 el volumen de venta triplique dicha cantidad, a pesar de que el precio de estos productos es mucho más alto que el de los coagulantes inorgánicos. (El precio de los polímeros naturales en los Estados Unidos oscila actualmente entre US\$ 0.10 y 0.50 por libra, y el de los sintéticos entre US\$ 0.40 y 2.50 por libra). Estos productos se usan principalmente en el tratamiento de aguas industriales y aguas residuales domésticas, pero se espera que en los próximos años su uso aumentará en el tratamiento de agua potable. En la figura 1 se destaca la creciente importancia que están adquiriendo en los Estados Unidos los polímeros orgánicos comparados con los coagulantes inorgánicos (Gross, 1974).

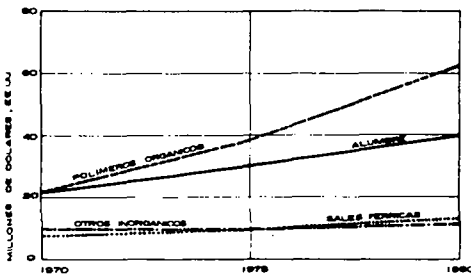


FIGURA 1 VENTA DE COAGULANTES Y AYUDANTES DE COAGULACION/FLOCULACION EN EL TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE Y AGUAS RESIDUALES EN LOS EE.UU. (GROSS, A.C., 1974)

En América Latina, en cambio, el empleo de unos y otros se encuentra restringido debido a varios factores,

entre los cuales pueden mencionarse los siguientes:

- El costo de los polímeros (polielectrolitos) industriales es muy elevado.
- En muchos de estos países la producción de polímeros aplicables al tratamiento de agua es poca o inexistente y, en consecuencia, las empresas de servicio público que deciden emplearlos se ven forzadas a depender de un producto importado, cuyo abastecimiento puede escasear en cualquier momento.
- En otros lugares, es el nivel de desarrollo tecnológico el que no permite la rápida utilización de nuevos productos.

La solución a estos problemas, que dificultan y hasta impiden el empleo de tan útiles sustancias químicas en el tratamiento del agua, es responsabilidad de los técnicos latinoamericanos, ya que es a ellos a quienes corresponde trabajar en el desarrollo de nuevos productos de fácil aplicación y que puedan sustituir a los importados.

Este es el caso de los polímeros naturales que se obtienen de una variedad de plantas nativas. Generalmente, estos son utilizados con diferentes propósitos, pero podrían servir en muchos casos como excelentes ayudantes de coagulación o floculación.

El objeto del presente estudio es, por tanto, presentar algunos ejemplos sobre cómo obtener y emplear dichos polímeros naturales en los procesos de clarificación del agua potable, con miras a despertar interés por este género de estudios, a fin de que otros investigadores puedan completar lo que nosotros estamos esbozando.

II. ASPECTOS BASICOS

A. DEFINICION Y ESTRUCTURA DE LOS POLIMEROS

Un polímero puede definirse como una sustancia química compuesta de una cierta cantidad de unidades básicas que se repiten - llamadas monómeros - unidas consecutivamente por enlaces covalentes. El grado de polimerización está dado por el número de monómeros que conforman la cadena polimérica, y puede variar en un amplio rango hasta llegar a 10^4 ó 10^6 unidades en su estructura molecular. Un compuesto polimérico puede contener diversos tipos de unidades monoméricas en su cadena.

La policondensación en la formación de los polímeros depende de la naturaleza de los grupos funcionales de las moléculas que interaccionan entre sí. Todos los monómeros capaces de formar polímeros deben tener, por lo menos, dos núcleos activos para que la nueva molécula formada conserve su configuración activa semejante a la original. Cuando las cadenas poliméricas tienen múltiples grupos funcionales iónicos, sean libres o esterificados, se les denomina polielectrolitos.

B. CLASIFICACION DE LOS POLIMEROS

Los polímeros de importancia en el tratamiento del agua pueden clasificarse, según su carga, en polímeros aniónicos, catiónicos o no iónicos; y, según su origen, en naturales o sintéticos.

1. De acuerdo a su carga eléctrica

Los polímeros pueden o no tener carga eléctrica. Los que no la tienen se denominan no iónicos. Los demás pueden ser catiónicos (carga positiva) o aniónicos (carga negativa). La figura 2 muestra ejemplos de cada una de las clases de polímeros discutidos.

2. De acuerdo a su origen

a. *Polímeros naturales*

Son aquellos que se producen debido a las reacciones bioquímicas naturales en animales y plantas. Son polímeros que muchas veces no tienen una sola composición química bien definida, pues están constituidos principalmente por varios tipos de polisacáridos (almidón, celulosa, glucósidos, etc.) y proteínas (caseína, olieratina, gelatina, etc.). Algunos de ellos tienen propiedades coagulantes o floculantes y en muchos lugares son usados en forma empírica por los nativos para aclarar el agua turbia con resultados satisfactorios, como en el caso del mucilago de la penca de la tuna (que se emplea en México y en la sierra del Perú) o de las semillas del nirmalí (que se emplean en la India). Para el aprovechamiento de estos polímeros es necesario extraerlos o separarlos del resto de la materia prima.

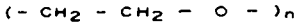
La tabla I incluye algunos de los productos naturales más conocidos que se han utilizado o pueden utilizarse para la clarificación del agua. Existen, sin embargo, otros procedentes de distintas regiones de América Latina y del mundo que podrían ser empleados para este propósito.

En el presente estudio nos hemos concretado a trabajar con los tres primeros que aparecen en la tabla I, debido a que son fáciles de adquirir o producir en nuestro medio a un costo razonable.

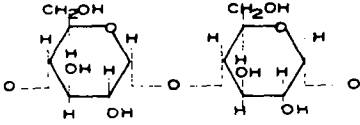
La toxicidad de estos polímeros naturales es, por lo general, mínima o nula, pues se les usa en muchos casos como comestibles o como aditivos en diversos productos alimenticios.

1. POLIMEROS NO IONICOS

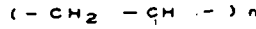
a) OXIDO DE POLIETILENO



b) ALMIDON.

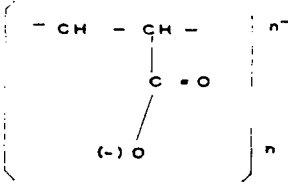


b) POLIACRILAMIDA

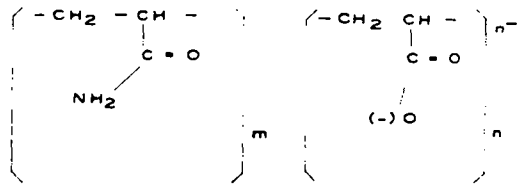


2. POLIELECTROLITOS ANIONICOS

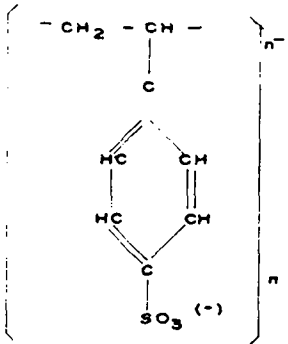
a) ACIDO POLIACRILICO



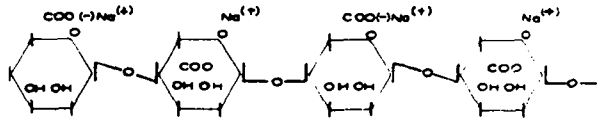
b) POLIACRILAMIDA HIDROLIZADA.



c) SULFATO DE POLIESTIRENO

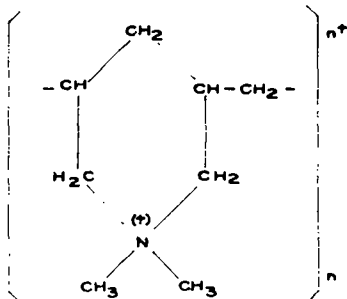


d) ALGINATO DE SODIO.



3. POLIELECTROLITOS CATIONICOS

a) CATFLOC (POLIDIALDIMETILAMONIO)



b) IMINA DE POLIETILENO

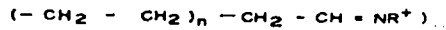


FIGURA 2 CLASIFICACION Y EJEMPLOS DE ALGUNOS POLIMEROS

Tabla I

POLIMEROS NATURALES QUE TIENEN PROPIEDADES COAGULANTES O FLOCULANTES

Nombre común	Parte de donde se extrae	Parte de donde se obtiene
Alginato de sodio	Algas pardas marinas (<i>Phaeophyceae</i>)	Toda la planta
Goma de tuna	Tuna o nopal (<i>Muntingia ficus indica</i>)	Hojas o pencas
Almidones solubles en agua fría (pregelatinizados)	Maíz, papa, yuca o mandioca, trigo	Grano o tubérculo
Goma de semillas de nirmali*	Nirmali (<i>Strychnos potatorum</i> Linn)	Semillas
Pulpa de algarrobo	Algarrobo (<i>Caratonia silicua</i>)	Corteza del árbol
Gelatina común	Animales	Huesos y residuos de animales
Carboximetil celulosa	Arboles	Corteza del árbol
Goma de Guar	Arbusto de Guar (<i>Cyanopsis psoralioides</i>)	Semillas
Goma de "red sorrela"***	"Red sorrela" (<i>Hibiscus sabdariffa</i>)	Semilla
Sílice activada	Silicato de sodio	Activación con un ácido
Floccotan***	Quebracho (<i>Schinopsis lorentzii</i>)	Corteza del árbol
Lentejas**	<i>Lens esculenta</i> <i>Gajanus indicus</i> <i>Phaseolus roxborghi</i>	Semillas
Tamarindo**	Arbol de fruto tropical	Semillas
Fenogreco, alholva	<i>Trigonella foenunaracum</i>	Semillas

* Sen, A.K. y Bulusu, K.R. 1962
Bulusu, K.R. y Sharma, V.P. 1965
Rao, M.N. y Sastry, C.A. 1969

** Bulusu, K.R. y Pathak, B.N. 1974

*** Nombre comercial

b. Polímeros sintéticos

Son los compuestos orgánicos producidos mediante la transformación química del carbón y del petróleo, e incluyen a la mayoría de los polímeros de manufactura industrial que comúnmente se expenden en el comercio. Muchos se encuentran en forma de polvo seco, generalmente constituidos por poli(acrilamida) (no iónicos) o poli(acrilamida) hidrolizada (aniónicos). Los polímeros catiónicos son derivados de bases de

amonio cuaternario o de imina de poli(etileno) que generalmente se expenden en solución acuosa, en concentraciones del 10 al 60% (Lo Sasso, 1972).

La toxicidad de los polielectrolitos sintéticos debe investigarse y someterse a un exigente control de calidad, pues a veces los monómeros utilizados en la producción de polímeros son tóxicos. Debido a esto, algunos polímeros sintéticos no pueden usarse en el tratamiento de agua potable.

En la tabla II se presenta una lista de los polímeros para agua potable cuyo uso ha sido aprobado por la Agencia para la Protección del Ambiente de los Estados Unidos (*Coagulant Aids for Water Treatment*, 1973).

La Organización Mundial de la Salud también ha publicado el informe de un grupo de consultores sobre aspectos de salud relacionados con el uso de polielectrolitos en el tratamiento del agua potable, en el que se destaca la necesidad de controlar la toxicidad de los monómeros usados en la preparación de los polímeros (Organización Mundial de la Salud, 1973).

C. MODOS DE ACCION DE LOS POLIMEROS

La coagulación ha sido definida como la desestabilización eléctrica de las partículas, y la floculación, como la

unión de las mismas para formar el floculo o grumo (La Mer, 1963). Teniendo en cuenta esta definición, los polímeros pueden ser añadidos al agua de tres maneras distintas: (i) como coagulantes, (ii) como ayudantes de coagulación y (iii) como ayudantes de floculación.

En el primer caso, el polímero es agregado al agua como único coagulante, en remplazo del coagulante metálico. En el segundo, es agregado antes que el coagulante metálico y, en el tercero, después del mismo. Aunque existe una tendencia generalizada a no hacer distinciones entre ayudantes de coagulación y ayudantes de floculación, es probable que el mecanismo de coagulación/floculación sea diferente según se agregue el polímero antes o después del coagulante metálico. En la figura 3 se ilustran las tres formas de acción de los polímeros.

