

ESTUDIO Y ANALISIS DE LAS VARIABLES
DEL AGUA EN EL LAGO DE MANAGUA
PARA TRATAMIENTO DE CLARIFICACION PARA
USO HUMANO

AUTORES: MSc.Ing. Nabyarina Almendárez de Quezada
MSc.Ing. Maritza Obando Salazar

Managua, Noviembre 20 de 1993.

OBJETIVOS

GENERALES

- Iniciar los estudios de tratabilidad del agua del Lago de Managua, para fines de consumo humano.
- Contribuir al desarrollo científico técnico del país.

ESPECIFICOS

- Determinar el procedimiento de la captación de muestras y caracterizar la calidad del agua en la zona de muestreo en los parámetros relacionados con los componentes inorgánicos, estéticos y aspectos microbiológicos.
- Encontrar los óptimos de carácter físico y químico en los ensayos batch(Prueba de jarras y columna de sedimentación), para los procesos de tratamientos de coagulación/ floculación y sedimentación.
- Reproducir los óptimos de las pruebas batch al proceso continuo y calibrar las estructuras específicas en el proceso de clarificación.

INTRODUCCION

Aprovechamiento de las aguas del Lago de Managua

El futuro de un pueblo se sustenta en la protección de sus recursos renovables y no renovables y en las inversiones largo placista y nunca corto plasista. Se puede pensar que el empeño de iniciar los primeros pasos para la tratabilidad del agua del Lago Xolotlán con fines de uso doméstico son de origen utópico.

En el mes de Julio del año en curso, el Instituto de Acueductos y Alcantarrillados (INAA); y la Agencia Internacional de Cooperación del Japón (JICA); han presentado en el Tercer Siposio del Agua los resultados del Estudio del Potencial de agua subterránea de la ciudad de Managua. Este potencial de 114,721 MGD., será excedido por la demanda de agua de los Managuas para el año 2,005.

Los resultados de INNA y JICA, actualizan la importancia de la Investigación Estudio y análisis de las variables del agua en el Lago de Managua para tratamiento de clarificación uso humano, como una alternativa a la solución del problema de abastecimiento de agua potable.

Los alcances de la Investigación

La aplicación de modelos de laboratorio a escalas bench y piloto de flujo estático a flujo dinámico para los procesos de filtración rápida controlados por las variables de caudal, turbiedad y color.

AREA DE ESTUDIO Y MUESTREO

Selección y macrolocalización área de estudio

Desde el punto de vista de calidad del agua, se escogió el área de estudio cercana al poblado de Mateares(Piedras Azules), en base a las consideraciones siguientes:

.Sitio alejado de las descargas de residuales líquidos, industriales y domésticos.

.La zona presenta características buenas en cuanto a la calidad de fuentes se refiere y se clasifica como clase 3 (C-3), la cuál requiere de tratamiento convencional.

.Comportamiento del perfil longitudinal de turbiedad y la estratigrafía del lecho (Piedras Azules).

En la Figura 3.2 se muestra la Macrolocalización del área de estudio.

Las Tablas 3.1 y 3.2 presentan las clasificaciones de la fuente como abastecimiento de agua para consumo humano.

Captación y transporte de las muestras

Las muestras se captaron a una distancia de 70 y 120 metros de la orrilla del lago. Las obras de captación se ejecutaron como Fase I y Fase II, la Fase I corresponde a las pruebas batch (coagulación/floculación y sedimentación floculenta), la Fase II atiende los volúmenes de muestra para el proceso continuo de clarificación.

La captación se hizo con tomas de fondo para ambas fases. Fase I con estación de bombeo flotante, para captar un volumen de muestra de 600 l y Fase II con estación de bombeo móvil, para la recolección de 2,000 l de agua por día. El medio de transporte de las muestras se hizo en un trailer de madera con dos tanques de material plástico halados por camioneta de doble tracción.

Las figuras 4.6 y 4.7 ilustran el proceso de captación y transporte de las muestras.

La tabla 4.3 contiene la concentración promedio de la calidad del agua "Piedras Azules", durante el período de muestreo.

Comentarios

La concentración promedio de la calidad del agua del Lago de Managua, Tabla 4.1., se puede considerar aceptable en los siguientes parámetros analizados: Temperatura, Sólidos disueltos totales, DQO, Cloruros, Nitratos, Hierro, Boro, Coli-totales y fecales; estos no presentan valores muy altos, tomando en cuenta para su análisis las guías de la calidad del agua de la OPS y las normas para la clasificación de fuentes de abastecimiento. Con excepción del color y la turbiedad que tienen valores de 217.40 UC y 17.32 NTU respectivamente.

Turbiedad-efluente F1A, F2
 dosis 75mg/l (pH=7) y 250 mg/l a/cor(pH)

