

Uso de ayuda-coagulantes para la floculación de algas

Anastasio López Zavala *

RESUMEN

Se efectúan pruebas de laboratorio, usando el método de la prueba de jarra para floculación y el hemacitómetro para conteo de algas, a fin de determinar la óptima dosificación de ayuda-coagulantes, Hagan y Nalco, principalmente. La eficiencia se mide, principalmente, con dos parámetros: turbiedad y contenido de algas.

Los ayuda-coagulantes estudiados se emplean en unión de alúmina, la que tiene una dosificación óptima de 60 ppm. La dosificación de los ayuda-coagulantes va de 1 a 15 ppm para los ayuda Hagan, y de 1 a 5 ppm para los Nalco. Los resultados obtenidos en laboratorio indican que Nalco 600 es más efectivo que Hagan en la remoción de turbiedad y algas. Sin embargo, los resultados no se pueden generalizar, ya que cada tipo de agua requiere un estudio especial.

ABSTRACT

The author performed laboratory runs, using the jar test and the hemacytometer, to determine the optimum dose of coagulant aids, namely Hagan Nos. 7, 11, and 18 and Nalco "600". The efficiency of the floculation process is compared through the measurements of turbidity and algae removals.

The coagulant aids under study, were used along with alum, which keeps an optimum dosage of 60 ppm. The dose of Hagan has a range between 1 and 15 ppm in this study, and that of Nalco "600" is between 1 and 5 ppm. Laboratory runs indicate that Nalco "600" is more effective than Hagan, in turbidity and algae removals. However, these results can not be generalized, since each type of water requires special consideration.

1. INTRODUCCION

En la práctica del tratamiento del agua, la calidad del efluente, desde el punto de vista bacteriológico, puede llegar a ser incuestionable. Como resultado, se ha dado mayor importancia, en años recientes, a la remo-

ción de aquellas características que se hallan en el agua cruda y que no necesariamente constituyen amenaza para la salud pública, aunque pueden causar serios problemas al operador de una planta de agua. Algunas de ellas son: sabor y olor, dureza, algas y todos los nuevos y exóticos compuestos de nuestra industrializada sociedad. Para combatir estos problemas y poder producir agua de mejor calidad partiendo de agua cruda pobre, se ha prestado más atención a los procesos que gobiernan la coagulación.

Se observaba que ciertas aguas coagulaban mejor que otras, sobre todo en determinadas épocas del año. La presencia de sílice en estas aguas dio un indicio sobre la causa del fenómeno. Se encontró que la sílice induce la formación de un grumo grande, denso y duro, que ocasiona la clarificación rápida del agua. Recientemente, la introducción de materiales sintéticos y naturales, llamados polielectrólitos, que actúan como ayuda-coagulantes, producen un grumo grande y rápidamente sedimentable, cuando son usados con los coagulantes químicos estándar.

Para comprender mejor las acciones de los polielectrólitos y encontrar un mecanismo mediante el cual se pudieran usar estos compuestos para remover las algas perjudiciales de las aguas crudas, se efectuó un estudio en el laboratorio de ingeniería sanitaria de la Universidad de Michigan, Ann Arbor, Michigan, bajo la dirección del profesor Jack A. Borchardt (ref 1).

2. TEORIA GENERAL

El término polielectrólito describe gran número de compuestos orgánicos: almidón y sus derivados, compuestos de celulosa, materiales proteicos capaces de servir como ayuda-coagulantes, a los que se puede llamar biocoloides de alto peso molecular, que son polímeros naturales con carga eléctrica o sitios ionizables. Debido a que dichos compuestos tienen las características de los polímeros y los electrólitos, se les denomina polímeros electrólitos o polielectrólitos.

De acuerdo con el signo de la carga eléctrica se pueden obtener tres clases de polielectrólitos: los que están cargados negativamente (aniónicos), los que llevan carga positiva (catiónicos), y los llamados poli-amfolitos, con ambas cargas, como las proteínas y algunos polipéptidos.

* Profesor investigador, Facultad de Ingeniería, UNAM

Varios investigadores han estudiado el uso de estos compuestos, llegando a la conclusión de que su acción es espectacular; en otras ocasiones previenen o detienen una buena formación de grumos. Otra característica notable es la pequeña cantidad que se necesita para producir estos resultados. Cohen (ref 2) encontró que las algas se pueden remover eficientemente con polielectrólitos catiónicos cuando se usan simultáneamente con un coagulante común metálico; que cuando se emplean solos, aparentemente trabajan como coagulantes y no son igualmente efectivos en todas las aguas; asimismo, que el máximo beneficio derivado de un ayuda-coagulante se encuentra comprendido dentro de un intervalo de concentración sumamente reducido y que el punto y tiempo de adición son muy críticos y se deben determinar para cada tipo de agua.

Black (ref 3), en sus investigaciones en Florida, estudió 17 polielectrólitos, y sus conclusiones fueron muy parecidas a las de Cohen; además, comparó la efectividad de varios polielectrólitos. Observó que algunos producían grandes flóculos, y otros, flóculos densos y bien definidos; pocos dieron pequeños grumos muy finos, y dos de ellos inhibieron o detuvieron completamente la formación del flóculo.

Borchardt (ref 4) ha resumido los mecanismos básicos mediante los cuales los ayuda-coagulantes inducen la precipitación mutua. Afirma que las impurezas por remover son básicamente coloides con carga negativa, la cual es importante porque estabiliza el estado coloidal y debe ser neutralizada antes de la remoción de la impureza. El primer paso en el proceso de neutralización se produce por adición de exceso de electrólito que se ioniza para formar un catión de carga opuesta a la de la impureza coloidal. El catión del electrólito tiende a emigrar a la superficie de la impureza coloidal, resultando la neutralización de la carga eléctrica. El segundo paso en la neutralización se presenta cuando el exceso de electrólito catiónico reacciona con la alcalinidad para precipitar y formar coloides cargados positivamente, que neutralizan la impureza coloidal sobrante por medio de atracción mutua. En el tercer paso, este exceso de coloides cargados positivamente son neutralizados por el ion-sulfato cargado negativamente, resultando la coagulación y posteriormente la precipitación.

Se observa entonces que los ayuda-coagulantes catiónicos intervienen en el primer paso de neutralización proporcionando el exceso de iones positivos para intervención en la aglomeración de las impurezas cargadas negativamente. El ayuda-coagulante aniónico proporciona exceso de iones negativos en el tercer paso de la neutralización, lo que complementa la acción de los iones sulfato.

Riddick (ref 5) describe el fenómeno de la coagulación relacionándolo con el potencial zeta, que se defi-

ne como una medida de la carga electrocinética que rodea a las partículas en suspensión. Por consiguiente, el potencial zeta está relacionado con la fuerza y la distancia en que las partículas cargadas se repelen entre sí y evitan la coagulación.

Rodeando la capa de partículas cargadas, se encuentra una capa difusa de contraiones. Cuando un líquido que contiene estas partículas cargadas es colocado en un campo eléctrico, las partículas negativas son atraídas al electrodo positivo, y los contraiones, al negativo. Esta atracción aumenta con la carga en la partícula. La fricción entre la partícula y el líquido que la rodea, y que contiene la capa difusa, disminuye el movimiento hacia el electrodo. A mayor capa difusa, menor resistencia. Por tanto, la velocidad de la partícula en un campo dado aumenta con un incremento en la densidad y el tamaño de la capa difusa y, por consiguiente, es una medida del potencial zeta. Este fenómeno se llama electrofóresis y se usa para controlar la coagulación en las plantas de agua por medio de lecturas del potencial zeta, aplicando suficiente coagulante para reducir la carga a cero.

Riddick afirma que si la carga en los coloides (potencial zeta) se reduce a cero, se eliminan las fuerzas repulsivas que se oponen a la coagulación. Una agitación mecánica suave creará numerosas colisiones entre partículas, en vez de fallas, y las fuerzas de adhesión, cohesión y aprisionamiento mecánico redundarán en aglomeración.