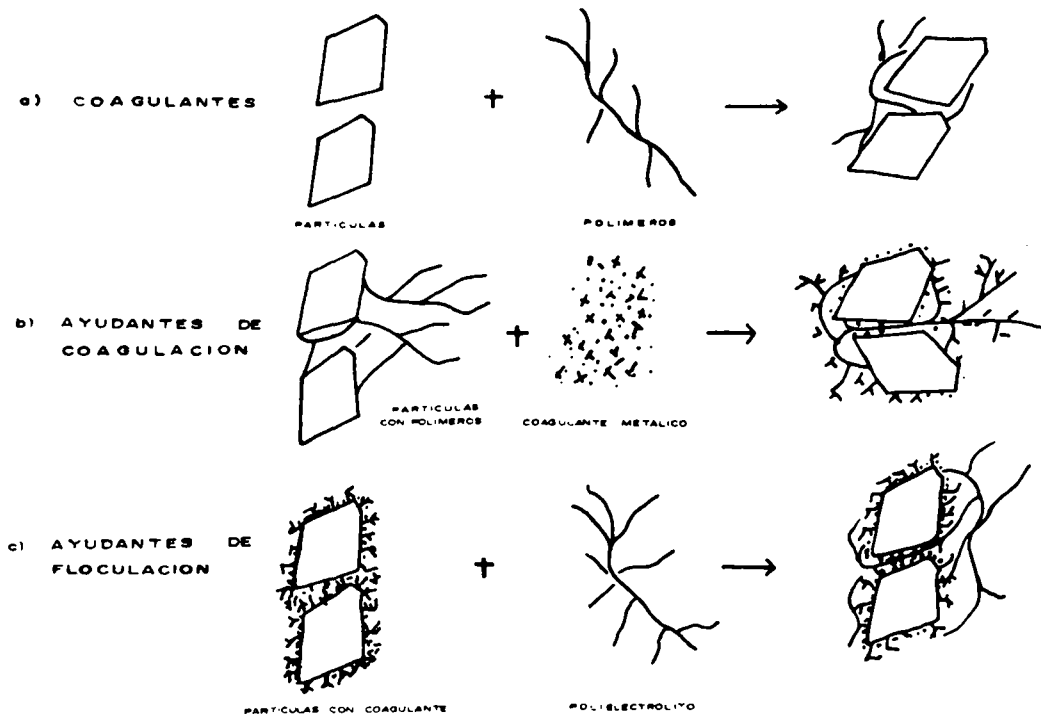


FIGURA 3 MODOS DE ACCION DE LOS POLIMEROS

Tabla II

AYUDANTES DE COAGULACION PARA TRATAMIENTO DE AGUA

Fabricante y Distribuidor	Producto	Max. Conc. Rec.—mg/l	
Allied Colloids, Inc., One Robinson Lane, Ridgewood, N.J. 07450	Percol LT-20	1	
	Percol LT-22	1	
	Percol LT-24	5	
	Percol LT-25	5	
	Percol LT-26	1	
	Percol LT-29	1	
	Allstate Chemical Co., Box 3040, Euclid, Ohio 44117	ALLSTATE No. 2	3.0
	Allyn Chemical Co., 2224 Fairhill Rd., Cleveland, Ohio 44106	ALLSTATE No. 6	1
		Claron	1.5
American Cyanamid Co., Berdan Ave., Wayne, N.J. 07470	Claron 207	2	
	Superfloc 127	1	
	MAGNIFLOC 521-C	10	
	MAGNIFLOC 570-C	10	
	MAGNIFLOC 571-C	10	
	MAGNIFLOC 573-C	10	
	MAGNIFLOC 575-C	10	
	MAGNIFLOC 577-C	10	
	MAGNIFLOC 579-C	10	
	MAGNIFLOC 581-C	10	
	MAGNIFLOC 845-A	1	
	MAGNIFLOC 846-A	1	
	MAGNIFLOC 847-A	1	
	MAGNIFLOC 860-A	1	
	MAGNIFLOC 971-N	1	
	MAGNIFLOC 972-N	1	
	MAGNIFLOC 985-N	1	
	MAGNIFLOC 990-N	1	
	Atlas Chemical Industries, Inc., Wilmington, Del. 19899	SORBO	20
	Berdell Industries, 28-01 Thomson Ave., Long Island City, N.Y. 11101	Berdell N-489 Flocculant	1
		Berdell N-821 Flocculant	1
		Berdell N-902 Flocculant	1
		Betz Labs., Inc., Somerton Rd., Trevese, Pa. 19047	Betz Polymer 1100 P
		Betz Polymer 1110 P	1
		Betz Polymer 1120 P	1
		Betz Polymer 1130 P	1
		Betz Polymer 1140 P	1
		Betz Polymer 1150 P	1
		Betz Polymer 1160 P	1

Fabricante y Distribuidor	Producto	Max. Conc. Rec.—mg/l	
	Betz Polymer 1200 P	1	
	Betz Polymer 1205 P	1	
	Betz Polymer 1210 P	1	
	Betz Polymer 1220 P	1	
	Betz Polymer 1230 P	1	
	Betz Polymer 1240 P	1	
	Betz Polymer 1250 P	1	
	Betz Polymer 1260 P	1	
	Poly-Floc 4D Bondfloc	25	
	Bond Chemicals, Inc., 1500 Brookpark Rd., Cleveland, Ohio 44109	No. 1-101	5
Brennan Chemical Co., 704 North First St., St. Louis, Mo. 63102	BRENCO 870	100	
	BRENCO 880	100	
The Burtonite Co., Nutley, N.J. 07110	Burtonite #78	5	
Calgon Corp., P.O. Box 1346, Pittsburgh, Pa. 15222	Coagulant Aid #2	1	
	Coagulant Aid #18	15	
	Coagulant Aid #233	1	
	Coagulant Aid #243	1	
	Coagulant Aid #253	1	
	Coagulant Aid #961	5	
	Cat-Floc	7	
	Cat-Floc B	10	
	Commercial Chemical, 11 Patterson Ave., Midland Park, N.J. 07432	Coagulant Aid Speedifloc #1	10
		Speedifloc #2	5
Dearborn Chemical Div., W. R. Grace & Co., Merchandise Mart Plaza, Chicago, Ill. 60654	Aquaflow 408 (liquid)	50	
	Aquaflow 409	1	
	Aquaflow 411	2	
	Aquaflow 422	1	
	Dow Chemical U.S.A., Barstow Bldg., 2020 Dow Center, Midland, Mich. 48640	Dowell M-143	5
	PEI-1090	5	
	Purifloc A-22	1	
	Purifloc A-23 (PWG)	1	
	Purifloc C-31	5	
	Purifloc N-17	1	
Drew Chemical Corp., 701 Jefferson Rd., Parsippany, N.J. 07054	Separan AP-30	1	
	Separan AP-273 Premium	1	
	Separan NP-10 Potable Water Grade	1	
	Purifloc N-20	1	
	XD 7817	1	
	Drewfloc 1	1:8 Alumbr.; 0.5:10 Cal	
	Drewfloc No. 3	3	
	Drewfloc No. 21	5	
	Drewfloc 922	10	
	AMERFLOC 265	1	
AMERFLOC 275	1		
AMERFLOC 307	1		
Drewfloc 4	5		

Tabla II
(continuación)

DuBois Chemicals, Div. of W. R. Grace & Co., 3630 E. Kemper Rd., Sharonville, Ohio 45241	FLOCCULITE 550	2	Illinois Water Treatment Co., 840 Cedar St., Rockford, Ill. 61102	Illico IFA 313	10
E. I. DuPont de Nemours and Co., Eastern Lab., Gibbstown, N.J. 08027	Carboxymethyl cellulose	1	Kelco Co., 8225 Aero Dr., San Diego, Calif. 92123	Kelgin W	2
Environmental Pollution Investigation and Control, Inc., 9221 Bond St., Overland Park, Kan. 66214	DynaFloc 631	5.0	Key Chemicals, 4346 Tacony, Philadelphia, Pa. 19124	Kelcosol	2
	DynaFloc 632	1.0	Metalene Chemical Co., Bedford, Ohio 44014	Key-Floc-W	25
	DynaFloc 633	1.0	The Mogul Corp., 20600 Chagrin Blvd., Cleveland, Ohio 44122	Metalene Coagulant P-6	5
	DynaFloc 634	1.0		Ecco Suspension	3.5
	DynaFloc 661	1.0		Catalyzer 146	2
	DynaFloc 662	5.0		MOGUL CO-980	2
	DynaFloc 664	5.0		MOGUL CO-982	1.5
	DynaFloc 691	1.0		MOGUL CO-983	1
	DynaFloc 692	1.0		MOGUL CO-985	3.5
	DynaFloc 693	5.0		MOGUL CO-986	5
Fabcon International, 1275 Columbus Ave., San Francisco, Calif. 94133	Zuclar 110 PW	0.5	Nalco Chemical Co., 6216 W. 66th Pl., Chicago, Ill. 60638	Nalcolyte 110A	5
Henry W. Fink & Co., 6900 Silvertown Ave., Cincinnati, Ohio 45236	Fabcon	0.5		Nalcolyte 607	40
	No. 102	1		Nalcolyte 671	1
	No. 109	1		Nalcolyte 7870	1
	Kleer-Floc	1		Nalcolyte 8101	10
	No. 116	1		Nalcolyte 8113	10
	Kleer-Floc	5		Nalcolyte 8114	10
	No. 119	1		Nalcolyte 8170	1
	Kleer-Floc	1		Nalcolyte 8171	1
	No. 730	1		Nalcolyte 8172	1
	Kleer-Floc	1		Nalcolyte 8173	1
	No. 735	1		Nalcolyte 8174	1
	Kleer-Floc	1		Nalcolyte 8175	1
Gamlen Sybron Corp., 321 Victory Ave., S. San Francisco, Calif. 94080	Gamlose W	5	Narvon Mining & Chemical Co., Affiliate of Irl Daffin Assocs., Keller Ave. & Fruitville Pike, Lancaster, Pa. 17604	12C06	10
	Gamlen	5		Sink-Floc	10
	Wisproffloc 20	5		Z3 & AZ3	10
	Gamafloc	4		Sink-Floc	10
	NI-702	4		Z4 & AZ4	10
Garrett-Callahan, 111 Rollins Rd., Millbrae, Calif. 94031	Coagulant Aid 72A	50		Sink-Floc	10
	Coagulant Aid 74B	30		Z5 & AZ5	10
	Coagulant Aid 76	40		Zeta-Floc C	20
	Coagulant Aid 76A	50		Zeta-Floc K	20
	Coagulant Aid 78B	50		Zeta-Floc O	20
	Formula 70A	50	National Starch & Chemical Corp., 1700 W. Front St., Plainfield, N.J. 07063	Zeta-Floc WA	20
	Formula 73	50		Floc-Aid 1038	5
	Formula 74E	20		Floc-Aid 1063	5
General Mills Chemicals, 4620 N. 77th St., Minneapolis, Minn. 55435	SuperCol Guar	10	O'Brein Industries, Inc., 95 Dorsa Ave., Livingston, N.J. 07039	O'B Floc	10
	Gum	10	Oxford Chemical Div., Consolidated Foods Corp., P. O. Box 80202, Atlanta, Ga. 30341	OXFORD-HYDRO-FLOC	10
	Guartec F	10	W. A. Scholten's Chemische Fabrieken M. V., Foxhol, Postbus 1, The Netherlands	Wisproffloc P	5
	Guartec SJ	10	Standard Brands Chem. Industries, Inc., Div. of Standard Brands, P. O. Drawer K, Dover, Del. 19901	TYCHEM 8035	1
Hercules, Inc., 910 Market St., Wilmington, Del. 19899	Carboxymethyl-cellulose	1	A. E. Staley Mfg. Co., P. O. Box 151, Decatur, Ill. 62525	HAMACO 196	5
	Hercofloc 818 (Potable Water Grade)	1	Stein, Hall & Co., Inc., 605 Third Ave., New York, N.Y. 10016	Hallmark 81	1
	Hercofloc 821 (Potable Water Grade)	1		Hallmark 82	1
	Perfectamyl A5114/2	10		Jaguar	0.5
Frank Herzl Corp., 299 Madison Ave., New York, N.Y. 10017	ATLASEP-PWG-11	1	James Varley & Sons, Inc., 1200 Switzer Ave., St. Louis, Mo. 63147	MRL-14	1
ICI America, Inc., Wilmington, Del. 19899	ATLASEP-PWG-44	1		MRL-22	2
	ATLASEP-PWG-77	1		Polyhall	1
	ATLASEP-PWG-100	1		M-295 P.W.	1
	ATLASEP-PWG-255	1		VARCO-FLOC	150
			W. E. Zimmie, Inc., 810 Sharon Dr., Westlake, Ohio 44145	Zimmite ZM-100	1
				Zimmite	130
				ZC-301	1
				Zimmite	1
				ZT-600	1
				Zimmite	1
				ZT-601	1
				Zimmite	1
				ZT-603	1

En la práctica, la mayoría de polímeros se usan como ayudantes de floculación, pues se adicionan de 30 a 50 seg después del coagulante (generalmente una sal de aluminio o hierro), cuando las partículas ya se encuentran desestabilizadas. En esta forma se evita que parte de las partículas producidas por los coagulantes metálicos sean adsorbidas por los sitios disponibles en las cadenas poliméricas y pierdan así su capacidad de desestabilización de los coloides causantes de la turbiedad. No existe, sin embargo, ninguna manera para conocer de antemano si un polímero determinado puede actuar mejor como ayudante de coagulación o floculación. La efectividad de estos solo puede conocerse mediante cuidadosos ensayos de laboratorio, utilizando el agua con la cual se va a trabajar.