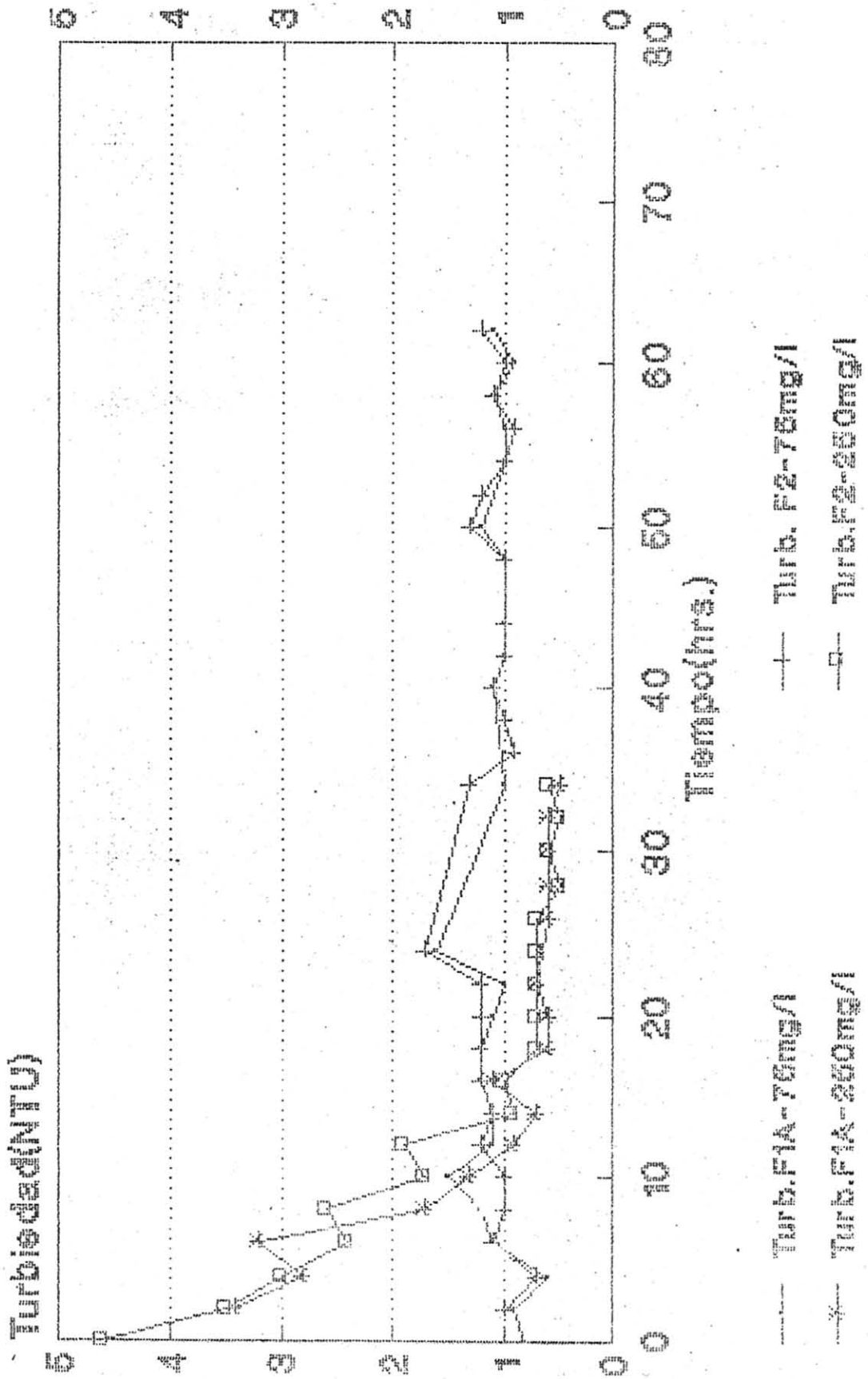


Fig. 6.40

TABLA 3.1. CLASIFICACION DEL SITIO "PIEDRAS AZULES" EN LA FUENTE LAGO DE MANAGUA

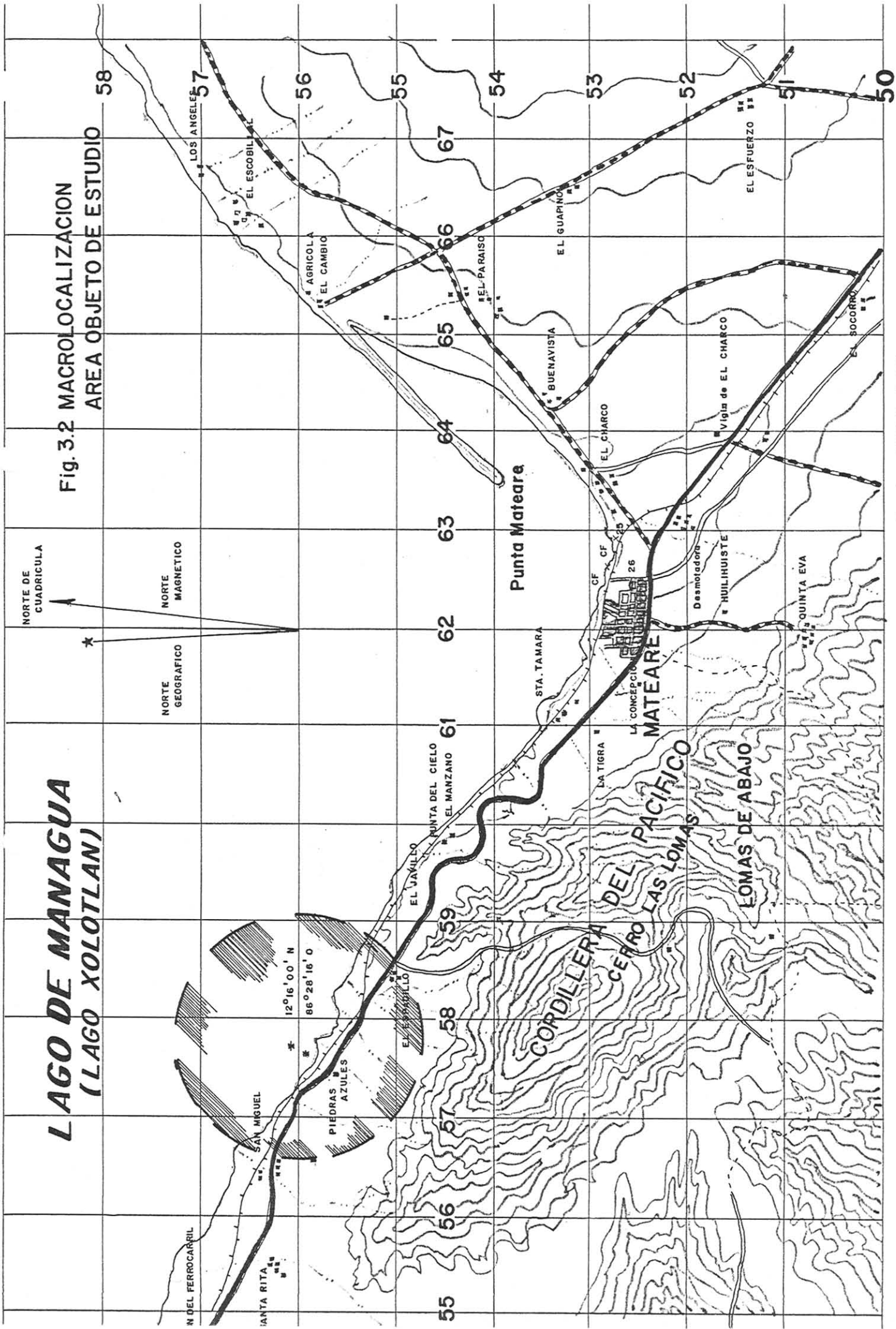
PARAMETRO	UNIDAD DE MEDIDA	CARACTERIST. DE LA MUESTRA (UNI)	CLASIFICACION
Temperatura	°C	29.0	-
pH	-	9.4	C-3
Turbiedad	NTU	17.32	C-1; C-2
Color	U.C.	150.0	C-3
Sol. dis.tot	mg/l	1,115.0	C-3
Nitrato	mg/l	0.20	C-1
O ₂ Disuelto	% Saturación	98%	C-1
Hierro	mg/l	0.70	C-3
Boro	mg/l	2.53	C-3
Cloruros	mg/l	234.0	C-3

Fuente: INGAM / UNI, Mayo 1990.