Durante un tiempo, se supuso que las algas llevan una carga negativa muy parecida a los coloides y que su remoción de las aguas requiere la neutralización de dicha carga. Se pensó, pero no se comprobó, que las algas reaccionaban en la misma forma que las otras impurezas encontradas en el agua. En 1958, Ives teorizaba que los mecanismos básicos en la remoción de las algas eran principalmente de atracción mutua y neutralización de carga. Las algas atraen los precipitados de hidroxilo y forman un grumo alrededor de las mismas a medida que aumenta la floculación. Así mismo, la formación del flóculo se efectuaba más rápidamente en presencia de algas que en agua clara. Por medio de la técnica de electrofóresis en microscopio, reafirmó sus teorías y demostró que las algas llevan una carga negativa y actúan de igual manera que los coloides en la coagulación del agua.

Para ampliar el conocimiento del campo de la coagulación y floculación y reafirmar algunas teorías antiguas, se estudió la práctica del uso de ayuda-coagulantes en la remoción del alga plantónica, lo que se había conseguido solo con aluminio.

3. PROCEDIMIENTO

En la realización de este estudio se empleó esencialmente el aparato de la prueba de jarra. Se usó como

fuerza de agua cruda el río Hurón; el agua fue muestreada a unos 150 m aguas abajo del puente que une la calle Fulmer. En el punto de muestreo, el río tiene anchura media de 5 m, y en lo que comprendió al periodo de muestreo, tuvo una descarga estimada de 14.2 a 5.7 m³/seg. Para obtener agua a temperatura constante, la que se iba a probar se recogió y depositó en el laboratorio durante 24 h, antes de iniciar los análisis respectivos.

El procedimiento de laboratorio se dividió en tres partes:

1) descripción de la prueba de la jarra; 2) análisis efectuados en el agua cruda y tratada; 3) métodos empleados para enumerar la concentración de algas.

PARTE I. Descripción de la prueba de la jarra

1) Se pusieron 2 lt de agua del río en cada una de las 6 jarras.

2) Se colocó en su totalidad el aparato de la prueba de la jarra.

3) Se agregaron 28.6 ml de un cultivo que contenía 7 000 000 de *Clorella* por mililitro a cada jarra. Esto hizo que la concentración de *Clorella* por mililitro en cada jarra, resultara de 100 000.

4) Cantidades prefijadas de alúmina y/o de ayuda-coagulante por ensayar, se agregaron a cada una de las jarras (véanse tablas 1 a 27 del Apéndice, para las cantidades que se agregaron).

5) El contenido en las jarras se mezcló a 80 rpm durante 30 seg, y después a 10 rpm durante 30 min.

6) Al terminar, se detuvieron las paletas mezcladoras y se permitió el asentamiento durante 30 min.

7) Se obtuvieron muestras de cada jarra para análisis final.

Los tiempos de mezclado y reposo o asentamiento se basaron en las operaciones normales en una planta de agua. La mayoría de las pruebas se efectuaron usando Nalco 600, distribuido comercialmente por *The Aluminate Company*, como ayuda-coagulante. Se usaron otros ayuda-coagulantes en menor grado para efectos de comparación: Separan (*Dow Chemical Company*) y ayuda-coagulantes Nos 7, 11 y 18 manufacturados por *The Hagan Chemical Company*; alúmina Al₂(SO₄)₃ fue el único coagulante usado. Para desplazar el punto isoeléctrico se emplearon: una solución 2N de hidróxido de sodio, una 0.219N de ácido sulfúrico, y cal. La única alga utilizada fue *Clorella*.

PARTE II. Análisis efectuados en el agua cruda y tratada

Para medir la habilidad de floculación de la alúmina y

de los ayuda-coagulantes se emplearon el turbidímetro de Hellige para la turbiedad y el hemacitómetro para concentraciones de alga.

Las medidas de turbiedad se tomaron tanto del agua cruda como de la tratada. Fue posible variar la aproximación del turbidímetro usando varias combinaciones de los tubos de cristal, focos de luz y filtros. Sin embargo, debido a las relativamente bajas concentraciones de turbiedad, fue necesario emplear la combinación más refinada, o sea el tubo con longitud de 50 mm, el filtro ligero y el foco "A".

Además, se tomaron lecturas de pH, alcalinidad y temperatura, tanto del agua cruda como de la tratada.

PARTE III. Métodos usados para enumerar concentraciones de algas

Ya que la concentración de *Clorella* agregada a las muestras era constante y se pudo controlar, solo fue necesario medir la concentración de algas en el agua tratada. Para asegurarse que la solución madre de *Clorella* tenía densidad constante, se efectuaron lecturas periódicas en el cultivo.

Se emplearon los siguientes métodos para determinar la concentración de algas en el agua tratada:

1. Hemacitómetro

Se colocó una gota de la muestra en un hemacitómetro y se hicieron conteos de alga en el microscopio, usando el objetivo alto-seco.

2. Centrifugación

Se centrifugaron 100 ml del agua tratada a 3 000 rpm durante 30 min. El sobrenadante se vació y/o se sifoneó. Una porción del concentrado resultante se removió y se hicieron conteos de alga empleando el hemacitómetro.

3. Contador Coulter

Este método se empleó intermitentemente, pero debido a ciertas fallas, no se obtuvieron aceptables conclusiones.

4. Peso seco

Se secó un filtro milipore a 103° C durante una hora. Se pesó y se filtraron 100 ml de la muestra a través del mismo. Después se secó el filtro a 103° C, durante 24 h. Se pesó nuevamente y por simple resta se determinó el peso de las algas.

Además, para determinar sus efectos, se filtraron 200 ml de la muestra ya tratada a través de 25 cm de fibra de vidrio colocados uniformemente en un embudo largo. Se determinaron concentraciones de algas, antes y después de la filtración.

El mayor problema en la experimentación fue la concentración de la muestra para obtener una densidad de alga representativa. El método de "peso seco" dio resultados anormales, ya que no se pudo obtener una distribución uniforme del alga sobre el filtro. Debido a esto, no se pudo diferenciar entre algas y detritus cuando el filtro se observó al microscopio. El uso de la centrifugadora resultó mejor método de concentración, pero no se lograron buenas correlaciones entre los resultados obtenidos usando la muestra cruda y la muestra ya tratada.

Los resultados que se obtuvieron usando la "gota" en el hemacitómetro presentaron aceptable correlación. Conteos sucesivos de la muestra con una concentración conocida de alga dieron por resultado concentraciones en más o menos 15 por ciento de la concentración real. Esta aproximación se encuentra dentro de los límites aceptables; por consiguiente, se empleó el hemacitómetro durante este estudio para la enumeración de algas.

4. DISCUSION DE RESULTADOS

Las pruebas de jarra iniciales constituyeron un intento para determinar la dosificación óptima de alúmina que debía emplearse en el agua cruda del río Hurón, con base en el criterio de la remoción de turbiedad y alga. La mejor remoción de turbiedad ocurrió a 60 ppm de alúmina, con menor remoción a concentraciones más bajas y más altas que la indicada (fig 1). A 15 ppm de alúmina la formación del grumo resultó pobre. En la fig 2 se puede observar que la remoción de algas ocurre en cierta forma paralela con la remoción de turbiedad, excepto que a menores concentraciones de alúmina se obtuvieron más altos porcentajes en la remoción de algas.

Una de las pruebas se efectuó empleando cal, además de la alúmina, pero no se observó diferencia significativa en la remoción de turbiedad (fig 2). Esto no es raro, ya que el agua del río Hurón es bastante alcalina.