Para cada polielectrolito existe una dosis óptima, cualquiera sea el modo de empleo. Si se sobrepasa esta dosis, puede producirse una restabilización de los coloides y un desmejoramiento de la calidad del agua tratada.

En general, se ha encontrado que los polímeros catiónicos son más efectivos como coagulantes primarios que los aniónicos o no iónicos (*Coagulant Aids for Water Treatment*, 1973), porque la atracción electrostática interparticular ayuda en este caso a la adsorción mutua del polímero y los coloides. La dosis que se requiere para que actúen en esta forma es relativamente alta, pero menor que la de los coagulantes metálicos. Por ejemplo, la dosis máxima

recomendada para el "catfloc" (producto comercial cuyo nombre químico es polidialildimetilamonio) es de 7 mg/l. La ventaja de este producto es que reduce el volumen de los lodos decantados en comparación con los producidos por el hidróxido de aluminio o hierro. También el floccotan se ha usado con éxito como coagulante primario.

La turbiedad y el color en el agua actúan como coloides de carga negativa y existe la tendencia a que la carga positiva producida por los coagulantes metálicos la neutralice. Sin embargo, según se ha determinado recientemente, este no es el único mecanismo de coagulación (O'Melia, 1972). Las fuerzas químicas pueden ser tanto o más importantes que las físicas; los complejos solubles y los hidróxidos precipitados de las sales metálicas pueden reaccionar químicamente con la turbiedad coloidal. Los polímeros pueden así adsorberse en la superficie de las partículas coloidales, causando una reducción de sus cargas (en el caso de polielectrolitos catiónicos) o creando puentes de unión entre los microflóculos que se forman después de agregadas las sales metálicas. Esto explicaría por qué los polielectrolitos aniónicos pueden interaccionar también con partículas de turbiedad de carga negativa, ya que lo predominante en este caso es la acción del puente químico (figura 3). En algunos estudios experimentales se ha encontrado inclusive que los polielectrolitos aniónicos pueden servir como coagulantes primarios. (Black *et al.*, 1965).

III. METODO DE EXPERIMENTACION

A. PREPARACION DE LA PRUEBA DE JARRAS

1. Preparación del aparato

Con el objeto de poder normalizar los resultados obtenidos al comparar diversos polímeros, tal como se describirá más adelante, se procedió a modificar el aparato Phipps and Bird de la siguiente manera:

- a. Al puente superior, donde cuelgan los agitadores, se le adicionó un bloque de madera perforado verticalmente. En cada uno de los huecos (dos en frente de cada jarra) se colocaron jeringas sin agujas.



Prueba de jarras para los ensayos de floculación

- b. La dosis de coagulante o polímero requerida en cada caso, se succionó con dichas jeringas y se colocó en el lugar correspondiente.
- c. La aplicación se hizo bajando todos los émbolos manualmente en un lapso de 5 seg.

Consideramos que este sistema de inyección tiene ventajas definitivas sobre el sistema convencional, consistente en agregar el coagulante con una pipeta graduada, por las siguientes razones:

- a. El añadir una sustancia química a la superficie del agua produce una mezcla muy deficiente, no obstante

la velocidad con que giren los agitadores del aparato de prueba de jarras, pues la difusión del compuesto agregado es relativamente lenta. En cambio, el chorro de coagulante lanzado por la jeringa penetra profundamente dentro de la masa de agua y produce una mezcla completa e instantánea. Esto se puede apreciar claramente al utilizar colorantes para comparar los distintos métodos de aplicación.

- b. La adición casi simultánea de los compuestos en todas las jarras facilita el cómputo del tiempo inicial de formación del floc y evita errores al juzgar la velocidad con que se ha realizado la reacción en cada caso.
- c. El tener un volumen fijo de coagulante medido previamente en cada jeringa elimina la imprecisión que representa dosificar en el momento con una pipeta.

Las muestras de turbiedad residual se tomaron con un sifón flotante, con el objeto de conservar siempre la misma distancia (6 cm) desde la superficie del agua a la cual se estaban extrayendo los sobrenadantes y obtener una velocidad de extracción constante en todos los ensayos.



Accesorios adaptados para tomar muestras durante las pruebas de jarras

2. Procedimiento generalizado

La secuencia de los pasos seguidos para los ensayos de pruebas de jarras fue:

- a. Distribución del agua a las seis jarras de 2000 ml.
 - b. Ajuste de la velocidad de las paletas a 110 rpm para efectuar la mezcla rápida.
 - c. Dosificación del sulfato de aluminio, con un tiempo de mezcla rápida de 30 seg.
 - d. Dosificación del polímero, con un tiempo de mezcla rápida de 30 seg. En todos los ensayos, el tiempo total de mezcla rápida fue de un minuto, aun en el caso de usar sólo coagulante y no polímero.
 - e. Ajuste de velocidad de las paletas a 40 rpm para efectuar la mezcla lenta de 12 a 15 min.
 - f. Sedimentación del floc en un tiempo de 15 min, previa colocación de los sifones.
 - g. Toma de muestra y medida de la turbiedad residual. La turbiedad residual fue medida con un turbidímetro Hach 2100-A, de tipo nefelométrico, y por lo tanto las unidades de turbiedad han sido expresadas en unidades nefelométricas (UN). La formazina ha sido utilizada como patrón en la calibración del nefelómetro.
- ### 3. Procedimiento para determinar la velocidad de sedimentación de las partículas floculadas

Para este procedimiento se siguen exactamente los pasos indicados en 2. La diferencia con el caso anterior es que en el paso f. no se deja sedimentar durante 15 min sino que, al terminar el tiempo de floculación y comenzar el de sedimentación, se van tomando muestras a intervalos; de esta manera se puede determinar la efectividad de los diferentes polímeros, según sedimenten con mayor o menor rapidez.

B. AGUA USADA EN LOS ENSAYOS

1. Agua natural

Procedente del río Rímac que abastece la planta de tratamiento de agua de Lima *Gustavo Laurie Solts*, la cual presentó las siguientes características físico-químicas durante los ensayos: pH 7.1-7.5, alcalinidad total 128-147 (CaCO_3), dureza 300-308, turbiedad 29-35 UN.

2. Agua de turbiedad artificial

Los ensayos con agua de turbiedad artificial se hicieron por tener esta la ventaja de presentar características homogéneas, que facilitan la comparación entre los resultados de los diferentes experimentos.

La preparación del agua de turbiedad artificial crea algunas dificultades cuando no se cuenta con arcillas finamente divididas, de tamaño coloidal, que permanezcan por largo tiempo en suspensión.

Por tanto, se recurrió a un proceso de activación usando una muestra de caolín suministrada por Cerámicas El Pacífico S.A., Lima, Perú. El proceso se realizó en la forma siguiente:

- a. Se hirvió durante una hora la arcilla suspendida con 10% de H_2SO_4 concentrado para inducir el fraccionamiento de los cristales de caolín y la disolución de los iones orgánicos e inorgánicos que se encuentran con impurezas en la muestra.
- b. Luego se separó por decantación el material sólido, el cual se lavó con agua destilada repetidas veces, hasta lograr obtener una solución de pH = 6.
- c. El residuo así lavado se desecó a $110^\circ\text{C} \pm 5^\circ\text{C}$ para evaporar la mayor parte del agua ocluida en los cristales.
- d. La torta seca obtenida se molió finalmente en un mortero de mullita hasta producir un polvo muy fino

(malla #350). Para facilitar esta operación, la masa se humedeció con alcohol y se secó luego a 70-80°C en la estufa.

Para hacer los ensayos se mezcló el caolín preparado en la forma descrita con agua de la llave (pH 7.45-7.98, alcalinidad total 72-95) y la suspensión se dejó decantar durante 3 h para separar las partículas más gruesas. Con el sobrenadante se preparó una suspensión diluida de 50 unidades nefelométricas (UN), que mostró ser bastante estable.

C. DOSIS OPTIMA DE COAGULANTES

Utilizando el agua de turbiedad artificial (50 UN) se hicieron cuatro series de pruebas de jarras con sulfato de aluminio. Se encontró que la dosis óptima de sulfato de aluminio, con la cual se obtenía una turbiedad residual inferior a 5 UN, fue alrededor de 45 mg/l de $Al_2(SO_4)_3 \cdot 18 H_2O$ (ver figura 4).

Igual procedimiento se siguió con el agua del río Rímac, cuyos resultados se incluyen en la figura 5, donde se puede observar que la dosis óptima promedio fue alrededor de 32 mg/l.

Se decidió emplear para los ensayos con agua de turbiedad artificial 15 mg/l de $Al_2(SO_4)_3 \cdot 18 H_2O$, teniendo en cuenta que con dosis de coagulante inferiores a la óptima se podría observar mejor el efecto de los ayudantes de

floculación. En los ensayos con agua del río Rímac, las dosis de sulfato de aluminio variaron entre 5 y 10 mg/l debido a los cambios en la turbiedad del agua.

D. SELECCION DE POLIMEROS SINTETICOS PARA FINES COMPARATIVOS

Se efectuaron una serie de ensayos preliminares con los polímeros sintéticos que había en el laboratorio, con la finalidad de encontrar cuáles eran los más efectivos en la remoción de turbiedad con las aguas utilizadas en este estudio. Los siguientes productos fueron ensayados con agua de turbiedad artificial: Purifloc N-12, Magnafloc LT-24, Calgon 253, Nalco 672, Purifloc A-23, siendo los dos primeros los de mayor efectividad.

Con el agua del río Rímac se ensayaron los polímeros Purifloc N-12, Magnafloc LT-24 y Purifloc A-23, resultando de mayor eficacia el Magnafloc LT-24. Teniendo estos resultados se decidió usar Purifloc N-12 (0.1 mg/l) para comparar los polímeros naturales en ensayos con agua de turbiedad artificial y Magnafloc LT-24 (0.4 mg/l) para compararlos usando agua del río Rímac.

Purifloc N-12 es un sólido blanco, granular y no iónico. Magnafloc LT-24 es igualmente un sólido blanco, pero su naturaleza iónica es desconocida por nosotros.

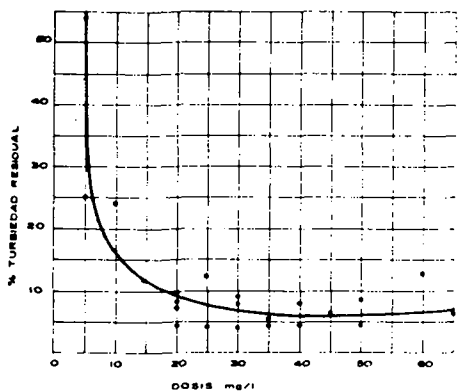


FIGURA 4 DOSIS OPTIMA DE SULFATO DE ALUMINIO CON AGUA DE TURBIEDAD ARTIFICIAL DE 50 UN (TEMPERATURA 21° C)

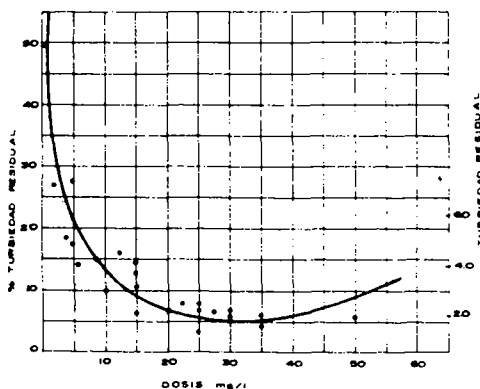


FIGURA 5 DOSIS OPTIMA DE SULFATO DE ALUMINIO CON AGUA DEL RIO RIMAC DE 28 UN (TEMPERATURA 20° C)

IV. EXPERIMENTOS CON ALGINATO DE SODIO

A. DESCRIPCION DE LAS ALGAS

Los alginatos se obtienen de algas marinas del grupo *Phaeophyceae* (algas pardas) y están constituidos en alto porcentaje por polisacáridos (alginas y otros). Esta familia tiene una gran variedad de especies que crecen en costas rocosas y aguas relativamente tranquilas en muchas regiones de América (ver figura 6) y otras partes del mundo (Kelco Company, 1973).