C = clase, referencia tabla 3.2 y 3.3

LAGO DE MANAGUA (LAGO XOLOTLAN)

Fig. 3.2 MACROLOCALIZACION
AREA OBJETO DE ESTUDIO



Escala: 1:50,000

TABLA 3.3 CLASIFICACION DE AGUAS DULCES PARA USO EN ABASTECIMIENTO DE CONSUMO HUMANO

PARAMETRO	UNIDAD MEDIDA (UM)	C	L	A	S	E
		ESPECIAL *	1	2	3 **	
pH	-	-	6 - 9	6.9	6 - 9	
Turbiedad	NTU	-	40	100	100	
Color	UC	-		75	75	
Solidos disuelto	mg/l	-	500	500	500	
BO5	mg/l	-	3	5	10	
Nitratos	mg/l	-	10	10	10	
Hierro	mg/l	∞	0.3	0.3	5	
Cromo	mg/l		0.75	0.75	0.75	
Cloruros	mg/l		250	250	250	
Sulfatos	mg/l		250	250	250	
Fluor	mg/l		1.4	1.4	1.4	
E.Coli Fecales	NMP/100ml		200	1000	4000	

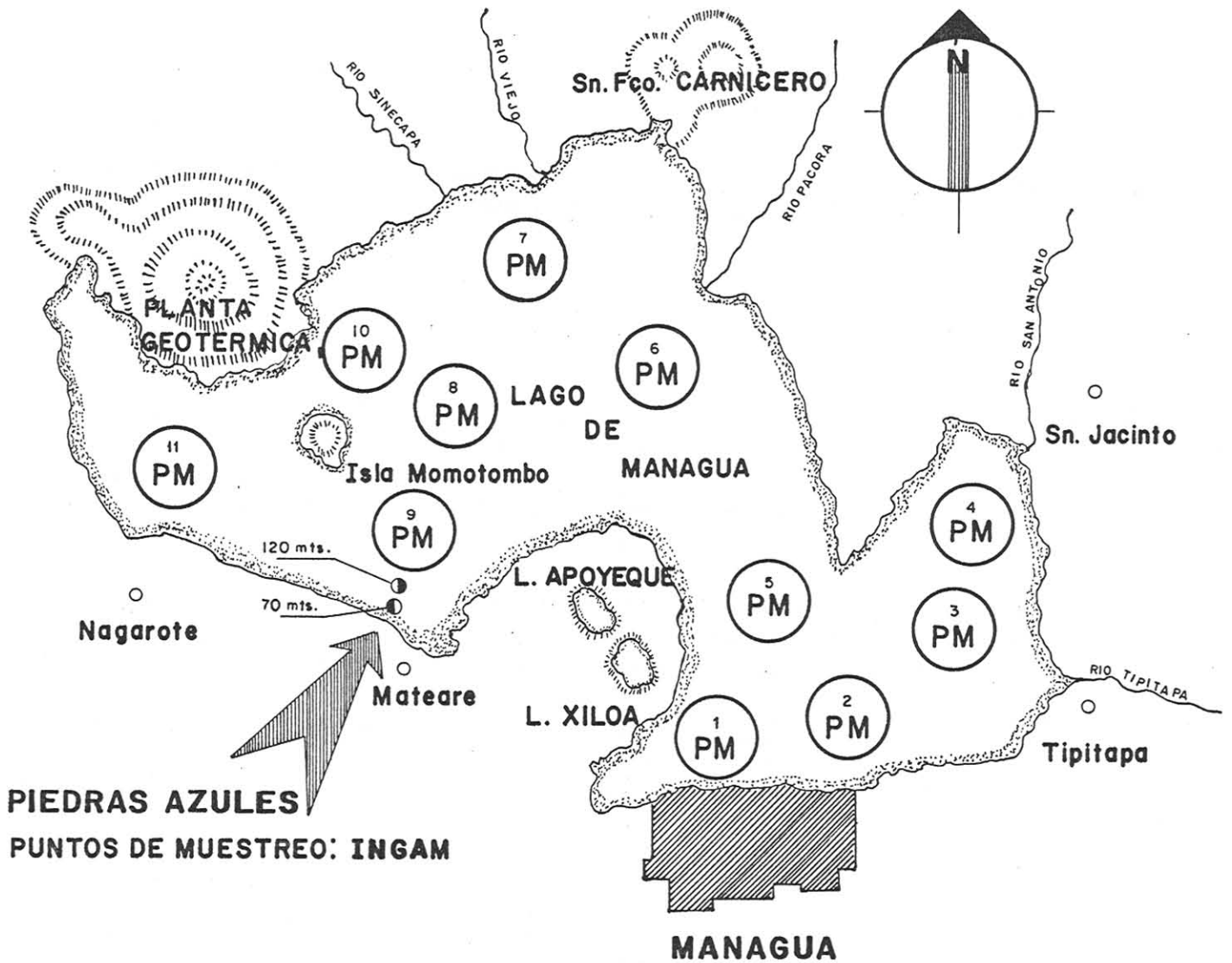
* Abastecimiento domestico sin previa o con simple desinfeccion.
 Ref.: Resolucion CONAMA No.20, 18 junio 1986. Brasil.

** Agua destinadas al abastecimiento domestico con tratamiento convencional.

Tabla 4.1 COMPORTAMIENTO DE LA CALIDAD DEL AGUA DEL LAGO DE MANAGUA EN DIFERENTES PERIODOS. * Piedras Azules

		ZONA DE MUESTREO N° 9			A 50 metros *
		07 Abril '76	Julio '88	Abril '89	12 Mayo '90
Parámetros	U.M	INE	CIRA/UNAN	CIRA/UNAN	INGAM/UNI
Temperatur	°C	29	29.6	-	27.9
pH	-	8.8	9.15	9.15	9.46
Turbiedad	NTU	10	8	18	17
S.dis.tot.	mg/l	287	1,401	1,232	-
Cloruro	mg/l	205	282	218	234
Nitrato	mg/l	26	4.8	<0.5	0.21
Hierro	mg/l	-	0.13	0.31	0.70
Boro	mg/l	-	3.8	2.3	2.53
DQO	mg/l	-	176	-	-
Colitotal Distancia	NMP/100ml (m)	3,000 litoral INGAM/UNI	29/05/90	110 50	80 100

FIG. 4.1 MAPA DE MICROLOCALIZACION PUNTOS DE MUESTREO



PIEDRAS AZULES
PUNTOS DE MUESTREO: INGAM

1-11
PM PUNTOS DE MUESTREO:
CIRA / U.N.A.N.