Ayuda-coagulantes Hagan Nos 7, 11 y 18 se emplearon primero solo para remoción de turbiedad, con la dosis óptima de 60 ppm de alúmina, y posteriormente para evaluar la habilidad de remoción de turbiedad y alga a una dosis marginal de 20 ppm de alúmina. A 60 ppm de alúmina, la mejor remoción de turbiedad ocurrió a la concentración más baja recomendada por la casa manufacturadora de todos los ayuda-Hagan (fig 3). A otras concentraciones del ayuda-Hagan, la remoción de turbiedad no fue muy diferente de aquella en la que se empleó solo alúmina. La tendencia a usar 60 ppm de alúmina no se repitió cuando la concentración de esta se redujo a 20 ppm (fig 4). A esta dosificación, los ayuda-Hagan no tuvieron

efecto en la remoción de turbiedad, y muy poco en la de alga. Según la información obtenida, aparentemente no hay diferencia significativa en la efectividad de los ayuda-Hagan. Las pruebas efectuadas con estos no fueron exhaustivas, así que no se podría generalizar su efectividad.

Se efectuaron pruebas más extensas usando el polielectrólito catiónico Nalco 600. La fig 5 muestra el efecto de varias concentraciones de aluminio y diferentes dosis de Nalco, sobre la remoción de turbiedad y algas. En la mayoría de los casos, una mayor dosis de Nalco dio mejor remoción de la turbiedad y algas, aunque las diferencias son pequeñas y varían poco los resultados que se obtuvieron con solo alúmina (fig 2). La fig 6 muestra este hecho en forma más clara. En la fig 7 se observa que el Nalco 600 a 5 ppm es más efectivo que a 1 ppm en la remoción de turbiedad y de alga, sobre un intervalo de pH de 6.5 a 11.2 y a una concentración de alúmina de 22.5 ppm. Estas curvas muestran el carácter amfotérico del hidróxido de aluminio y la formación del coagulante, aluminato de sodio, a valores altos de pH.

5. CONCLUSIONES

1. La alúmina, usada sola, produjo tan buena remoción de turbiedad y algas, como cuando se usa al mismo tiempo con uno de los ayuda-coagulantes probados.
2. La dosificación óptima de alúmina, empleando agua del río Hurón, fue de 60 ppm. Usando solo alúmina, se obtuvieron remociones de turbiedad del orden de 82 y 85 por ciento para algas.
3. Los ayuda-Hagan Nos 7, 11 y 18 se comportaron en forma parecida. Con ellos se obtuvieron significativas remociones en la turbiedad, a dosis bajas, y con concentración de alúmina de 60 ppm, pero no a concentraciones de alúmina de 20 ppm.
4. El empleo de Nalco 600 en la remoción de la turbiedad y de algas, no se definió claramente. Parece que tiene una ligera ventaja sobre la alúmina sola, que se incrementa a dosis mayores, en contraste con los productos Hagan.
5. En la evaluación de la efectividad de ayuda-coagulantes, hay mucho trabajo por hacer. Existen cantidad de variables en el experimento, y aun para la prueba de un solo ayuda-coagulante se requiere muchísimo tiempo; una vez terminada aquella, la evaluación se aplicará generalmente a determinado tipo de agua y condiciones. En general, el intervalo de efectividad de estos ayuda-coagulantes es reducido, lo que complica las pruebas y su aplicación en una solución práctica.

6. REFERENCIAS

1. A. López Zavala, "The Use of Coagulant Aids for the Flocculation of Algae", Laboratory Research Work Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements for the Degree of Master of Science in Engineering (Sanitary), *University of Michigan*, Ann Arbor (jun 1962)
2. J. M., Cohen, "Natural and Synthetic Polyelectrolytes as Coagulant Aids", *AWWA*, 463 (abr 1958)

3. A. P. Black, "Effectiveness of Polyelectrolyte Coagulant Aids in Turbidity Removal", *AWWA* (ago 1959)
4. J. A. Borchardt, "Recent Development in Coagulant Aids", *AWWA Meeting Traverse City, Michigan* (sep 1960)
5. T. M. Riddick, "Zeta Potential and its Application to Difficult Waters", *Journal AWWA*, Vol 53, No 8 (ago 1961), pp 1007-1030