En Sudamérica, desde Ecuador hasta Chile y en la costa sur de Argentina, abundan las especies *Macrocystis pyrifera* y *Lessonia nigrecens* Bory; crecen en matas coposas de 1 a 2 m de diámetro y se desarrollan hasta la superficie del mar. La producción es permanente y se pueden cosechar por medio de equipos especiales hasta cuatro veces por año.



Lessonia nigrecens



Macrocystis pyrifera humboldtii

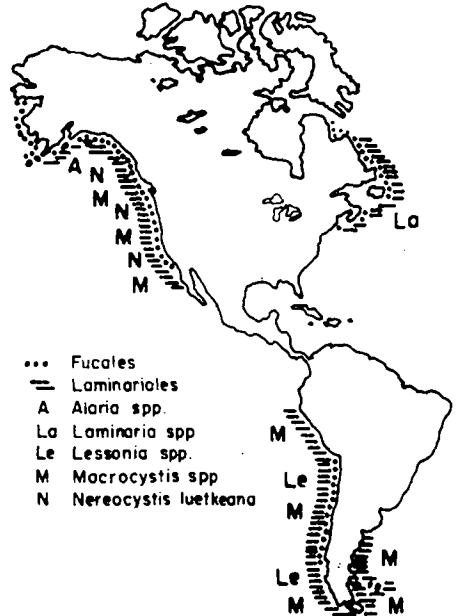


FIGURA 6 ZONAS DE LAS AMERICAS EN DONDE SE ENCUENTRAN ALGAS PARDAS (*Phaeophyceae*)

B. COMPOSICION DE LOS ALGINATOS

El ácido algínico puro fue preparado por primera vez en 1867 (Krafting, 1896). Al investigar su estructura se encontró inicialmente que estaba formado por el polímero del D-ácido manurónico (Cretcher y Nelson, 1930). Posteriormente se descubrió que este estaba conectado por uniones 1,4-β. En 1955 se determinó, por medio de cromatografía de papel, que el ácido

β-1,4-L- gularónico está también presente en el ácido algínico (Fisher y Dorfel, 1955). Como resultado de esta y otras investigaciones hoy día se cree que el ácido algínico contiene dos monómeros: ácido poli-d-manurónico y ácido poli-L-gularónico. Estos monómeros están unidos como copolímeros en cadenas del tipo (-M)_n (-G)_n y (-M-G)_n en la misma molécula, como lo muestra la figura 7.

C. DIFERENTES USOS DEL ACIDO ALGINICO - TOXICIDAD

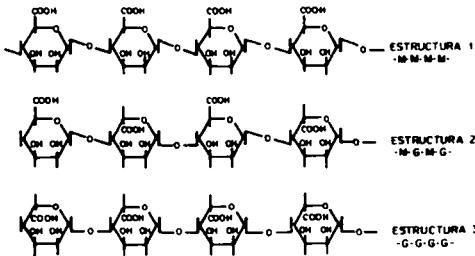


FIGURA 7 ESTRUCTURA DEL ACIDO ALGINICO

Las alginas son usadas en una gran variedad de productos comerciales, como se puede apreciar en la tabla III.

Su posible uso como ayudante de floculación para el agua potable consumiría solamente una parte de su producción en gran escala. Algunos países latinoamericanos están produciendo en la actualidad alginato de sodio.

Tabla III

ALGUNOS DE LOS MUCHOS PRODUCTOS EN DONDE SE EMPLEAN LAS ALGINAS

(Kelco Co.)

Productos farmacéuticos	Productos alimenticios varios	Productos varios
Tabletas de aureomicina	Merengues y baños pasteleros	Adhesivos
Suspensiones de terramicina	Aderezos para ensaladas	Derivados del caucho
Tabletas de sulfá triple	Alimentos congelados	Productos textiles
Suspensiones de penicilina	Jarabes de fuente	Productos de papel
Tabletas antiácidas	Concentrados de naranja	Pinturas
Suspensiones de sulfá	Confitería	Esmaltes para cerámica
Tabletas compuestas de aspirina	Pudines	Vajilla de porcelana
Loción de calamina		Acabados de cuero
Polvos hemostáticos		Cera para automóviles
Laxativos de relleno		Pintura para varillas de soldar
Compuestos para impresión dental	<u>Productos lácteos</u>	Antiincrustantes
Pasta de dientes	Helados*	Separadores de placas de batería
Compuestos para impresión ortopédica	Mezcla seca para helados	Cemento para acoplar cartón
Jaleas quirúrgicas	Sorbetes	Procesamiento del azúcar de remolacha
Supositorios	Leche de chocolate	Emulsiones de parafina
Emulsiones de aceite mineral	Ponche de chocolate	
Ungüentos	Crema esterilizada	
	Queso	

* Constituye el uso principal de alginas en los Estados Unidos (50% de la producción total)

Dado su amplio uso en comestibles y drogas, sin que se haya detectado ningún efecto nocivo, el alginato puede considerarse como un producto carente de toxicidad. Además, las cantidades que se aplicarían al agua potable serían muy pequeñas. Kelgin W. y Kelcosol (ambos productos comerciales de alginato de sodio) han sido aprobados en los Estados Unidos para uso en agua potable en concentraciones no mayores de 2 mg/l (ver tabla II).

D. OBTENCION DEL ALGINATO DE SODIO

Cada compañía fabricante de alginatos tiene su propio método de producción, que básicamente consiste de:

1. Extracción del ácido algínico por medio de un álcali.
2. Precipitación del mismo con un ácido mineral.

El método adoptado en el presente estudio fue el de Haug, con algunas modificaciones que permitieron controlar el proceso en cada paso y evitar así la despolimerización del polisacárido (Haug, 1964).

La extracción del alginato se hizo como sigue:

- a. Las muestras de *Macrocystis pyrifera* y *Lessonia nigrecens* Bory se lavaron para eliminar la arena y demás residuos. Luego se dejaron secar, primero al aire libre y después en la estufa a 40-45°C, hasta peso constante.
- b. Unos 400 g de esta muestra seca se sometieron a digestión en agua durante 10 min a 55°C. Luego se separó la solución para así eliminar principalmente los yoduros y sales de potasio.

- c. Se colocaron luego las algas en una solución de cloruro de calcio (CaCl_2) al 0.5% (lo suficiente como para que las cubra) y se les dejó macerar durante 30 min, después de lo cual las algas fueron extraídas y lavadas con agua destilada.
- d. Se pasaron luego a una solución de cloruro de sodio al 0.5% y se calentaron a 60°C durante 10 min.
- e. De allí fueron separadas y colocadas en una solución de carbonato de sodio (Na_2CO_3) al 10% y a 60-65°C de temperatura, con agitación constante durante media hora. Luego se dejó en reposo la mezcla por 24 h. Se obtuvo así la disolución de la alginina y otros pigmentos que tienen una apariencia viscosa y color pardo oscuro. Esta solución se diluyó al 50% con agua destilada ajustando el pH a 9.
- f. Para eliminar la celulosa y demás materias extrañas, se filtró luego el conjunto en una tela de malla gruesa para separar el líquido de los residuos. A estos se les volvió a digerir con carbonato de sodio al 2% y a 70°C durante 10 min, para acabar de extraer lo que aún hubiera quedado de alginas y el conjunto se filtró como en el caso anterior.
- g. La solución de ácido algínico se decoloró agregándole hipoclorito de sodio al 1% en proporción 1 a 10 al volumen.
- h. Después de 10 min se le adicionó ácido clorhídrico al 5%, agitando hasta obtener un pH = 2. El volumen empleado es aproximadamente 1/100 de la solución tratada. Esto produce la precipitación del alginato de sodio en forma de flóculos blancos que flotan inicialmente debido al desprendimiento de CO_2 .
- i. Se dejó reposar esta suspensión (calentándola hasta 50°C, lo que ayuda

a la eliminación del exceso de cloro, debido al hipoclorito), el precipitado se extrajo (botando el sobrenadante) y luego se filtró en una tela porosa.

j. Como este precipitado de alginato de sodio todavía tiene algunas impurezas, se refinó disolviéndolo en carbonato de sodio al 2% hasta obtener un pH \approx 7, para después precipitar el alginato con etanol y obtener flóculos densos que se puedan separar por filtración.

k. El producto filtrado se secó al aire libre y en la estufa a temperatura baja (40°C) hasta peso constante, con lo que se produjo un material laminar flexible de color pardo claro, soluble en agua fría, que luego se molió para obtener el producto final en polvo. La cantidad obtenida con 400 g de cada tipo de alga seca fue de 50 g de alginato de sodio para las algas *Macrocystis* y 20.5 g para las algas *Lessonia*. Los rendimientos varían según el período del año en que se recolecten las algas (Bazán, 1973).

E. USO DEL ALGINATO DE SODIO COMO AYUDANTE DE FLOCULACION

En 1964 se llevó a cabo en Inglaterra un extenso estudio utilizando alginato de sodio como ayudante de coagulación en el tratamiento de aguas coloreadas de baja alcalinidad, baja turbiedad y pocos sólidos disueltos. Con dosis de solo 0.35 mg/l, las carreras de filtración fueron incrementadas de un rango inicial de 6-24 h hasta 48 h debido a las mejores características del floc formado (Hall, 1964).

La dosificación de alginato de sodio requiere, sin embargo, de algunas precauciones especiales. En primer lugar, el alginato es precipitado por el calcio y el aluminio con producción de un gel, lo que puede ocurrir cuando existe

un alto contenido de dureza cálcica en el agua de disolución, o cuando cae accidentalmente polvo de sulfato de aluminio. Esto puede prevenirse añadiendo al agua de disolución 10 a 15% de soda (Na_2CO_3) o mezclando este compuesto directamente con el alginato.

Por otra parte, la solución de alginato puede sufrir una degradación biológica, por lo que debe agregársele cloro o hipoclorito de sodio. El polvo seco, en cambio, es muy estable y ha sido almacenado por años a una temperatura de 10-20°C, sin que se produzca deterioro apreciable. Sin embargo, al hidratarse, especialmente a temperaturas superiores a 50°C, se produce su despolimerización.

Los resultados de los ensayos efectuados en el laboratorio con alginato de sodio fueron bastante alentadores, tanto al realizarlos con agua de turbiedad artificial como con agua del río Rímac.

Para determinar las dosis óptimas se efectuaron ensayos con:

1. Alginato de sodio proveniente de algas *Macrocystis*,
2. Alginato de sodio proveniente de algas *Lessonia*,
3. Welgum, un alginato de sodio comercial producido en Inglaterra, y
4. Purifloc N-12, un polielectrolito sintético.

En todas las jarras que contenían agua turbia (50 UN) se aplicaron 15 mg/l de sulfato de aluminio conjuntamente con distintas dosis de los polímeros, y se determinó la turbiedad residual en cada uno. Se encontró que bajo las condiciones del ensayo, la dosis óptima para el alginato de sodio proveniente de las algas *Macrocystis* fue de 0.5 mg/l, de las algas *Lessonia* 0.6 mg/l, de Welgum 0.5 mg/l, y de Purifloc N-12 0.1 mg/l.

En todos los casos se pudo apreciar claramente que el floc formado en la jarra, a la que se le había adicionado la dosis óptima de polímero, presentaba una mejora notable en la remoción de turbiedad con respecto a la jarra a la que no se le había adicionado polímero.

El índice de Willcomb (que evalúa la calidad del floc) disminuyó al sobrepasar la dosis óptima para el alginato de *Macrocystis*, pero aumentó para los otros, no obstante que la turbiedad residual desmejoraba. Este es un fenómeno observado con muchos polímeros, tanto naturales como sintéticos, que suelen producir un floc más grande y pesado, aun cuando la turbiedad remanente final no mejora.