REFERENCIA: PLALM

Tabla 4.3 CONCENTRACIÓN PROMEDIO DE LA CALIDAD DEL AGUA "PIEDRAS AZULES" PERÍODO JUNIO-JULIO 1990

DETERMIN	U.M	6/6/90	13/6/90	21/6/90	21/7/90	27/7/90	CONCENT. PROMEDIO
Temper.	°C	30.01	31.00	30.00	27.00	27.00	29.00
pH	-	9.47	9.43	9.39	9.34	9.38	9.40 (6-8) ✓
Turb.	NTU	19.30	17.30	17.00	16.00	17.00	17.32 (100)
Color	UC	277.00	212.00	140.00	207.00	251.00	217.40 * (75)
Sol. Dis.Tot.	mg/l	-	1115.00	-	545.00	623.00	761.00 * (500)
DQO	mg/l	239.00	224.00	173.00	195.00	195.00	205.20
Clorur.	mg/l	234.00	231.00	-	230.00	207.00	255.50 * (250)
Nitr.	mg/l	0.21	0.20	-	-	-	0.20 (10)
Hierro	mg/l	0.70	0.90	-	0.40	1.97	0.99 10 (5)
Boro	mg/l	2.77	2.30	-	2.38	3.17	2.65 * (0.75)
E-coli Fecal.	NMP/100 ml	1700.0	-	-	-	400.00	1050.00
E-coli Total	NMP/100 ml	2200.0	-	-	-	800.00	1500.00 (4000)

* con la clasificación de fuentes

PROCESOS DE TRATAMIENTOS

Procesos discontinuos(batch) y continuos

Con el uso de los procesos unitarios para el tratamiento de las aguas del Lago de Managua, se persigue encontrar los resultados preliminares del tratamiento de clarificación objeto de la investigación. Es decir la eliminación de las sustancias objetable de los componentes estéticos y bacteriológicos principalmente la turbiedad, el color y la e.coli.

Los procesos empleados fueron: coagulación química, floculación sedimentación y filtración a escalas de Bench Scala y Planta Piloto.

Los ensayos fueron conducidos en los equipos de Prueba de jarras y en Columna de sedimentación para los procesos discontinuos y para los procesos continuos en la instalación de la Planta piloto.

Los equipos utilizados para flujo discontinuo se presentan en las las Figuras 5.2 y 5.15.

laFigura 5.19 contine el diagrama de instalación de flujo continuo.

Determinación de las variables que intervienen en los procesos de coagulación, floculación y sedimentación batch

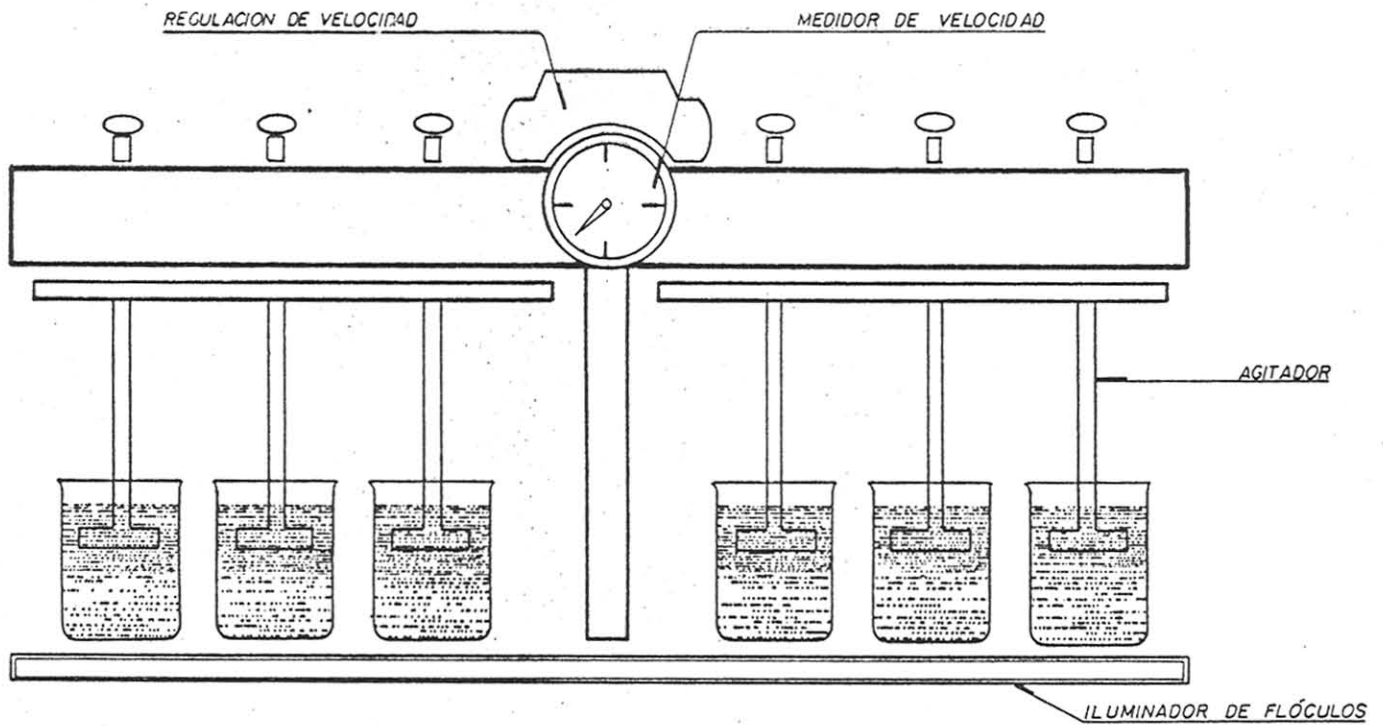
. Rangos

Dosis coagulante(Sulfato de aluminio)	50-450 mg/l
Gradiente de velocidad total	75,000-130,000
GT mezcla rápida(5-30 seg)	2,500-15,000
GT mezcla lenta (16-33 min)	72,500-147,00
Comportaminto sedimentación floculenta	velocidad m/h

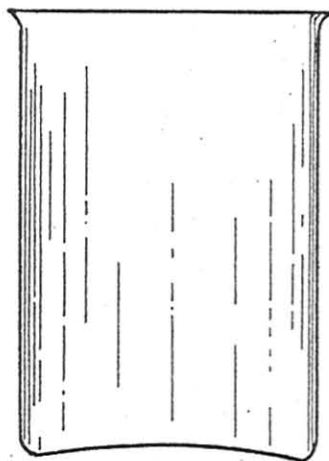
. Condiciones para finalizar los ensayos

Los valores de turbiedad menor o igual a 5 NTU y los de color nemor o igual a 50 UC.