APENDICE

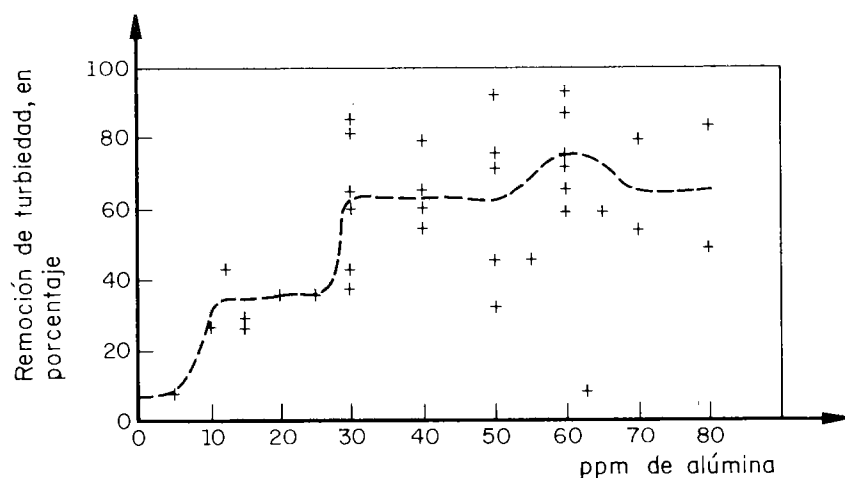


Fig 1

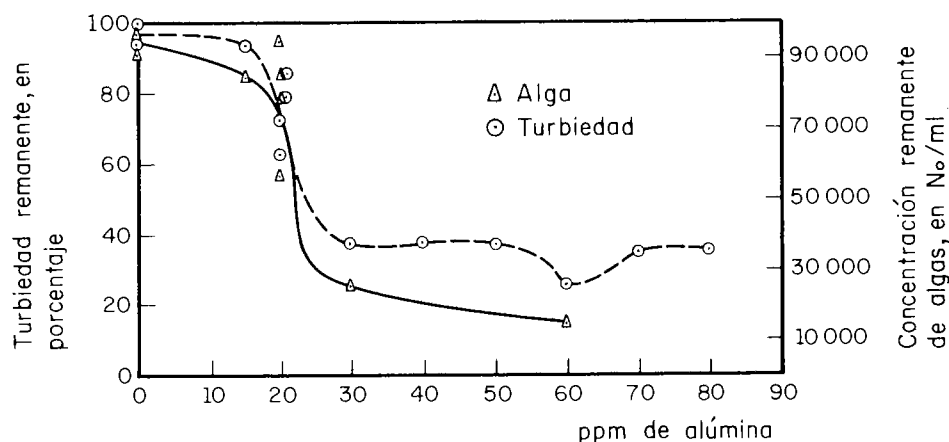


Fig 2

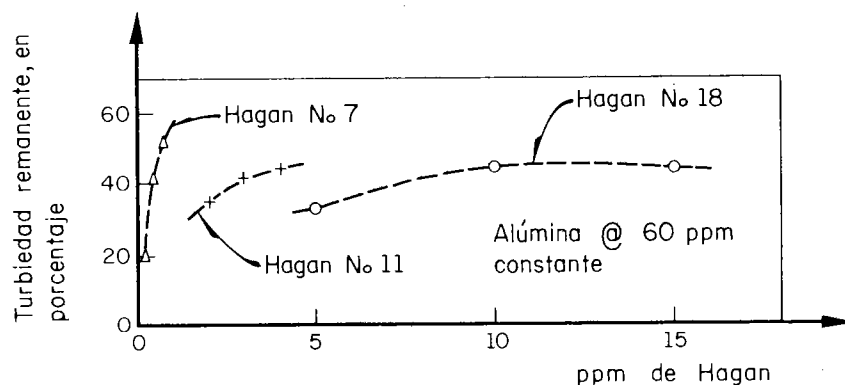


Fig 3

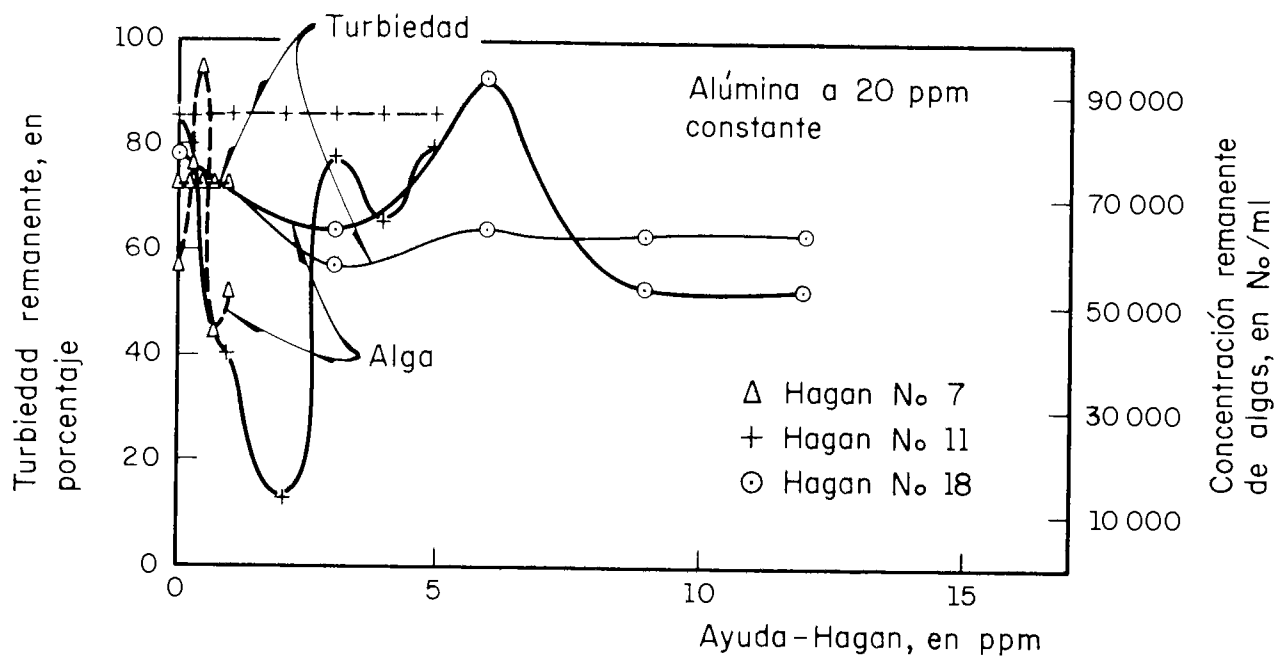


Fig 4

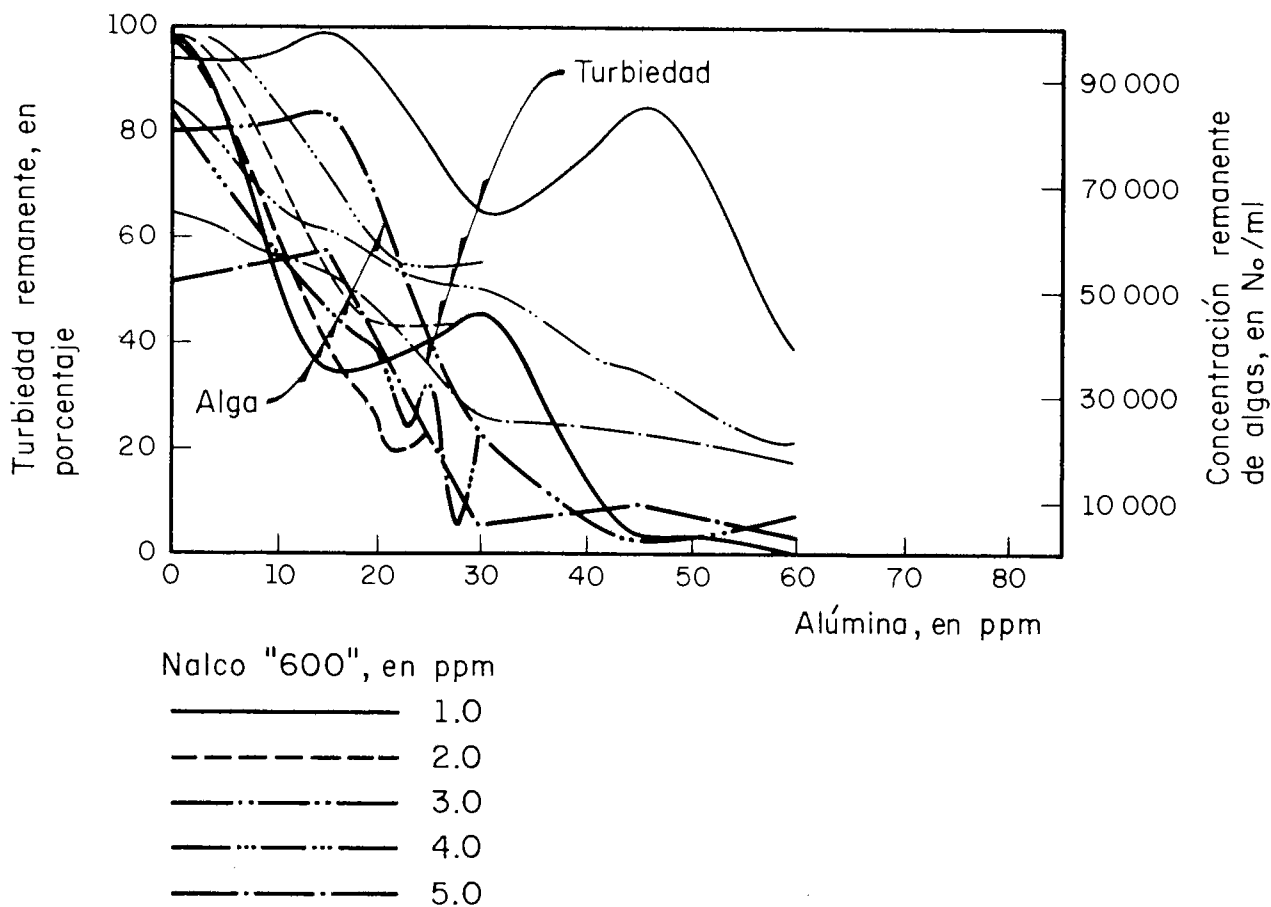


Fig 5

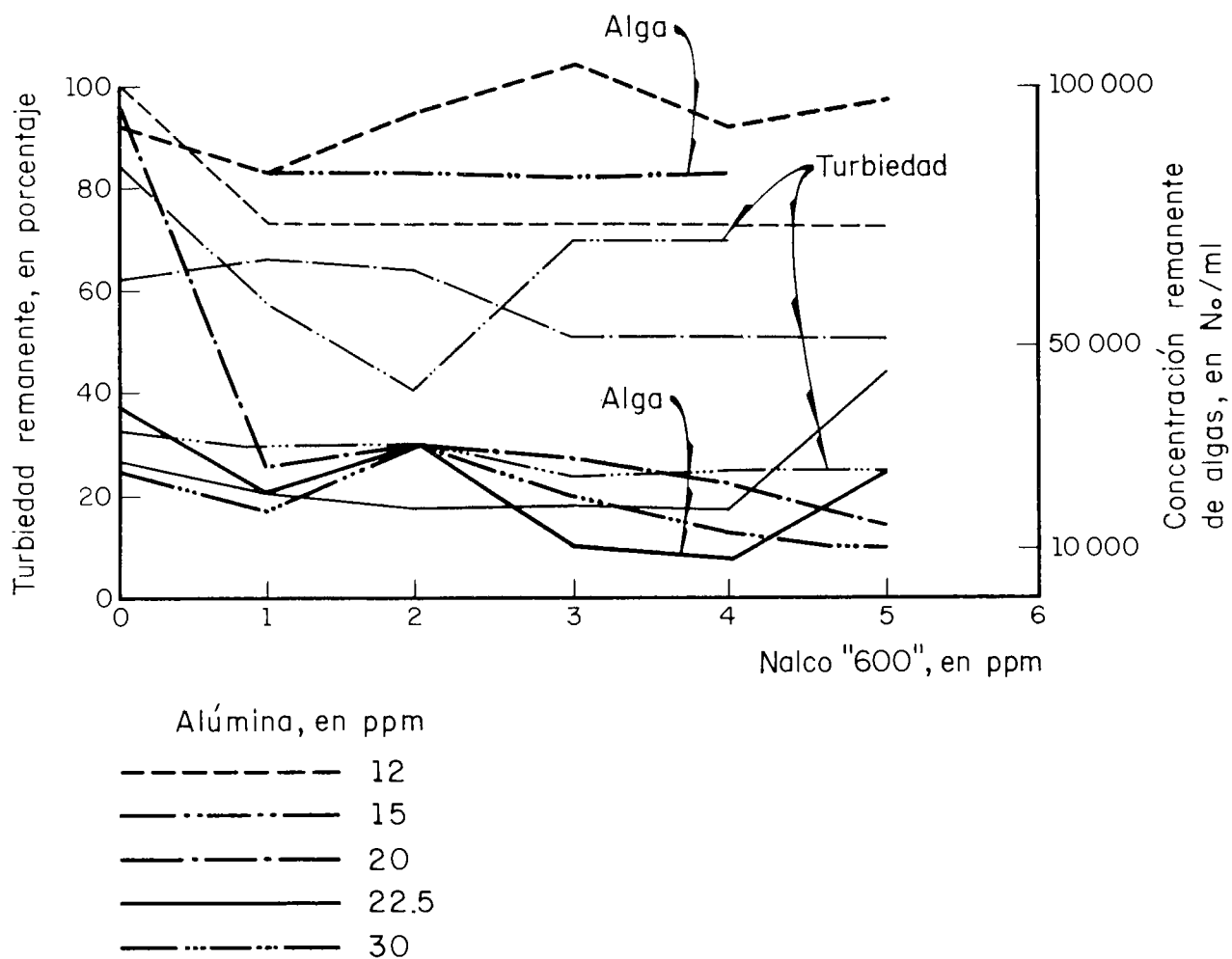


Fig 6

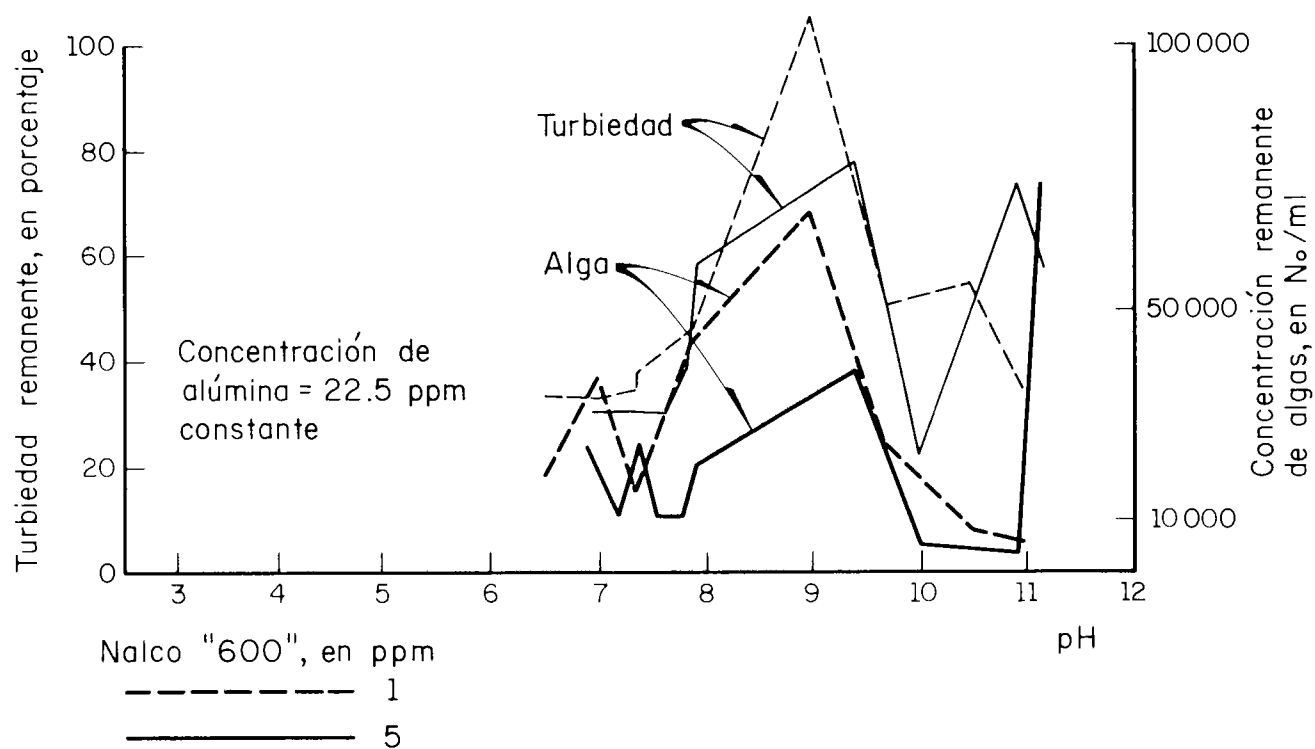


Fig 7

TABLA 1

DATO	JARRA					
	1	2	3	4	5	6
1.- Temperatura, en °C	20	20	20	20	20	20
2.- pH inicial	7.9	7.9	7.9	7.9	7.9	7.9
3.- Alcalinidad inicial, en ppm como C_aCO_3	222	222	222	222	222	222
4.- Turbiedad inicial, en ppm	20	20	20	20	20	20
5.- Alúmina agregada, en ppm	00	30	30	30	30	60
6.- Ayuda coagulante agregada, en ppm (Hagan)	0	0	0.5	3.0	10.0	0
7.- pH final	—	7.4	7.4	7.4	7.4	7.1
8.- Alcalinidad final, en ppm	—	206	204	201	201	186
9.- Turbiedad final, en ppm	—	3	6	3	5	2

TABLA 2

DATO	JARRA					
	1	2	3	4	5	6
1.- Temperatura, en °C	20	20	20	20	20	20
2.- pH inicial	7.9	7.9	7.9	7.9	7.9	7.9