Prueba efectuada con alginato de sodio

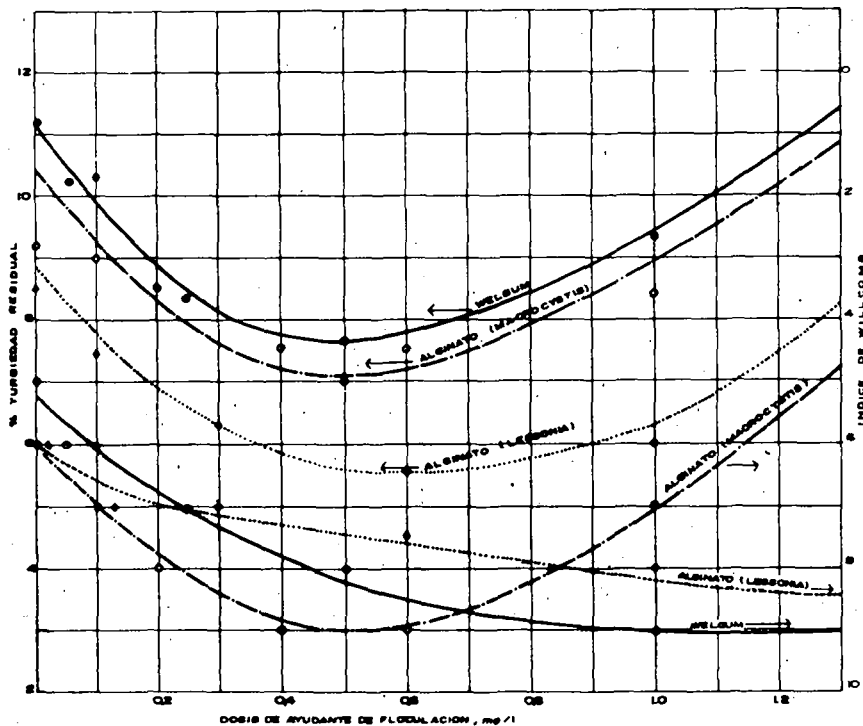


FIGURA 8 DOSIS OPTIMA DE ALGINATO DE SODIO CON AGUA DE TURBIEDAD ARTIFICIAL DE 50 UN (COAGULANTE: $Al_2(SO_4)_3 \cdot 18H_2O$, 15 mg/l; TEMPERATURA 22° C)

Las razones para esto pueden ser de diferente índole. Teniendo en cuenta la configuración bimodal (Harris y Kaufman, 1966) de la curva de distribución de partículas por tamaños en las suspensiones floculadas, podría pensarse que en la floculación ortocinética, a determinado gradiente, solo queda atrapado el grupo de partículas de mayor tamaño que forman la primera parte de la curva, pero que las partículas de diámetro muy pequeño, representadas por la segunda, no alcanzan a quedar suficientemente influenciadas por la floculación ortocinética y, por tanto, no son adsorbidas por el floc de mayor tamaño y aparecen en la suspensión como turbiedad remanente. En consecuencia, el gradiente de velocidad tiene una gran influencia en la turbiedad residual obtenida, como ha sido demostrado repetidas veces por

varios investigadores. Este parámetro se torna aún más crítico cuando se usan polielectrolitos (Morrow y Rausch, 1974).

Como lo que se estaba buscando era una comparación entre la eficiencia de diversos compuestos, todos los ensayos se hicieron con el mismo gradiente de velocidad. Se determinó la turbiedad removida en cada jarra a través del tiempo, con el objeto de comparar la velocidad de sedimentación relativa de las partículas en las distintas suspensiones. Los resultados se presentan en las figuras 8 y 9 para agua de turbiedad artificial y natural, respectivamente.

Obsérvese que los alginatos ensayados se comparan ventajosamente con el polímero sintético.

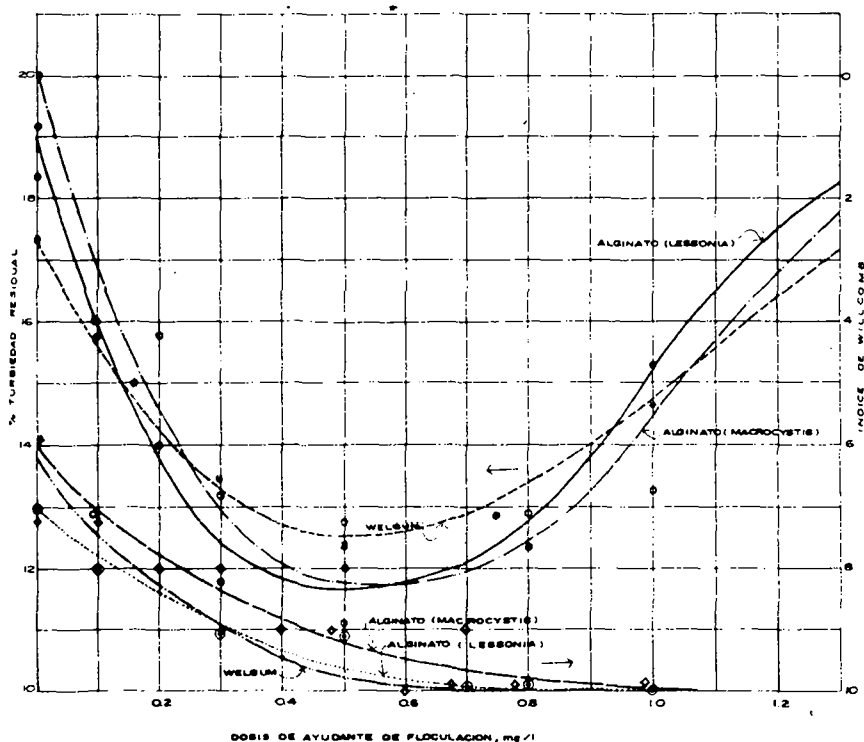


FIGURA 9 DOSIS OPTIMA DE ALGINATO DE SODIO CON AGUA DEL RIO RIMAC DE 28 UN (COAGULANTE: $Al_2(SO_4)_3 \cdot 18H_2O$, 15 mg/l; TEMPERATURA 21° C)

Se efectuaron ensayos similares con el agua del río Rímac y agua con turbiedad artificial. Los resultados se incluyen en las figuras 10 y 11, donde se puede apreciar que las curvas de velocidad de sedimentación para los alginatos y para el polímero sintético

están bastante juntas, pero los de *Lessonia* y *Macrocystis* producen un floc ligeramente más pesado.

En ensayos posteriores realizados con agua natural y ácido algínico (producto intermedio de la fabricación del

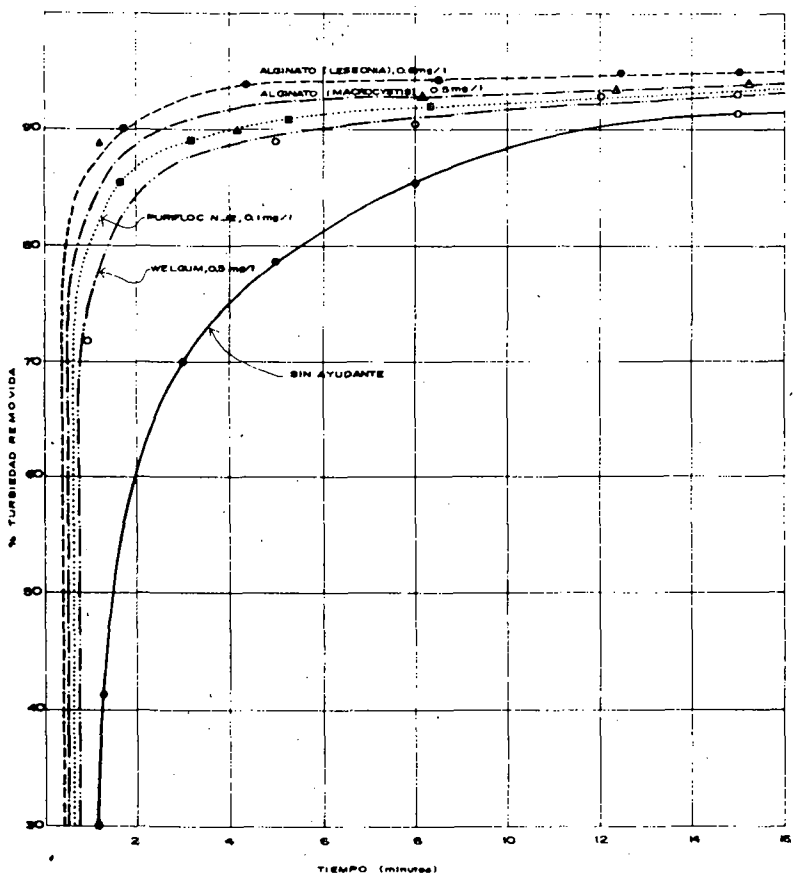


FIGURA 10 VELOCIDADES DE SEDIMENTACION - EFICACIA COMPARADA DE LOS ALGINATOS DE SODIO (COAGULANTE: $Al_2(SO_4)_3 \cdot 18H_2O$, 15 mg/l; AGUA DE TURBIEDAD ARTIFICIAL DE 50 UN; TEMPERATURA 22° C)

alginato de sodio, obtenido simplemente por la precipitación de la algina en medio ácido y luego secado a la temperatura de 40°C), se encontró que este también actúa como un excelente ayudante de floculación. El problema que presenta este producto de aspecto granuloso es su consistencia dura que impide molerlo con facilidad, pero que puede

solucionarse mezclándolo con carbonato de sodio en partes iguales, lo cual permite su fácil disolución. Por lo tanto, en todos los ensayos realizados el ácido algínico fue mezclado 50:50 con Na_2CO_3 . Las condiciones de estos ensayos varían ligeramente del procedimiento generalizado y son incluidas con los resultados en la figura 12.

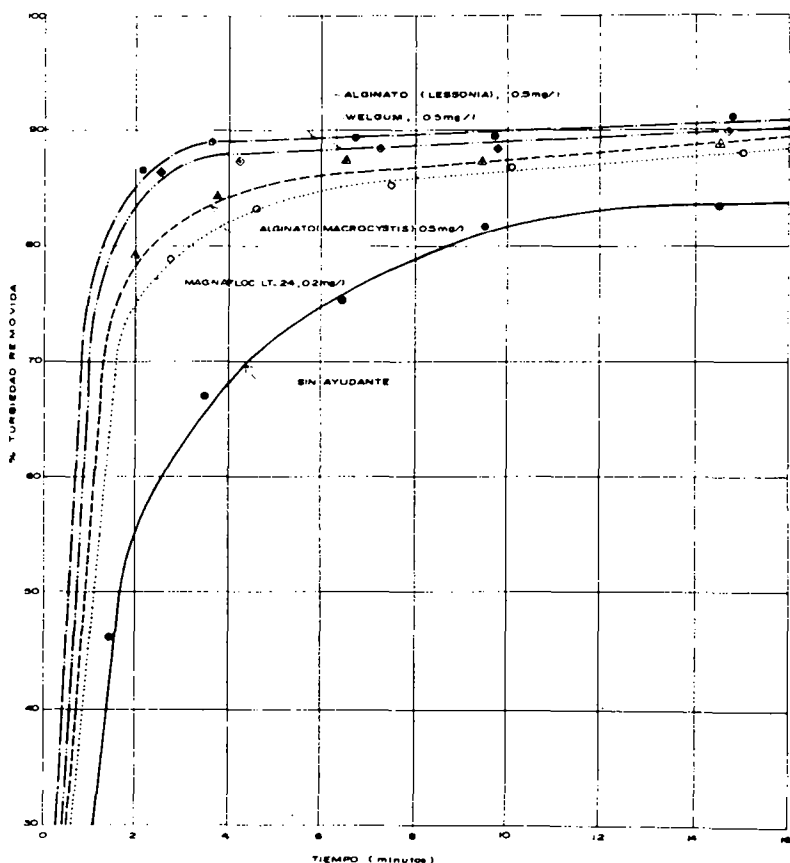


FIGURA 11 VELOCIDADES DE SEDIMENTACION - EFICACIA COMPARADA DE LOS ALGINATOS DE SODIO (COAGULANTE: $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18\text{H}_2\text{O}$, 10 mg/l; AGUA DEL RIO RHAC DE 28 UN DE TURBIEDAD; TEMPERATURA 22° C)

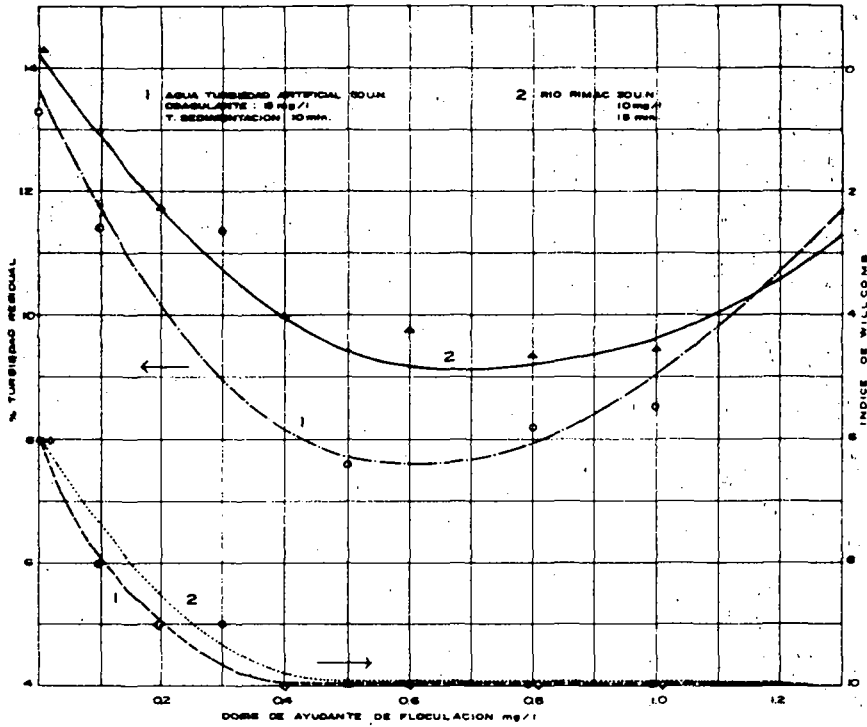


FIGURA 12 EFICIENCIA DEL ACIDO ALGINICO COMO AYUDANTE DE FLOCULACION (COAGULANTE: $Al_2(SO_4)_3 \cdot 18H_2O$; TEMPERATURA 21° C)

V. EXPERIMENTOS CON TUNAFLOC

A. DESCRIPCION DE LA PLANTA

El cactus del cual se extrajeron polímeros floculantes fue la *Opuntia ficus indica*, que pertenece a la familia de las *Opuntias*. Otras especies de esta familia incluyen a la *Opuntia monacantha*, *Opuntia tuna*, *Opuntia vulgaris*, *Opuntia inermis*, etc. Todas estas especies son similares y se conocen comúnmente como "tuna" o "nopal".