Fig. 5.2 EQUIPOS DE PRUEBA DE JARRAS



SISTEMA DE AGITACIÓN MECÁNICA 6 UNIDADES



VASO DE PRECIPITADO
(2 LTS)

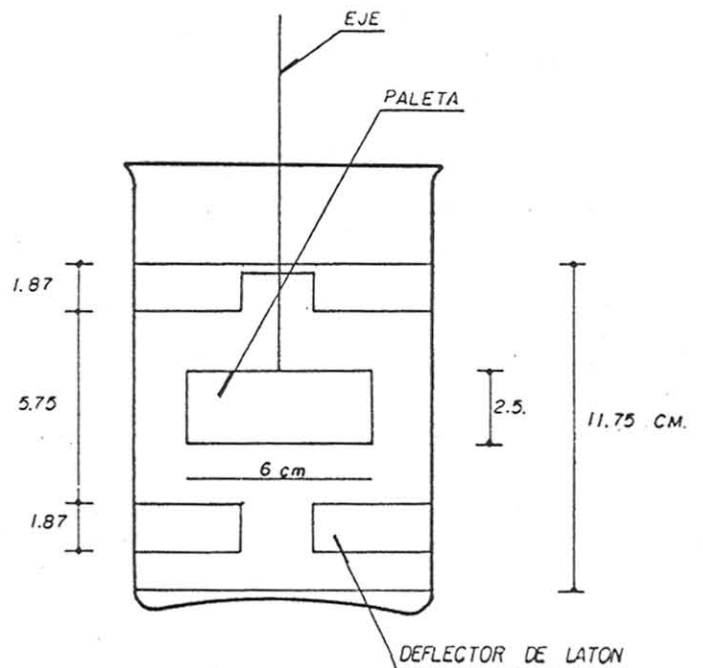
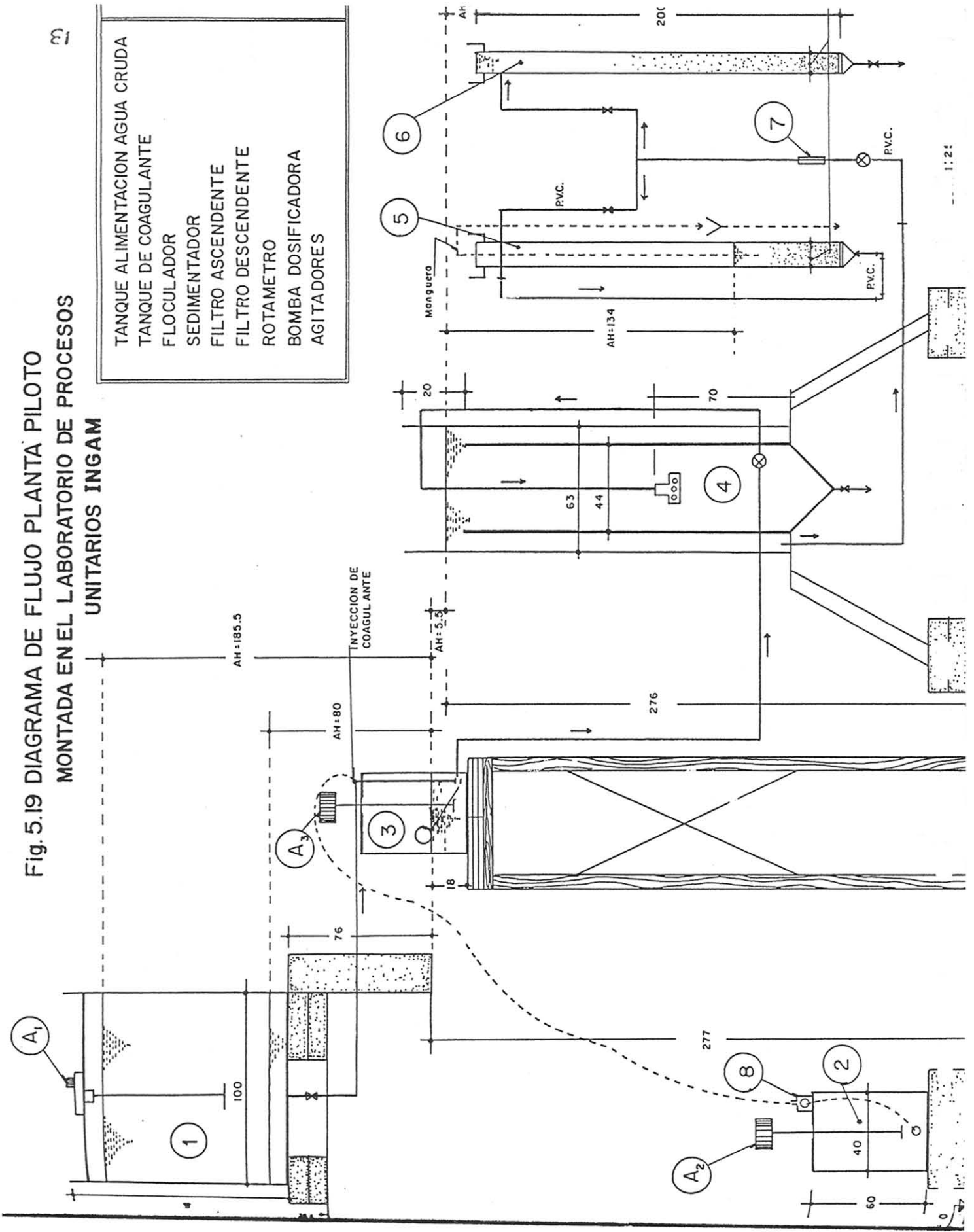


Fig. 5.19 DIAGRAMA DE FLUJO PLANTA PILOTO
MONTADA EN EL LABORATORIO DE PROCESOS
UNITARIOS INGAM



- TANQUE ALIMENTACION AGUA CRUDA
- TANQUE DE COAGULANTE
- FLOCULADOR
- SEDIMENTADOR
- FILTRO ASCENDENTE
- FILTRO DESCENDENTE
- ROTAMETRO
- BOMBA DOSIFICADORA
- AGITADORES

. Parámetros de control de calidad

A las muestras se le determino la turbiedad, el color y el pH.

. Discusión de resultados

Hasta ahora sigue siendo el problema medular la concentración del coagulante a utilizar en los tratamientos de clarificación, ya que representa un componente importante en la eficiencia del proceso y en el aspecto económico, por encontrarse sujeto en muchos casos a la variación de la calidad del agua cruda. Por estas razones se incursiona en la búsqueda de dosis de coagulante sin modificación de pH y con modificación de pH al agua cruda.

Durante los ensayos de pruebas de jarra en los rangos de 50 a 450 mg/l de coagulante, se observó en la Figura 5.6 la formación de la curva de coagulación y se distinguen dos zonas. La primera la zona A entre los rangos de 150 a 190 mg/l y la segunda zona B comprendida entre 200 y 300 mg/l.

La teoría de coagulación indica que el proceso de coagulación esta influenciado por el potencial de hidrógeno, ya que existe un pH óptimo para coagular el color, la Figura 5.9 representa el valor óptimo del pH (pH=7); obteniéndose remanentes de color mínimas para las dosis de 75, 175 y 250 mg/l de sulfato de aluminio.