3.- Alcalinidad inicial, en ppm como C_aCO_3	222	222	222	222	222	222
4.- Turbiedad inicial, en ppm	20	20	20	20	20	20
5.- Alúmina agregada, en ppm	30	40	50	60	70	80
6.- Ayuda coagulante agregada, en ppm	0	0	0	0	0	0
7.- pH final	8.0	7.9	7.8	7.7	7.7	7.6
8.- Alcalinidad final, en ppm	213	206	199	195	192	186
9.- Turbiedad final, en ppm	3.8	4.2	5.1	2.7	4.2	3.4
10.- Turbiedad remanente, en porcentaje	19	21	25.5	13.5	21	17

TABLA 3

DATO	JARRA					
	1	2	3	4	5	6
1.- Temperatura, en °C	20	20	20	20	20	20
2.- pH inicial	7.3	7.3	7.3	7.3	7.3	7.3
3.- Alcalinidad inicial, en ppm como C_aCO_3	220	220	220	220	220	220
4.- Turbiedad inicial, en ppm	5.8	5.8	5.8	5.8	5.8	5.8
5.- Alúmina agregada, en ppm	5	10	15	20	25	30
6.- Ayuda coagulante agregada, en ppm	0	0	0	0	0	0
7.- pH final	—	7.1	7.1	7.1	7.0	7.0
8.- Alcalinidad final, en ppm	—	212	212	210	206	206
9.- Turbiedad final, en ppm	5.3	4.3	4.3	3.8	3.8	3.4
10.- Turbiedad remanente, en porcentaje	91.5	74	74	65.5	65.5	58.5