Las *Opuntias* son originarias de México y fueron llevadas a diferentes lugares por los españoles (Gade, 1973). En la actualidad se encuentran ampliamente distribuidas en las zonas andinas medias de Sud y Centroamérica, Europa (España e Italia) y también Australia. Crecen en forma natural y son cultivadas en terrenos áridos y semiáridos, cuyas alturas fluctúan desde el nivel del mar hasta aproximadamente 2500 m.



Crecimiento natural de tunas; Cajamarca, Perú

Su cultivo tiene diversas finalidades que incluyen: obtención de la fruta; uso de la penca como forraje para animales, generalmente después de remover las espinas (quemándolas con antorchas); preparación de potajes para consumo humano (las hojas tiernas son comestibles); utilización de la planta para formar cercos y linderos de casas y terrenos; y desarrollo de la cochinilla (un insecto hemíptero que vive sobre la penca, del cual se extrae el carmín que es usado como colorante en la fabricación de productos de tocador). En 1975 el Perú espera exportar 180,000 toneladas de cochinillas por un valor aproximado de US\$ 4 millones.

En las áreas rurales del Perú se acostumbra usar el mucilago de la penca de la tuna para clarificar el agua para uso doméstico. De esta práctica campestre surgió la idea de investigar la posibilidad de extraer la materia activa flocculante contenida en ella.

Con este fin se utilizó la *Opuntia ficus indica*. Esta es una planta arborecente, muy común en el Perú, que crece hasta aproximadamente 5 m de alto.



Una mata de tuna; Til-Til, Chile

Sus hojas son gruesas y espinosas (pencas), de aspecto elíptico, color verde y con una longitud de 30-50 cm y aproximadamente 5 cm de ancho. Sobre las mismas crece un fruto comestible, periforme, de cáscara blanda cubierta parcialmente por pequeñas espinas muy delgadas (sisos), el cual es muy apreciado.

Una característica del cultivo de la tuna es la necesidad de podar la planta anualmente a fin de asegurar un máximo rendimiento en la producción de sus frutos. Las pencas que se extraen son utilizadas en algunos casos como forraje y en otros son simplemente desechadas, como se ilustra en las fotografías.

A través de información obtenida en una hacienda en Til-Til, Chile, se llegó a la conclusión de que cada mata (4 plantas de tuna) necesita que se le poden aproximadamente 30 pencas/año. Normalmente se plantan 625 matas/Ha y cada penca pesa aproximadamente 2 kg. Por lo tanto, cada hectárea produce 37.000 kg anuales de pencas cortadas y desechadas.

Considerando que el rendimiento del polímero es de 1.825% en base a tuna cruda, tenemos que una hectárea produce



Plantación de tunas; Til-Til, Chile



Acopio de pencas de tuna que han sido desechadas; Til-Til, Chile

694 kg de polímero por año. Esta cantidad es suficiente para abastecer durante un año una planta con capacidad de 43.6 l/seg (1 millón de galones por día) suponiendo una dosis promedio de 0.5 mg/l.

B. COMPOSICION DE LA PENCA DE LA TUNA - TOXICIDAD

Mediante análisis químicos de la penca de la tuna se ha encontrado que su composición básica comprende polisacáridos, proteínas, pequeñas cantidades de alcohol y aldehídos y algunos otros carbohidratos; contiene asimismo de 60 a 95.5% de agua con 11.5% de azúcares, 1.55% de proteínas, 3.12% de pectinas y 0.26% de lípidos (Mella Rojas, 1958).

Su consistencia gomosa se debe, además de los polisacáridos, a la presencia de triterpenos, poliglucósidos, arabinos y galactosa. (Brambilla, 1956; Van Wessem, 1961).

Dado el hecho de que en muchos países la penca de la tuna se usa como forraje del ganado y en otros, como en México, se usa en la preparación de alimentos, su toxicidad parece estar descartada, sobre todo si se tienen en cuenta las pequeñísimas dosis que se utilizarían en el agua potable.

C. METODOS DE EXTRACCION DEL TUNAFLOC

Para extraer los polímeros activos de la penca de la tuna a fin de usarlos como ayudantes de floculación, se desarrollaron los métodos siguientes:

1. Primer método (tunafloc A)

- a. Se eliminaron las espinas y cáscaras de las pencas seleccionadas, frotándolas con una esponja gruesa y pelándolas con un cuchillo. Se picaron luego en cubos de más o menos 1 cm por lado.
- b. Se pesaron 2 kg de este material y se pusieron a secar en la estufa a 40-45°C de temperatura, durante 24 h. El peso se redujo a 0.12 kg.
- c. Este residuo seco se molió y cribó en malla #20, para separar el material fibroso. El polvo resultante se colocó en un extractor de Soxhlet (ver figura 13) a fin de eliminar los compuestos solubles en alcohol, como la clorofila y otros colorantes. La extracción se efectuó hasta que el solvente no mostrara coloración al contacto con la muestra. En el cartucho de Soxhlet quedó un material granular, de partículas gruesas, del

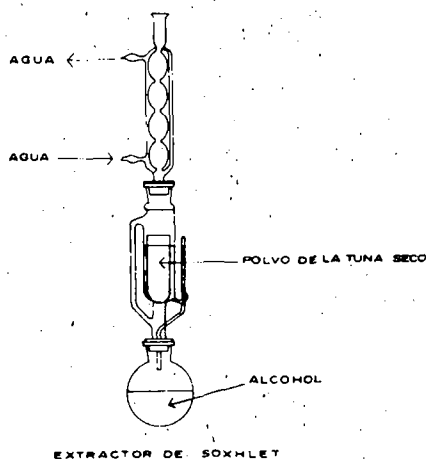


FIGURA 13 DISEÑO DEL EXTRACTOR SOXHLET USADO EN LA PREPARACION DE TUNAFLOC A

cual se separaron las partes fibrosas con un tamiz grueso y luego se le molió hasta obtener un polvo blanco.

d. Con este polvo se preparó una solución de 2.5% con agua destilada, la que, luego de homogeneizarla, se filtró a través de seda para retener las partículas gruesas. Para el uso de este producto en una planta de tratamiento de agua, posiblemente podría realizarse esta etapa de disolución, filtración y aplicación del polímero directamente, eliminando los pasos *e* y *f* siguientes que sirven para la refinación del producto.

e. A la solución filtrada se le agregó alcohol etílico hasta producir un precipitado blanco.

f. Se obtuvo así un residuo gomoso que fue secado en la estufa a 40°C durante 5 h para deshidratarlo y obtener un material amorfo. Al molerlo se obtuvo un polvo fino al que se le llamó tunafloc A, que es soluble en agua e insoluble en alcohol, éter y otros solventes orgánicos.

La solución de 0.1% tiene un pH \approx 5.5 y es estable, pues no se ha descompuesto ni ha perdido sus propiedades floculantes después de un almacenamiento de seis meses. Se ignora el efecto de un almacenamiento más prolongado.

El rendimiento del tunafloc fue de 1.825% de la tuna cruda y el 15.2% de la tuna seca.

2. Segundo método (tunafloc B)

Teniendo en cuenta las características similares de los polisacáridos de la tuna y de las algas pardas marinas, se ensayó un método de extracción parecido al descrito en el punto *IV C*.

a. Se agregó cloruro de calcio al 0.5% a 100 g de muestra hasta cubrirla completamente y se calentó el conjunto a 45°C durante 10 min.

b. Se agregó luego cloruro de sodio al 0.5% y se calentó durante 10 min a 60°C.

c. Las muestras así lavadas se pasaron a una solución de carbonato de sodio al 10% a 70°C y luego se dejaron macerar durante 24 h.

d. La solución obtenida se filtró con una tela de malla gruesa y el residuo sólido se volvió a digerir con más Na_2CO_3 al 2% por 10 min para extraer lo que hubiese quedado retenido. Esta solución también se filtró y se mezcló con la preparada previamente.

e. Para decolorar la solución se agregó hipoclorito de sodio en proporción 1:100 en volumen.

f. La precipitación de los polímeros se hizo con ácido clorhídrico (HCl) al 5% en volumen hasta obtener un pH \approx 2. Se produjo un flóculo pequeño que para separarlo se filtró en una malla fina.

g. Esta masa se colocó en agua destilada y se agregó carbonato de sodio al 2% para subir el pH por encima de 6, y para disolver el material, el que nuevamente se precipitó en alcohol etílico.

h. El precipitado sedimentado se filtró y desecó en la estufa a 40°C durante 24 h, y se obtuvo un polvo color crema. El rendimiento en peso de tunafloc B fue de 0.18% de tuna cruda y 3% de tuna seca.

D. USO DEL TUNAFLOC COMO AYUDANTE DE FLOCULACION

Se efectuaron una serie de ensayos con los polímeros extraídos en las formas descritas, y se obtuvieron excelentes resultados, tanto para el agua de turbiedad artificial (ver figura 14) como para el agua de turbiedad natural (ver figura 15).

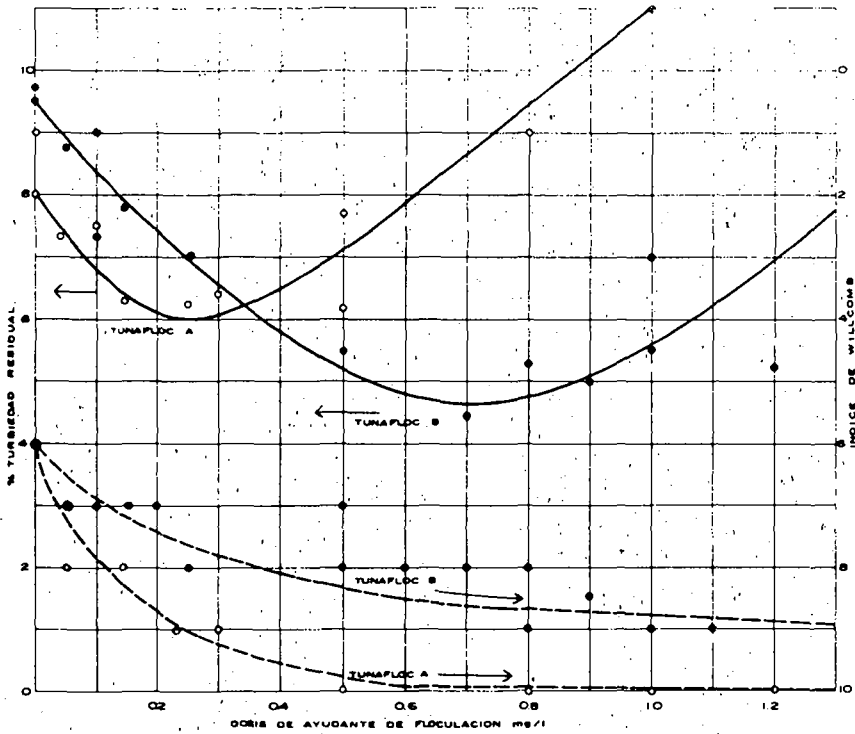


FIGURA 14 DOSIS OPTIMA DE TUNAFLOC CON AGUA DE TURBIEDAD ARTIFICIAL DE 50 UN (COAGULANTE: $Al_2(SO_4)_3 \cdot 18H_2O$, 15 mg/l; TEMPERATURA 21° C)