Con la Tabla 5.4 se concluye la selección de las dosis óptimas que son: 75 mg/l con corrección de pH del agua cruda hasta 7; 175 y 250 mg/l sin modificación de pH al agua cruda.

Durante el proceso de decantación las partículas aumentaron de tamaño al formarse aglomerados de partículas medido por el aumento de la velocidad. Figura 5.17 ; también se observa que no es necesario tener una zona de sedimentación mayor de 0.7 m de profundidad a esa profundidad se obtuvo la carga superficial de 4.7 m/h.

Reproducción de los ensayos batch coagulación, floculación y sedimentación a escala piloto

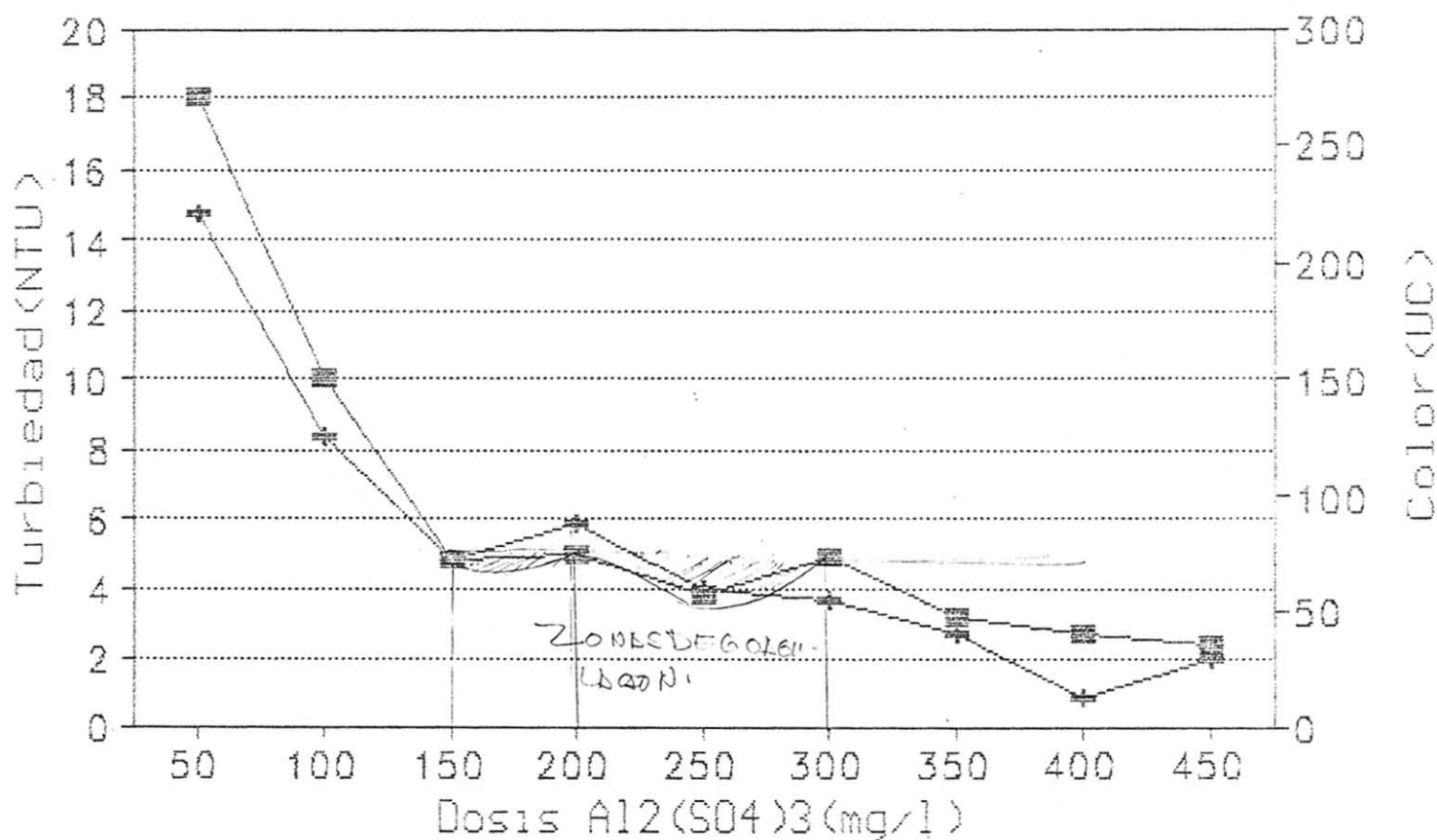
La reproducción se basa en la similitud y simulación de las operaciones, lo que requiere del análisis y cálculo de aquellas condiciones que afectan el desarrollo de los procesos, tales como: la adición del coagulante, dispersión del coagulante, aglutinación de las partículas, tiempo de retención, carga superficial, etc.

TABLA 5.4 COMPARACION DE RESULTADOS DE DOSIS OPTIMAS

	GT = 141,000				GT = 125,000				
DETERMINACIONES:	75 mg/l	175 mg/l	250 mg/l	175 mg/l	250 mg/l				
	pH=7.0 (HCL)	pH=9.19	pH=7.0 (HCL)	pH=9.29	pH=7.0 (HCL)	pH=7.0 (H2SO4)	pH=9.42	pH=7.0 (H2SO4)	pH=9.13
TURBIEDAD (NTU):	3.50	4.50	1.00	3.80	1.00	1.30	3.20	1.00	2.50
COLOR (UC)	41.00	120.00	0.00	59.00	0.00	1.00	55.00	4.00	15.00
TAMANO FLOC.	E	E	E	D	G	G	D	F	G
% VOLUMEN M/S*	1.36	2.04	8.16	3.40	8.16	20.41	3.40	20.14	8.16

MUESTRA SEDIMENTO

Fig. 5.6 Comportamiento coagulación
floculación pH agua cruda 9.28



52

—■— turbiedad (NTU) —+— color (UC)