TABLA 4

DATO	JARRA					
	1	2	3	4	5	6
1.- Temperatura, en ° C	20	20	20	20	20	20
2.- pH inicial	7.3	7.3	7.3	7.3	7.3	7.3
3.- Alcalinidad inicial, en ppm como $C_a CO_3$	220	220	220	220	220	220
4.- Turbiedad inicial, en ppm	5.8	5.8	5.8	5.8	5.8	5.8
5.- Alúmina agregada, en ppm	30	40	50	60	70	80
6.- Ayuda coagulante agregada, en ppm	0	0	0	0	0	0
7.- pH final	7.6	7.5	7.4	7.4	7.3	7.3
8.- Alcalinidad final, en ppm	204	197	193	189	182	177
9.- Turbiedad final, en ppm	3.6	2.7	3.2	2.5	2.7	3.0
10.- Turbiedad remanente, en porcentaje	62	46.5	55	43	46.5	51.5

TABLA 5

DATO	JARRA					
	1	2	3	4	5	6
1.- Temperatura, en ° C	20	20	20	20	20	20
2.- pH inicial	7.3	7.3	7.3	7.3	7.3	7.3
3.- Alcalinidad inicial, en ppm como $C_a CO_3$	220	220	220	220	220	220
4.- Turbiedad inicial, en ppm	5.8	5.8	5.8	5.8	5.8	5.8
5.- Alúmina agregada, en ppm	50	55	60	62.5	65	70
6.- Ayuda coagulante agregada, en ppm	0	0	0	0	0	0
7.- pH final	7.4	7.3	7.3	7.2	7.2	7.2
8.- Alcalinidad final, en ppm	199	195	193	188	188	162
9.- Turbiedad final, en ppm	4.0	3.2	2.4	2.4	2.4	—
10.- Turbiedad remanente, en porcentaje	69	55	41	91	41	—

TABLA 6

DATO	JARRA					
	1	2	3	4	5	6
1.- Temperatura, en ° C	22	22	22	22	22	22
2.- pH inicial	7.2	7.2	7.2	7.2	7.2	7.2
3.- Alcalinidad inicial, en ppm como $C_a CO_3$	210	210	210	210	210	210
4.- Turbiedad inicial, en ppm	31.0	13.0	13.0	13.0	13.0	13.0
5.- Alúmina agregada, en ppm	0	15	30	40	50	60
6.- Ayuda coagulante agregada, en ppm	0	0	0	0	0	0
7.- pH final	7.8	7.8	7.6	7.6	7.5	7.4
8.- Alcalinidad final, en ppm	204	197	188	137	180	175
9.- Turbiedad final, en ppm	12.0	7.6	4.5	4.5	2.4	2.4
10.- Turbiedad remanente, en porcentaje	92.3	58.5	34.6	34.6	18.5	18.5

TABLA 7

DATO	JARRA					
	1	2	3	4	5	6
1.- Temperatura, en °C	22	22	22	22	22	22
2.- pH inicial	7.2	7.2	7.2	7.2	7.2	7.2
3.- Alcalinidad inicial, en ppm como C_aCO_3	210	210	210	210	210	210
4.- Turbiedad inicial, en ppm	11.0	11.0	11.0	11.0	11.0	11.0
5.- Alúmina agregada, en ppm	0	15	30	40	50	60
6.- Ayuda coagulante agregada, en ppm	0	0	0	0	0	0
7.- pH final	8.0	7.8	7.6	7.5	7.3	7.3
8.- Alcalinidad final, en ppm	193	197	188	186	177	177
9.- Turbiedad final, en ppm	8.7	7.8	4.4	4.4	3.2	3.2
10.- Turbiedad remanente, en porcentaje	79.1	71.0	40.0	40.0	29.1	29.1
11.- Concentración remanente de algas, en No/ml	193	197	188	186	177	177

Nota: 1 ppm de cal (como C_aCO_3) se agregó a todas las jarras.

TABLA 8

DATO	JARRA					
	1	2	3	4	5	6
1.- Temperatura, en °C	21	21	21	21	21	21
2.- pH inicial	7.2	7.2	7.2	7.2	7.2	7.2
3.- Alcalinidad inicial, en ppm como C_aCO_3	188	188	188	188	188	188
4.- Turbiedad inicial, en ppm	7.0	8.7	8.7	9.0	9.4	9.7
5.- Alúmina agregada, en ppm	60	60	60	60	60	60
6.- Ayuda coagulante agregada, en ppm	0	0	0	0	0	0
7.- pH final	7.1	7.1	7.1	7.1	7.1	7.1
8.- Alcalinidad final, en ppm	151	151	155	155	155	151
9.- Turbiedad final, en ppm	2.5	2.3	2.7	2.3	2.3	2.3
10.- Turbiedad remanente, en porcentaje	35.7	26.4	31.0	25.6	24.5	23.7

TABLA 9

DATO	JARRA					
	1	2	3	4	5	6
1.- Temperatura, en °C	21	21	21	21	21	21
2.- pH inicial	7.2	7.2	7.2	7.2	7.2	7.2
3.- Turbiedad inicial, en ppm	9.7	9.7	9.7	9.7	9.7	9.7
5.- Alúmina agregada, en ppm	60	60	60	60	60	60
6.- Ayuda coagulante agregada, en ppm (Hagan)	0	.25	.50	.75	2.00	3.00
9.- Turbiedad final, en ppm	3.0	No 7	No 7	No 7	No 11	No 11
10.- Turbiedad remanente, en porcentaje	31.0	20.6	41.3	52.6	35.0	41.3
11.- Concentración remanente de algas, en No/ml	15 000	20 000			40 000	

TABLA 10

DATO	JARRA					
	1	2	3	4	5	6
1.- Temperatura, en °C	21	21	21	21	21	21
2.- pH inicial	7.2	7.2	7.2	7.2	7.2	7.2
3.- Turbiedad inicial, en ppm	12.0	9.7	9.7	9.7	9.7	9.7
5.- Alúmina agregada, en ppm	0	60	60	60	60	60
6.- Ayuda coagulante agregada, en ppm (Hagan)	0	0	4.00	5.00	10.00	15.00
		No 11	No 18	No 18	No 18	No 18
9.- Turbiedad final, en ppm	12.0	5.5	4.3	3.2	4.3	4.3
10.- Turbiedad remanente, en porcentaje	100.0	56.7	44.3	33.0	44.3	44.3
11.- Concentración remanente de algas, en No/ml	91 000			35 000		

TABLA 11

DATO	JARRA					
	1	2	3	4	5	6
1.- Temperatura, en °C	23	23	23	23	23	
2.- pH inicial	7.6	7.6	7.6	7.6	7.6	
3.- Alcalinidad inicial, en ppm como C_aCO_3	158	158	158	158	158	
4.- Turbiedad inicial, en ppm	8.7	8.7	8.7	8.7	8.7	
5.- Alúmina agregada, en ppm	20	20	20	20	20	
6.- Ayuda coagulante agregada, en ppm (Hagan No 7)	0	0.25	0.50	0.75	1.00	
7.- pH final	7.6	1.6	—	—	—	
8.- Alcalinidad final, en ppm	151	151	—	—	—	
9.- Turbiedad final, en ppm	6.3	6.3	6.3	11.3	7.5	
10.- Turbiedad remanente, en porcentaje	72	72	72	72	72	
11.- Concentración remanente de algas, en No/ml	57 500	75 000	95 000	45 000	52 500	

TABLA 12

DATO	JARRA					
	1	2	3	4	5	6
1.- Temperatura, en °C	23	23	23	23	23	23
2.- pH inicial	7.6	7.6	7.6	7.6	7.6	7.6
3.- Alcalinidad inicial, en ppm como C_aCO_3	158	158	158	158	158	158
4.- Turbiedad inicial, en ppm	6.0	6.0	6.0	6.0	6.0	6.0
5.- Alúmina agregada, en ppm	20	20	20	20	20	20
6.- Ayuda coagulante agregada, en ppm (Hagan No 11)	0	1.0	2.0	3.0	4.0	5.0
7.- pH final	7.4	7.4	—	—	—	—
8.- Alcalinidad final, en ppm	151	151	—	—	—	—
9.- Turbiedad final, en ppm	5.1	5.1	5.1	5.1	5.1	5.1
10.- Turbiedad remanente, en porcentaje	85	85	85	85	85	85
11.- Concentración remanente de algas, en No/ml	85 000	40 000	12 500	77 500	65 000	79 250