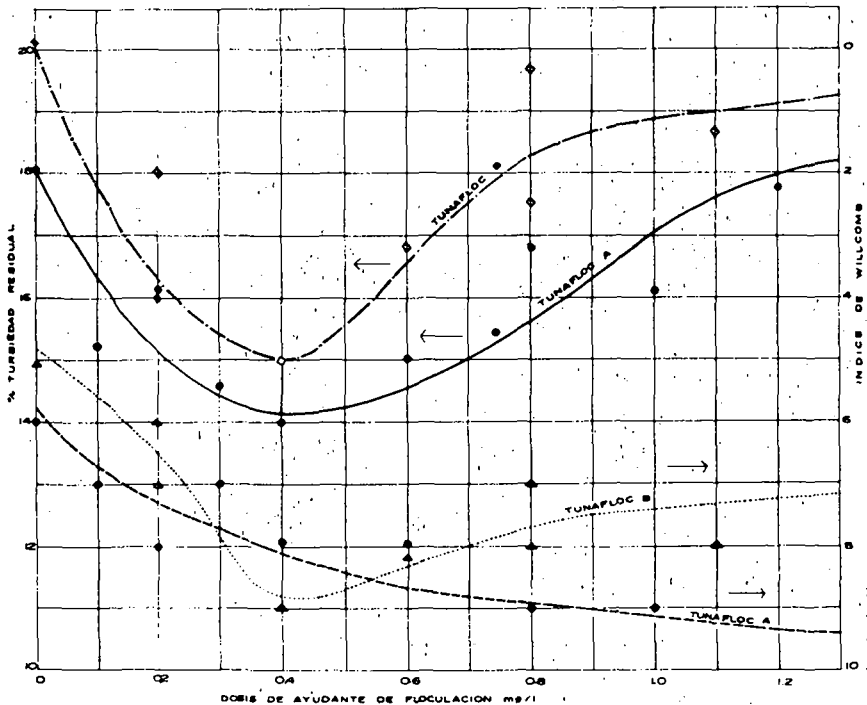


FIGURA 15 DOSIS OPTIMA DE TUNAFLOC CON AGUA DEL RIO RIMAC DE 28 UN (COAGULANTE: $Al_2(SO_4)_3 \cdot 18H_2O$, 5 mg/l; TEMPERATURA 21° C)

Tanto el tunafloc A como el B son buenos ayudantes de floculación. Sin embargo, al tratar el agua de turbiedad artificial, el tunafloc A es más efectivo en una dosis baja (≈ 0.25 mg/l) y el tunafloc B es más efectivo en una dosis mayor (≈ 0.6 mg/l). Al tratar agua de turbiedad natural, en cambio, la dosis óptima es muy parecida (≈ 0.4 mg/l). Estos resultados, conjuntamente con el mayor rendimiento del tunafloc A al compararlo con el del tunafloc B (15.2% vs. 3%), sugieren que el método de producción del primer polímero es más favorable para su uso en plantas de tratamiento de agua.



10. Prueba efectuada con tunafloc

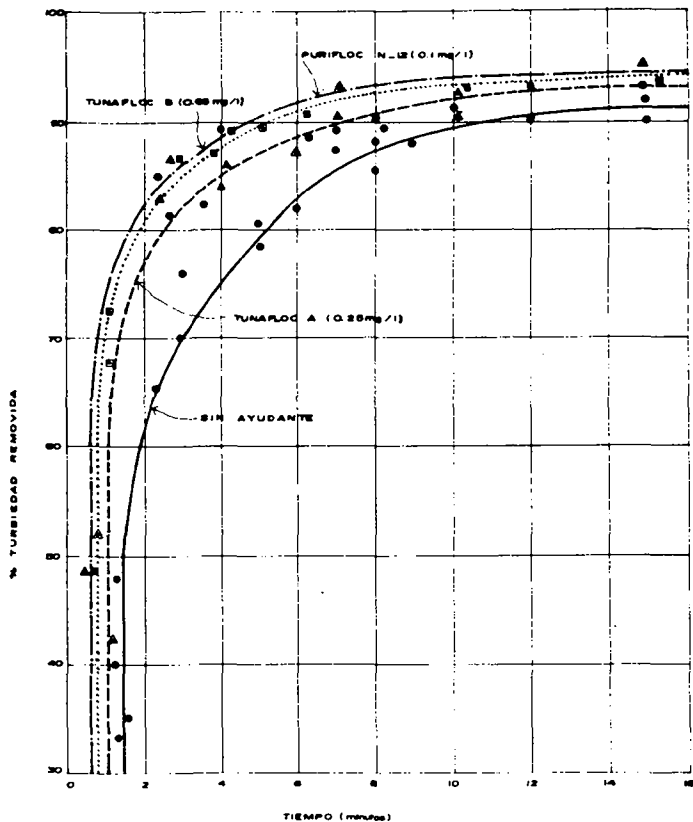


FIGURA 16 VELOCIDADES DE SEDIMENTACIÓN - EFICACIA COMPARADA DE LOS TUNAFLOCS (COAGULANTE: $Al_2(SO_4)_3 \cdot 18H_2O$, 15 mg/l; AGUA DE TURBIEDAD ARTIFICIAL DE 50 UN, TEMPERATURA 22° C)

Los resultados comparativos de la velocidad de sedimentación de los flocs formados con las dosis óptimas de los ayudantes de floculación para ambas calidades de agua ya mencionadas (ver figuras 16 y 17) demuestran que no solamente la turbiedad final mejora con el uso de los polímeros tunafloc A y B, en comparación con la no utilización de

polímeros, sino que también mejora la velocidad de remoción de la turbiedad y la calidad del floc formado. Además, con estos polímeros naturales se obtuvieron resultados tan favorables como los obtenidos con los polímeros sintéticos Purifloc N-12 y Magnafloc LT-24 al tratar el agua de turbiedad artificial y del río Rímac, respectivamente.

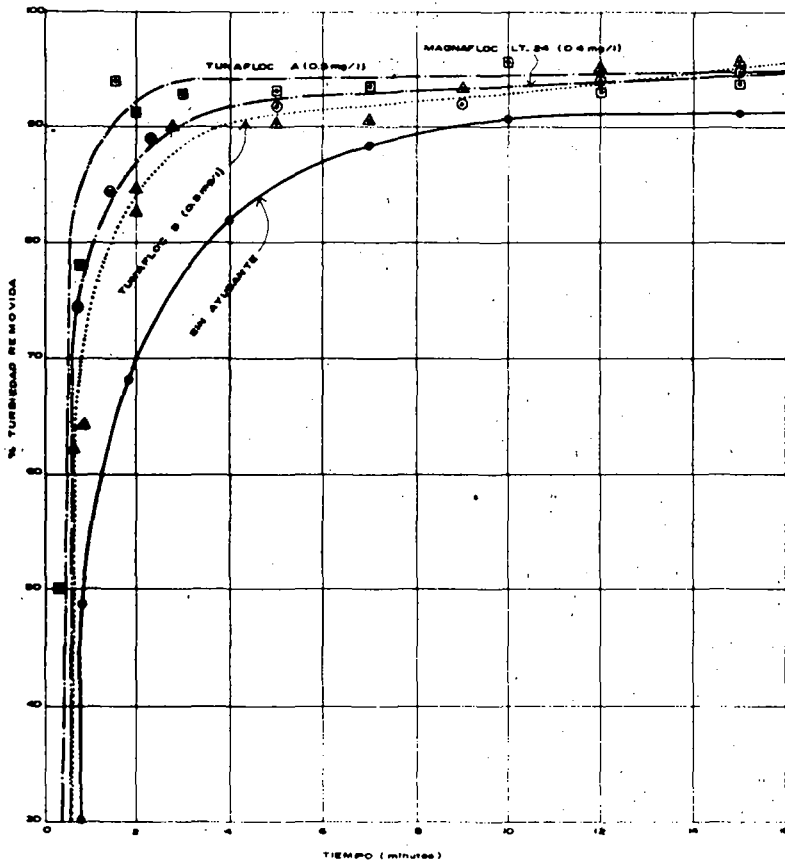
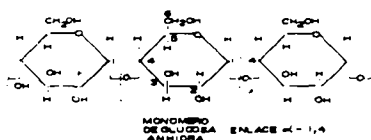


FIGURA 17 VELOCIDADES DE SEDIMENTACION - EFICACIA COMPARADA DE LOS TUNAFLOCS (COAGULANTE: $Al_2(SO_4)_3 \cdot 18H_2O$, 5 mg/l; AGUA DEL RIO RIMAC DE 28 UN; TEMPERATURA 22° C)

VI. EXPERIMENTOS CON ALMIDONES

A. COMPOSICION DE LOS ALMIDONES

El almidón $(C_6H_{10}O_5)_x$ se forma en los cloroplastos de las plantas verdes por influencia de la luz solar, a expensas de CO_2 y H_2O , y está formado por una mezcla molecular de polímeros de glucosa anhidra, unidos al anillo en 1,4 y 1,6. Básicamente, consta de dos fracciones: la amilopectina, que es menos soluble en agua y contiene ésteres de ácido fosfórico, y la amilasa, que es más soluble, no contiene fósforo y no produce engrudo. En los polímeros lineales de amilasa las unidades de anhidroglucosa están ligadas por la configuración alfa a través de las posiciones 1,4.



(a) AMILOSA

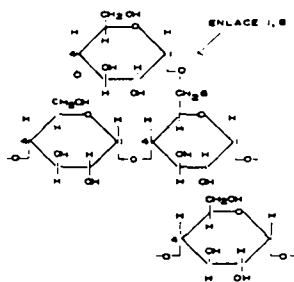


FIGURA 18 ESTRUCTURAS DE SEGMENTOS DE (a) AMILOSA Y (b) AMILOPECTINA

Los polímeros complejos de amilopectina difieren de la amilasa (ver figura 18) en que, además de uniones 1,4, tienen uniones 1,6 cada 26 o más unidades de glucosa. Las uniones 1,6 representan cerca del 5% de todas las uniones de los polímeros.

La diferencia entre amilasa y amilopectina se muestra esquemáticamente en la figura 19.

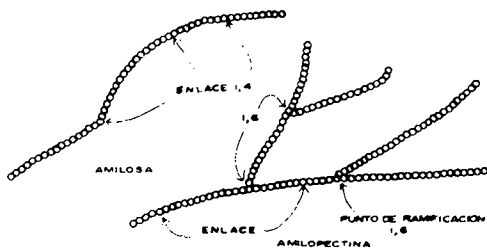


FIGURA 19 DIFERENCIA ESQUEMATICA ENTRE LA AMILOSA Y LA AMILOPECTINA

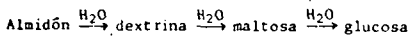
Los almidones pueden obtenerse de una variedad grande de productos vegetales como la papa, el maíz, la yuca y el trigo, y su composición varía según el caso. El almidón de la papa, por

ejemplo, está compuesto de 80% amilopectina y 20% amilasa. La amilopectina del almidón de papa contiene pequeñas cantidades de fósforo, presente en la forma de sal del grupo éster del ácido fosfórico, $-OP(O)(OH)_2$, que está localizado en el grupo hidróxido en la posición 6. La carga negativa del grupo ester de los fosfatos le imparte un carácter de polielectrolito (Vogh *et al.*, 1969).

En agua caliente, los almidones se separan en sus dos fracciones principales: la soluble (10-20%) que es amilasa y la insoluble (80-90%) que es amilopectina. El peso molecular de la amilasa es del orden de 10,000 a 50,000 (60 a 300 unidades de glucosa). El de la amilopectina es del orden de 50,000 a 1'000,000 (300 a 6000 unidades de glucosa), pero la longitud de la cadena varía solamente de 24 a 30 unidades de glucosa.

Los granos de almidón se hinchan en presencia de agua caliente y forman una masa gelatinosa llamada engrudo. La

temperatura de formación de engrudos varía, según el caso, entre 55 y 80°C. Se puede obtener hidrólisis parcial de los almidones calentándolos a 200-250°C para transformarlos en dextrinas. Estas son polisacáridos de menor peso molecular que los almidones. La posterior hidrólisis del almidón produce maltosa y finalmente glucosa, así:



B. ALMIDONES SOLUBLES EN AGUA

La mayor desventaja del uso de almidones en plantas de tratamiento es su insolubilidad en agua fría. Si se le mezcla con esta se obtiene una "lechada de almidón" que sedimenta en corto tiempo.

Por otra parte, si bien el almidón en polvo puede conservarse por largos períodos sin deterioro apreciable, el engrudo se descompone rápidamente. En consecuencia, por razones prácticas, es necesario utilizar en las plantas de tratamiento almidones pretratados y solubles en agua fría, o solubilizarlos en ella por acción de un compuesto químico.