Fig. 5.9 Influencia del HCl en las
 las dosis coagulante, pH a. crud. 7.0

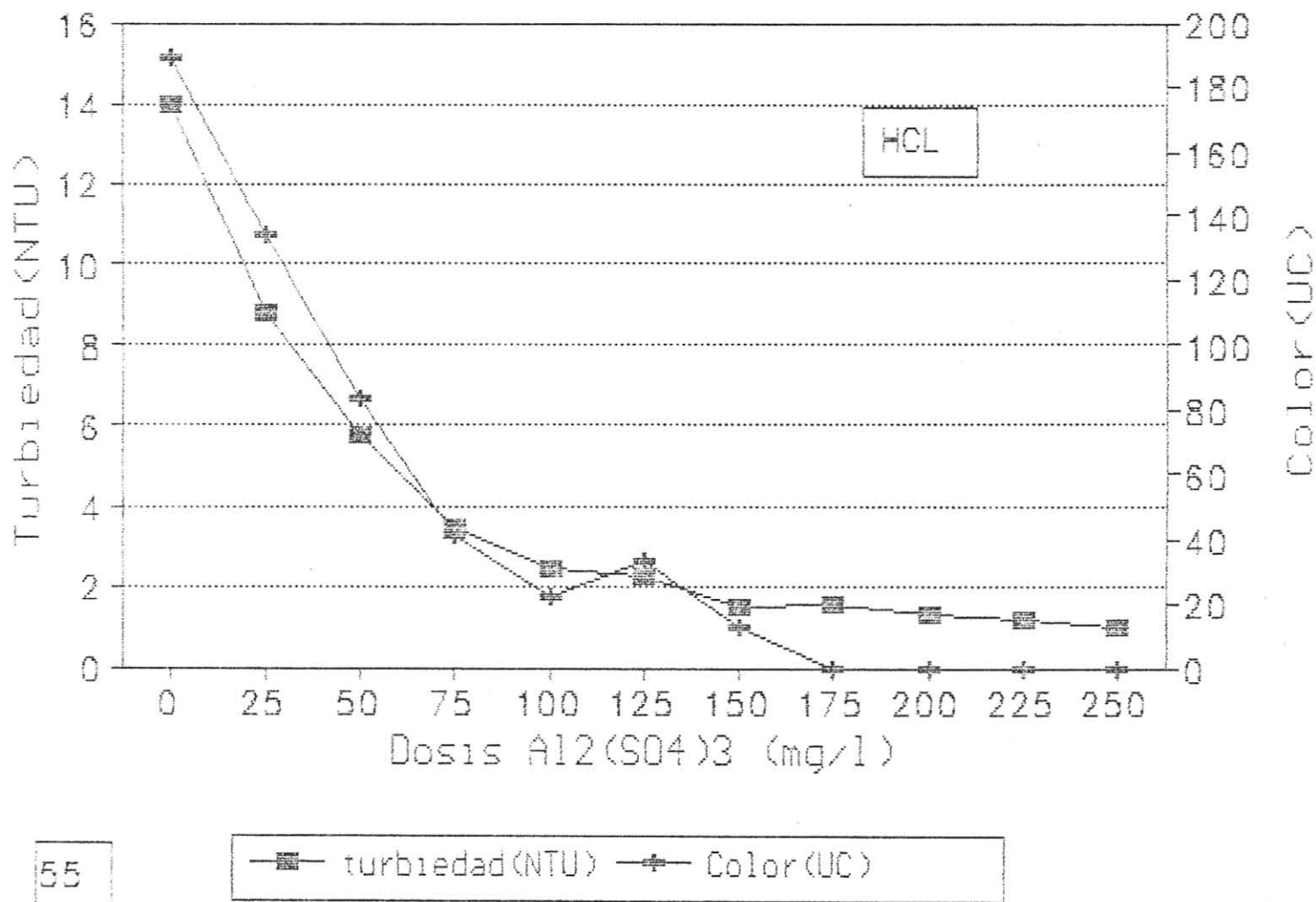


TABLA 5.14 RESULTADOS DEL PROCESO DE FILTRACION EXPRESADOS EN PROMEDIO

VARIABLE	UNIDAD	DOSIS mg/l : 250 ; S/ODR pH : 175 ; S/ODR pH : 75 ; D/ODR pH :		FILTRO 1 *		FILTRO 2 **	
		FILTRO 1A *	FILTRO 2 *	FILTRO 1 *	FILTRO 2 **	FILTRO 1A *	FILTRO 2 **
TASA DE FILTRACION	m ³ /m ² /dia	150.00	120.00	75.00	120.00	150.00	120.00
CAUDAL DE FILTRACION	l/h	40.00	32.00	20.00	32.00	40.00	32.00
TIEMPO DE RETENCION	MINUTOS	3.51	10.90	13.32	10.90	3.51	10.90
DURACION DE LA CARRERA	HORAS	35.80	33.88	44.50	40.17	47.28	48.35
CARRERA DE FILTRACION	HORAS	6.66	10.75	4.23	10.90	4.80	5.47
NUMERO DE CARRERAS	---	4.00	3.00	10.00	3.00	9.00	6.00
DURACION DE LAVADO	MINUTOS	22.00	22.00	11.00	12.00	21.00	21.00
EXPANSION DEL LECHO	%	20 - 25	20 - 25	20 - 25	22 - 25	20 - 25	20 - 25
VOLUMEN DEL FILTRADO	l	1,385.60	1,032.00	846.00	1,048.00	1,728.00	1,400.00
PERDIDA DE CARGA INICIAL	mm	108.00	124.00	207.70	131.00	122.00	104.00
PERDIDA DE CARGA FINAL	mm	583.00	890.00	824.40	824.00	533.00	888.00
TURBIDEDAD EFLUENTE	NTU	0.68	0.79	1.96	2.36	1.11	1.16
COLOR EFLUENTE	UC	13.18	14.16	82.90	85.75	23.16	13.22

* FILTRO 1A FLUJO ASCENDENTE

** FILTROS 1 Y 2 FLUJO DESCENDENTE

TABLA 5.15

CONTROL DE LA CALIDAD DEL AGUA EN EL SISTEMA DE TRATAMIENTO

Dosis coagulante 250 mg/l, sin corrección de pH

AGUA TRATADA				
PARAMETRO	UNIDAD	AGUA CRUDA	FILTRO 1	FILTRO 2
TEMPERATURA	°C	27.00	26.00	26.00
PH	-	9.34	7.02	7.12
TURBIEDAD	N.T.U.	16.00	1.10	1.20
COLOR	U.C.	207.00	13.00	12.00
SOLIDO DISUELTOS TOTALES	mg/l	545.00	456.00	491.00
D.O.O.	mgO ₂ /l	195.00	135.00	180.00
CLORURO	mg/l	230.00	222.00	217.00
HIERRO	mg/l	0.40	0.11	0.09
BORO	mg/l	2.38	1.77	1.79