TABLA 13

DATO	JARRA					
	1	2	3	4	5	6
1.- Temperatura, en ° C	23	23	23	23	23	
2.- pH inicial	7.6	7.6	7.6	7.6	7.6	
3.- Alcalinidad inicial, en ppm como C_aCO_3	158	158	158	158	158	
4.- Turbiedad inicial, en ppm	6.0	6.0	6.0	6.0	6.0	
5.- Alúmina agregada, en ppm	20	20	20	20	20	
6.- Ayuda coagulante agregada, en ppm (Hagan No. 18)	0	3.0	6.0	9.0	12.0	
7.- pH final	7.4	7.4	—	—	—	
8.- Alcalinidad final, en ppm	150	150	—	—	—	
9.- Turbiedad final, en ppm	4.6	3.4	3.8	3.7	3.7	
10.- Turbiedad remanente, en porcentaje	77	57	63	62	62	
11.- Concentración remanente de algas, en No/ml	77 500	62 500	92 500	52 500	52 500	

TABLA 14

DATO	JARRA					
	1	2	3	4	5	6
1.- Temperatura, en ° C	6.5	6.5	6.5	6.5	6.5	6.5
2.- pH inicial	7.8	7.8	7.8	7.8	7.8	7.8
3.- Alcalinidad inicial, en ppm como C_aCO_3	160	160	160	160	160	160
4.- Turbiedad inicial, en ppm	18.0	18.0	18.0	18.0	18.0	18.0
5.- Alúmina agregada, en ppm	0	0	15	30	45	60
6.- Ayuda coagulante agregada, en ppm (Nalco 600)	0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
7.- pH final	7.65	7.65	7.5	7.3	7.1	6.9
8.- Alcalinidad final, en ppm	160	160	153	147	140	133
9.- Turbiedad final, en ppm	17.0	15.8	18.2	11.5	15.5	7.0
10.- Turbiedad remanente, en porcentaje	94	88	101	64	86	39
11.- Concentración remanente de algas, en No/ml	97 250	105 000	35 000	47 500	5 000	0

TABLA 15

DATO	JARRA					
	1	2	3	4	5	6
1.- Temperatura, en ° C	18	18	18	18	18	
2.- pH inicial	8.4	8.4	8.4	8.4	8.4	
3.- Alcalinidad inicial, en ppm como C_aCO_3	185	185	185	185	185	
4.- Turbiedad inicial, en ppm	7.0	7.0	7.0	7.0	7.0	
5.- Alúmina agregada, en ppm	0	20.0	22.5	25.0	27.5	
6.- Ayuda coagulante agregada, en ppm (Nalco 600)	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	
7.- pH final	8.9	8.5	8.4	8.4	8.3	
8.- Alcalinidad final, en ppm	183	175	175	178	169	
9.- Turbiedad final, en ppm	6.9	3.0	3.0	3.0	3.0	
10.- Turbiedad remanente, en porcentaje	98.6	42.8	42.8	42.8	42.8	
11.- Concentración remanente de algas, en No/ml	80 000	27 500	17 500	22 500	12 500	

TABLA 16

DATO	JARRA					
	1	2	3	4	5	6
1.- Temperatura, en °C	6.5	6.5	6.5	6.5	6.5	6.5
2.- pH inicial	7.8	7.8	7.8	7.8	7.8	7.8
3.- Alcalinidad inicial, en ppm como C_aCO_3	160	160	160	160	160	160
4.- Turbiedad inicial, en ppm	18.0	18.0	18.0	18.0	18.0	18.0
5.- Alúmina agregada, en ppm	0	0	15	30	45	60
6.- Ayuda coagulante agregada, en ppm (Nalco 600)	0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0
7.- pH final	7.8	7.8	7.6	7.4	7.3	7.2
8.- Alcalinidad final, en ppm	169	166	154	196	143	134
9.- Turbiedad final, en ppm	17.0	15.5	11.0	9.0	6.5	4.0
10.- Turbiedad remanente, en porcentaje	94	86	61	50	36	22
11.- Concentración remanente de algas, en No/ml	102 000	80 000	85 000	22 500	2 500	5 000

TABLA 17

DATO	JARRA					
	1	2	3	4	5	6
1.- Temperatura, en °C	18	18	18	18	18	18
2.- pH inicial	8.4	8.4	8.4	8.4	8.4	8.4
3.- Alcalinidad inicial, en ppm como C_aCO_3	185	185	185	185	185	185
4.- Turbiedad inicial, en ppm	7.0	7.0	7.0	7.0	7.0	7.0
5.- Alúmina agregada, en ppm	0	20.0	22.5	25.0	27.5	30.0
6.- Ayuda coagulante agregada, en ppm (Nalco 600)	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0
7.- pH final	9.0	8.6	8.6	8.6	8.5	8.5
8.- Alcalinidad final, en ppm	195	180	184	182	179	177
9.- Turbiedad final, en ppm	6.9	4.1	3.9	3.9	3.9	3.9
10.- Turbiedad remanente, en porcentaje	98.5	58.5	55.7	55.7	55.7	55.7
11.- Concentración remanente de algas, en No/ml	82 500	40 000	22 500	32 500	2 500	22 500

TABLA 18

DATO	JARRA					
	1	2	3	4	5	6
1.- Temperatura, en °C	6.5	6.5	6.5	6.5	6.5	6.5
2.- pH inicial	7.8	7.8	7.8	7.8	7.8	7.8
3.- Alcalinidad inicial, en ppm como C_aCO_3	160	160	160	160	160	160
4.- Turbiedad inicial, en ppm	18.0	18.0	18.0	18.0	18.0	18.0
5.- Alúmina agregada, en ppm	0	0	15	30	45	60
6.- Ayuda coagulante agregada, en ppm (Nalco 600)	0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0
7.- pH final	8.1	8.0	7.8	7.6	7.4	7.3
8.- Alcalinidad final, en ppm	162	162	158	149	140	136
9.- Turbiedad final, en ppm	13.5	11.5	9.5	4.5	4.0	3.0
10.- Turbiedad remanente, en porcentaje	75	64	53	25	22	17
11.- Concentración remanente de algas, en No/ml	105 000	52 500	57 500	5 000	10 000	2 500

TABLA 19

DATO	JARRA					
	1	2	3	4	5	6
1.- Temperatura, en °C	20.2	20.2	20.2	20.2	20.2	20.2
2.- pH inicial	7.7	7.7	7.7	7.7	7.7	7.7
3.- Alcalinidad inicial, en ppm como C_aCO_3	157	157	157	157	157	157
4.- Turbiedad inicial, en ppm	12.0	12.0	12.0	12.0	12.0	12.0
5.- Alúmina agregada, en ppm	0	0	0	0	0	0
6.- Ayuda coagulante agregada, en ppm (Nalco 600)	0	1.0	2.0	3.0	4.0	5.0
7.- pH final	7.7	7.7	7.7	7.8	7.8	7.8
8.- Alcalinidad final, en ppm	158	160	160	158	158	158
9.- Turbiedad final, en ppm	12.0	8.7	8.7	8.7	8.7	8.7
10.- Turbiedad remanente, en porcentaje	100	73	73	73	73	73
11.- Concentración remanente de algas, en No/ml	92 500	82 500	95 000	115 000	92 500	97 500

TABLA 20

DATO	JARRA					
	1	2	3	4	5	6
1.- Temperatura, en °C	20.2	20.2	20.2	20.2	20.2	
2.- pH inicial	7.7	7.7	7.7	7.7	7.7	
3.- Alcalinidad inicial, en ppm como C_aCO_3	157	157	157	157	157	
5.- Alúmina agregada, en ppm	15	15	15	15	15	
6.- Ayuda coagulante agregada, en ppm (Nalco 600)	0	1.0	2.0	3.0	4.0	
7.- pH final	7.9	7.9	7.9	7.9	7.9	
8.- Alcalinidad final, en ppm	147	147	151	151	147	
9.- Turbiedad final, en ppm	11.2	10.0	10.0	10.0	10.0	
10.- Turbiedad remanente, en porcentaje	93	83	83	83	83	
11.- Concentración remanente de algas, en No/ml	85 000	57 500	40 000	70 000	70 000	