Existe una gran variedad de métodos y patentes para producir almidones de este tipo. Es, sin embargo, difícil

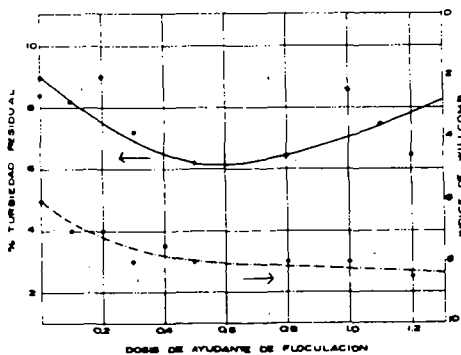


FIGURA 20 DOSIS OPTIMA DE ALMIDON: NaOH (50:50) AGUA DE TURBIEDAD ARTIFICIAL DE 50 UN (COAGULANTE: $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18\text{H}_2\text{O}$, 15 mg/l; TEMPERATURA 21°C; TIEMPO DE MEZCLA LENTA 18 MINUTOS)

producir un almidón completamente soluble, por tostadura o tratándolo con ácidos.

C. USO DE ALMIDONES COMO AYUDANTES DE FLOCULACION

El uso de almidones como ayudantes de floculación es conocido. Comercialmente se expenden polielectrolitos, como el Wisprofloc, que no son sino almidones modificados.

Un estudio realizado en la planta de ablandamiento de Miami demostró que su uso producía un precipitado mejor y de más fácil manejo que el que se lograba en los decantadores con la sola adición de cal y soda (Vogh *et al.*, 1969).

En el laboratorio del CEPIS no hemos preparado aún un producto con el que se obtengan resultados plenamente satisfactorios. Hemos tratado de obtener almidones solubles usando métodos conocidos y tradicionales, pero cuyo efecto como ayudantes de floculación es nulo, neutralizando muchas veces el efecto del coagulante primario. En estos estudios se usaron almidones de maíz y yuca.

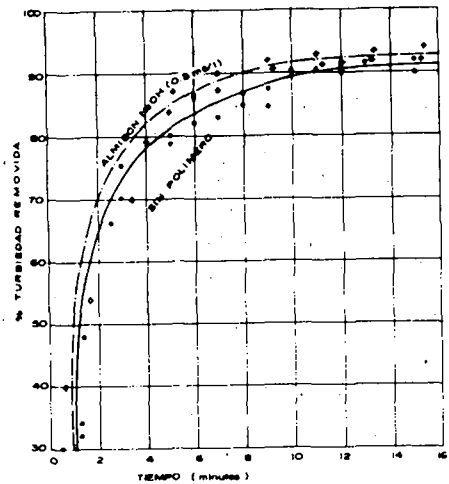


FIGURA 21 VELOCIDADES DE SEDIMENTACION - EFICACIA COMPARADA DE ALMIDON: NaOH CON COAGULANTE SOLO (COAGULANTE: $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18\text{H}_2\text{O}$, 15 mg/l; AGUA DE TURBIEDAD ARTIFICIAL DE 50 UN; TEMPERATURA 21°C)

Usando una mezcla de almidón con 8% de NaOH, y luego moliéndola y mezclándola hasta lograr su homogeneidad, se obtiene, por acción del álcali, un compuesto soluble en agua que actúa con mediana eficiencia como ayudante de floculación, con una dosis de 0.6 mg/l.

Se logra también una ligera mejoría en la velocidad de sedimentación (ver figuras 20 y 21).

Deberán realizarse más estudios en este campo, pues dado el bajo precio del almidón comercial, se podrían producir polímeros de bajo costo.

VII. OTROS POSIBLES AYUDANTES NATURALES DE FLOCULACION

Los polímeros estudiados en este trabajo no son sino una muestra de las muchas posibilidades que existen. En ensayos adicionales se hicieron pruebas con gelatina común, gelatina y tuna (50:50), goma arábiga, goma de tragacanto y caragene, para compararlos con

polielectrolitos sintéticos como el Purifloc N-12 y Magnafloc ML-24 en el tratamiento de agua de turbiedad artificial. Se pudo observar que, en algunos casos, se consiguen resultados satisfactorios con estos productos, como lo muestra la figura 22.

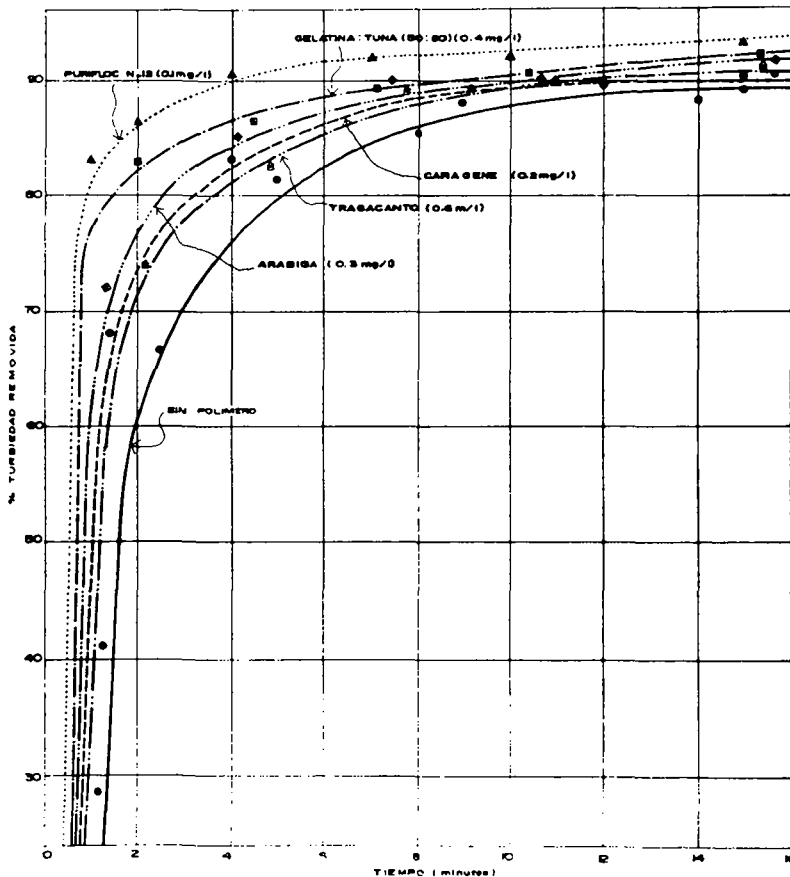


FIGURA 22 VELOCIDADES DE SEDIMENTACION - EFICACIA COMPARADA DE VARIOS POLIMEROS (COAGULANTE: $Al_2(SO_4)_3 \cdot 18H_2O$, 15 mg/l; AGUA DE TURBIEDAD ARTIFICIAL DE 50 UN; TEMPERATURA 22° C)

VIII. CONCLUSIONES

1. En muchos casos, es factible reemplazar los polímeros sintéticos por productos elaborados en base a materia prima procedente de América Latina.
2. Los resultados obtenidos con el alginato de sodio derivado de las algas pardas *Macrocystis* y *Lessonia* mostraron excelentes cualidades como ayudantes de floculación.
3. El derivado del alga *Lessonia* dio mejores resultados en cuanto a la remoción del floc; sin embargo, la dosis óptima del derivado del alga *Macrocystis* fue menor.
4. Por presentar el litoral de varios países sudamericanos lugares propicios para el desarrollo de estas algas, sería conveniente fomentar su estudio e industrialización, ya que la obtención de alginato de sodio para el tratamiento de agua es solo una de las múltiples aplicaciones que se le pueden dar a este producto.
5. Los tunaflocs A y B muestran propiedades floculantes igualmente efectivas que las de algunos polímeros sintéticos.
6. La producción y eficiencia del tunafloc A resultaron mejores que las del B, debido a un mayor rendimiento de la materia prima, y a una mayor efectividad como ayudante de floculación.
7. El tunafloc A merece atenta consideración, dado que la materia prima puede obtenerse fácilmente, y a bajo costo, en lugares donde se cultiva la tuna con fines alimenticios o de otra índole.
8. Convendría la preparación y utilización del tunafloc A en mayor escala, a nivel de una planta piloto.
9. Es conveniente continuar los estudios sobre la producción de polímeros a base de almidón y otras materias naturales.

BIBLIOGRAFIA

1. BAZAN, Dora M. Algas pardas de valor comercial. Lima, Universidad Nacional Mayor de San Marcos, 1973.
2. BLACK, A.P.; BIRKNER, F.B. & MORGAN, J.J. Destabilization of dilute clay suspensions with labelled polymers. J. AWWA, 57(12):1547-1560, Dec. 1965.
3. BRAMBILLA, G. Skin action of cactaceus plant juices (*I Opuntia ficus indica*). Inst. Ricerche Deriv. Vegetalli, Milán. Rev. Ital. Essenze, Profumi, Plante. Offic. de Vegetalli Saponi, 38: 552-554, 1956.
4. BULUSU, K.R. & PATHAK, B.N. Seeds of Red Sorella; a new coagulant-boon to villages. Indian J. Environ. Health, 16(1):63-67, Jan. 1974.
5. BULUSU, K.R. & SHARMA, V.P. Pilot plant studies on the use of Nirmali Seed as a coagulant aid. Indian J. Environ. Health, 7:165, 1965.
6. CHAPMAN, V.J. Algin and alginates. The algae and their uses, Londres, 1964.
7. COAGULANT aids for water treatment - EPA report. J. AWWA, 65(10): 663-664, Oct. 1973.
8. FISCHER, F.G. & DORFEL, H. Z. Physiol. Chem., 302:186, 1955.
9. GADE, Daniel W. Red dye from Peruvian bugs. Peruvian Times, 8-9, Jan 12, 1973.
10. GROSS, Andrew C. Markets for chemicals grow and grow. Environ. Science & Technol., 8(5):414-418, May 1974.
11. HALL, R.I. A works evaluation of sodium alginate as a coagulant aid. Proc. Soc. Water Treat. Exam., 13:114-133, 1964.
12. HARRIS, Howard S. & KAUFMAN, Warren. Orthokinetic flocculation in polydispersed systems. Berkeley, University of California, Sanitary Research Laboratory, 1966. 131 p.
13. HAUG, A. Composition and properties of alginates. Norwegian Institute of Seaweed Research, 1964. Report 30.
14. KELCO COMPANY. Kelco Algin/Hydrophilic derivatives of alginic acid for scientific water control, San Diego, 1973(?).
15. KRAFTING, A. Norweg Patent 5028. 1896.

16. LA MER, Victor K. & HEALY, Thomas W. Adsorption-flocculation reactions of macromolecules at the solid-liquid interface. Rev. Pure and Appl. Chem., 13:112-132, 1963.
17. LO SASSO, Ronald A. Handling, storing, application, and purchase of water soluble polyelectrolytes. A paper presented at the AWWA Symposium on Polyelectrolyte Aids to Better Water Quality, Chicago, Ill., June 1972.
18. MELLA ROJAS, María Angélica. Bromatological study of tunas (*Opuntia ficus indica*) and pears (*Pyrus communis*). Anales Fac. Quím. Farm. Univ. de Chile, 10:94-98, 1958.
19. MORROW, J.J. & RAUSCH, E.G. Colloid destabilization with cationic polyelectrolytes as affected by velocity gradients. J. AWWA, 66 (11):646-653, Nov. 1974.
20. NELSON, W.L. & CRETCHNER, L.H. J. Am. Chem. Soc., 52:2130, 1930.
21. O'MELIA, Charles R. Coagulation and flocculation. Weber, Walter J., ed. Physicochemical processes for water quality control. New York, Wiley-Interscience, 1972. p. 61-109.
22. ORGANIZACION MUNDIAL DE LA SALUD. International Reference Centre for Community Water Supply. Health aspects relating to the use of polyelectrolytes in water treatment for community water supply. A report of a Consultant Group. The Hague, 1973. 32 p. Technical Paper No. 5.
23. RAO, M.N. & SASTRY, C.A. A study of coagulant aids. The Indian Engr., April 1969, p. 1-8.
24. ROBECK, Gordon G. Hazards vs. public health benefits of polyelectrolytes. A paper presented at the AWWA Symposium on Polyelectrolyte Aids to Better Water Quality, Chicago, Ill., June 1972.
25. SEN, A.K. & BULUSU, K.R. Effectiveness of nirmali seed as coagulant and coagulant aid. Indian J. Environ. Health, 4:233, 1962.
26. TAGER, A. Physical chemistry of polymers. Moscow, MIR Publishers, 1972.
27. VAN WESSEM, G.C.; MYLUIS, G. & HAHN, H.G. Saccharide extraction from cactus. Warner Lamber Pharmaceutical C. Belg., 619, 721, Jan. 3, 1963; U.S. Appl., July 3, 1961. 5 p.
28. VOGH, Richard P.; WARRINGTON, James E. & BLACK, A.P. Potato starch as a sludge conditioner. J. AWWA, 61(6):276-284, June 1969.