TABLA 21

DATO	JARRA					
	1	2	3	4	5	6
1.- Temperatura, en °C	23	23	23	23	23	23
2.- pH inicial	7.6	7.6	7.6	7.6	7.6	7.6
3.- Alcalinidad inicial, en ppm como C_aCO_3	158	158	158	158	158	158
4.- Turbiedad inicial, en ppm	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5
5.- Alúmina agregada, en ppm	20	20	20	20	20	20
6.- Ayuda coagulante agregada, en ppm (Nalco 600)	0	1.0	2.0	3.0	4.0	5.0
7.- pH final	9.6	7.6	—	—	—	—
8.- Alcalinidad final, en ppm	154	154	—	—	—	—
9.- Turbiedad final, en ppm	2.8	2.9	2.8	2.3	2.3	2.3
10.- Turbiedad remanente, en porcentaje	62	65	62	51	51	51
11.- Concentración remanente de algas, en No/ml	95 000	25 000	30 000	27 500	22 500	15 000

TABLA 22

DATO	JARRA					
	1	2	3	4	5	6
1.- Temperatura, en ° C	20.2	20.2	20.2	20.2	20.2	20.2
2.- pH inicial	7.7	7.7	7.7	7.7	7.7	7.7
3.- Alcalinidad inicial, en ppm como C_aCO_3	157	157	157	157	157	157
4.- Turbiedad inicial, en ppm	12.0	12.0	12.0	12.0	12.0	12.0
5.- Alúmina agregada, en ppm	22.5	22.5	22.5	22.5	22.5	22.5
6.- Ayuda coagulante agregada, en ppm (Nalco 600)	0	1.0	2.0	3.0	4.0	5.0
7.- pH final	8.2	—	—	—	—	—
8.- Alcalinidad final, en ppm	151	—	—	—	—	—
9.- Turbiedad final, en ppm	3.1	2.4	2.1	2.1	2.0	5.4
10.- Turbiedad remanente, en porcentaje	26	20	18	18	17	45
11.- Concentración remanente de algas, en No/ml	37 500	20 000	30 000	10 000	7 500	25 000

TABLA 23

DATO	JARRA					
	1	2	3	4	5	6
1.- Temperatura, en ° C	20.2	20.2	20.2	20.2	20.2	20.2
2.- pH inicial	7.7	7.7	7.7	7.7	7.7	7.7
3.- Alcalinidad inicial, en ppm como C_aCO_3	157	157	157	157	157	157
4.- Turbiedad inicial, en ppm	12.0	12.0	12.0	12.0	12.0	12.0
5.- Alúmina agregada, en ppm	30	30	30	30	30	30
6.- Ayuda coagulante agregada, en ppm (Nalco 600)	0	1.0	2.0	3.0	4.0	5.0
7.- pH final	8.6	8.8	—	—	—	—
8.- Alcalinidad final, en ppm	155	155	—	—	—	—
9.- Turbiedad final, en ppm	4.0	3.6	3.6	3.0	3.0	3.0
10.- Turbiedad remanente, en porcentaje	33	30	30	25	25	25
11.- Concentración remanente de algas, en No/ml	25 000	17 500	30 000	20 000	12 500	10 000

TABLA 24

DATO	JARRA					
	1	2	3	4	5	6
1.- Temperatura, en ° C	29	29	29	29	29	29
2.- pH inicial (8.0)	8.4	8.2	7.8	7.4	7.0	6.6
3.- Alcalinidad inicial, en ppm como C_aCO_3	180	180	180	180	180	180
4.- Turbiedad inicial, en ppm	7.5	7.5	7.5	7.5	7.5	7.5
5.- Alúmina agregada, en ppm	22.5	22.5	22.5	22.5	22.5	22.5
6.- Ayuda coagulante agregada, en ppm (Nalco 600)	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
7.- .0219 $N H_2SO_4$ agregado, en ml	0	8	18	35	60	120
8.- pH final	7.8	7.3	7.3	7.2	7.0	6.5
9.- Alcalinidad final, en ppm	175	164	160	153	131	107
10.- Turbiedad final, en ppm	3.4	2.8	2.6	2.6	2.4	2.4
11.- Turbiedad remanente, en porcentaje	45.4	37.3	34.6	34.6	32.0	32.0
12.- Concentración remanente de algas, en No/ml	45 000	15 000	32 500	40 000	35 000	17 500

TABLA 25

DATO	JARRA					
	1	2	3	4	5	6
1.- Temperatura, en °C	29	29	29	29	29	
2.- pH inicial	8.0	8.0	8.0	8.0	8.0	
3.- Alcalinidad inicial, en ppm como C_aCO_3	180	180	180	180	180	
4.- Turbiedad inicial, en ppm	7.5	7.5	7.5	7.5	7.5	
5.- Alúmina agregada, en ppm	22.5	22.5	22.5	22.5	22.5	
6.- Ayuda coagulante agregada, en ppm (Nalco 600)	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	
7.- $2N\ N_aOH$ agregado, en ml	0	1.0	3.0	5.0	7.0	
8.- pH final	7.7	9.0	9.7	10.5	10.9	
9.- Alcalinidad final, en ppm	175	222	191	237	307	
10.- Turbiedad final, en ppm	3.6	8.0	37.0	4.0	2.6	
11.- Turbiedad remanente, en porcentaje	48.0	107	493	53.3	34.7	
12.- Concentración remanente de algas, en No/ml	25 000	67 500	22 500	6 700	5 000	

TABLA 26

DATO	JARRA					
	1	2	3	4	5	6
1.- Temperatura, en °C	25	25	25	25	25	25
2.- pH inicial	8.2	8.0	7.7	7.3	7.0	6.6
3.- Alcalinidad inicial, en ppm como C_aCO_3	186	186	186	186	186	186
4.- Turbiedad inicial, en ppm	5.1	5.1	5.1	5.1	5.1	5.1
5.- Alúmina agregada, en ppm	22.5	22.5	22.5	22.5	22.5	22.5
6.- Ayuda coagulante agregada, en ppm (Nalco 600)	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0
7.- $.0219\ N\ H_2SO_4$ agregado, en ml	0	8	18	35	60	120
8.- pH final	7.9	7.8	7.6	7.4	7.3	6.9
9.- Alcalinidad final, en ppm	178	173	169	158	144	112
10.- Turbiedad final, en ppm	3.0	2.0	1.6	1.6	1.6	1.6
11.- Turbiedad remanente, en porcentaje	57.7	38.5	30.8	30.8	30.8	30.8
12.- Concentración remanente de algas, en No/ml	20 000	10 000	10 000	25 000	10 000	22 500

TABLA 27

DATO	JARRA					
	1	2	3	4	5	6
1.- Temperatura, en °C	25	25	25	25	25	
2.- pH inicial	8.1	9.4	10.1	10.9	11.2	
3.- Alcalinidad inicial, en ppm como C_aCO_3	186	186	186	186	186	
4.- Turbiedad inicial, en ppm	5.2	5.2	5.2	5.2	5.2	
5.- Alúmina agregada, en ppm	22.5	22.5	22.5	22.5	22.5	
6.- Ayuda coagulante agregada, en ppm (Nalco 600)	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	
7.- $2N\ N_aOH$ agregado, en ml	0	1.0	3.0	5.0	7.0	
8.- pH final	7.9	9.4	10.0	10.8	11.2	
9.- Alcalinidad final, en ppm	175	199	208	263	307	
10.- Turbiedad final, en ppm	2.4	4.0	108	3.8	3.0	
11.- Turbiedad remanente, en porcentaje	46.2	77.0	206.0	73.1	57.7	
12.- Concentración remanente de algas, en No/ml	22 500	37 500	5 000	2 500	72 500	