21 de julio 1990

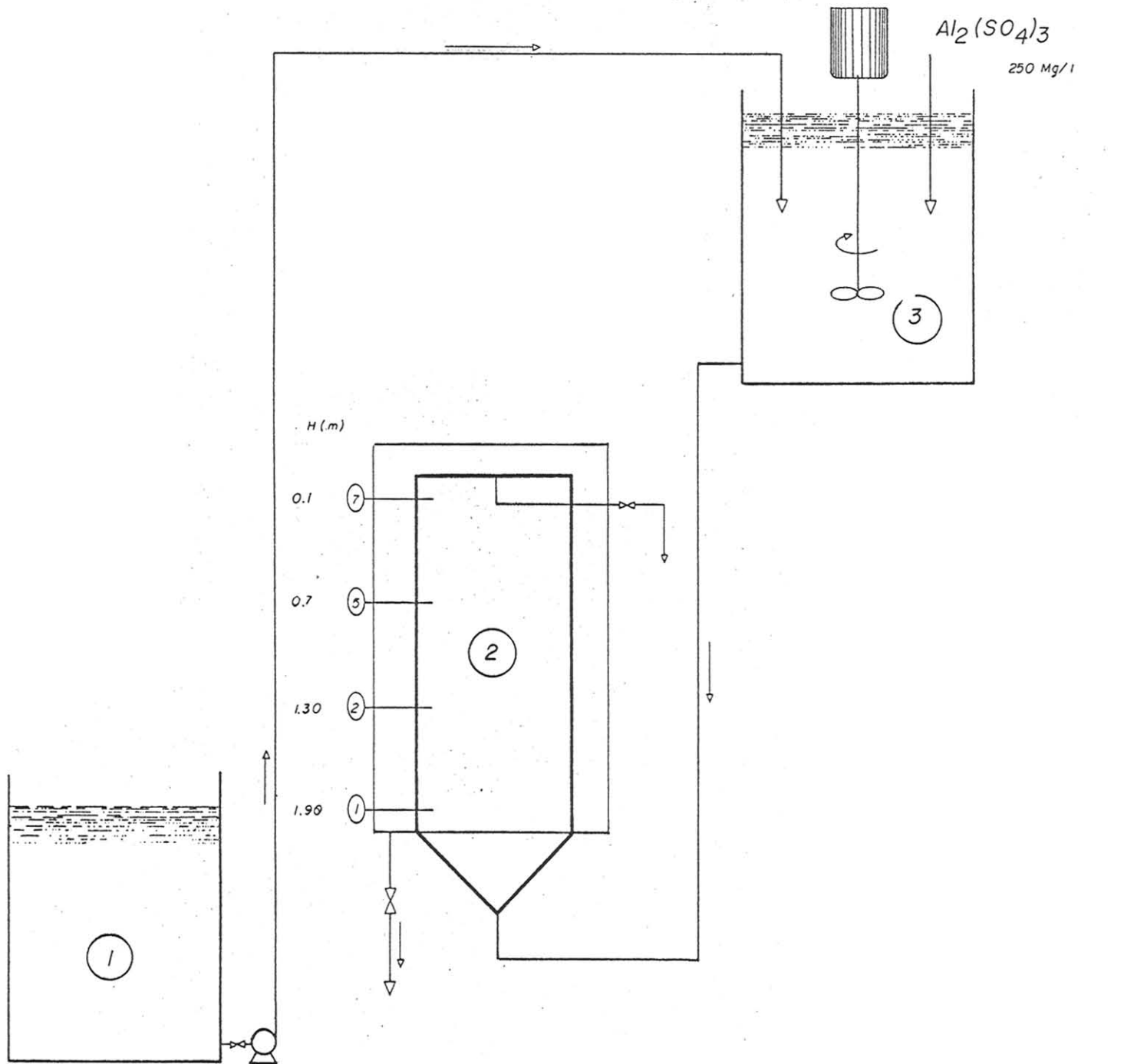
Dosis coagulante 110 mg/l, con corrección de pH hasta 7.0

AGUA TRATADA				
PARAMETRO	UNIDAD	AGUA CRUDA	FILTRO 1	FILTRO 2
TEMPERATURA	°C	27.00	26.00	26.00
PH	-	9.38	6.84	6.85
TURBIEDAD	N.T.U.	17.00	1.30	1.20
COLOR	U.C.	251.00	30.00	25.00
SOLIDO DISUELTOS TOTALES	mg/l	623.00	610.00	620.00
D.O.O.	mg/O ₂ /l	195.00	150.00	160.00
CLORURO	mg/l	207.00	205.00	200.00
HIERRO	mg/l	1.97	1.52	1.36
BORO	mg/l	3.17	2.85	2.73
E-COLI - TOTALES	N.M.F.	800.00	540.00	280.00
- FECALES	/100 ml	400.00	46.00	50.00

27 de junio 1990

ETI TRO 1 EL LITO ASCENDENTE

Fig. 5.15 INSTALACION PILOTO PARA ENSAYO DE LA SEDIMENTACION DE FLUJO VERTICAL



Tanque de agua cruda	1
Columna de sedimentación	2
Tanque de mezcla	3
Puntos de muestreo y altura de muestreo	1, 2, 5, 7, H m
Estructuras existentes en laboratorio proc. unitarios	1; 2; 3.

. Operación de la planta piloto

Se probó el sistema de la planta piloto durante un período de 406 horas continuas, con el fin de conocer la estabilidad de operación de la misma.

. Dosis coagulante

250, 175, y 100 mg/l. sin corrección de pH, operación 266 horas.

110 y 175 mg/l, con pH corregido a 7., operación 139 horas.

. Carga superficial y tiempo de retención

11.8 m/día de carga y 158 minutos (2.63 horas) de tiempo de retención.

. Tasas de filtración

120 y 75 m/día, para flujo descendente, F2 y F1.

150 m/día, para flujo ascendente. F1A.

. Material filtrante

Arena, cribado entre mallas 0.63 - 0.71, F1 y F1A. cribado entre mallas 0.90 - 1.6 para F2.

. Parámetros de control

Control de turbiedad y color en el afluente y efluente, con frecuencia de 2 horas. Además control eventual de e. coli fecales y totales en el efluente de los filtros.

. Discusión de resultados

Como bien se señalaba anteriormente sobre la disparidad de las condiciones hidráulicas entre el modelo y el prototipo (de flujo intermitente a flujo continuo). Es una realidad sobre todo en el proceso de floculación por las limitaciones de equipo de agitación, reflejado en el gradiente de velocidad implementado que es 2.9 veces mayor que el valor óptimo encontrado con el modelo de pruebas de jarra y probablemente sea una de las causas que intervienen en los valores más altos de color. Tablas 5.9 y 5.10.

La carga superficial durante el proceso de decantación fué de 11.8 m/día. Sin embargo, esta carga baja favorece al proceso de filtración por el uso en combinación con filtros de arena, observándose durante la experimentación un comportamiento aceptable con las dosis de 250, 175 y 75 mg/l de coagulante.

La Tabla 5.14 y la Figura 5.40, presentan los resultados del proceso de filtración alcanzándose carreras con duración de 33 y 49 horas de operación continua para las diferentes dosis de sulfato de aluminio.

De acuerdo a las Normas de calidad físico-químicas del agua potable "Organización Mundial de la Salud, 1972", la composición del agua tratada en la planta piloto se clasifica como buena; Tabla 5.15; para las dosis de coagulante de 250 mg/l sin pH corregido y 110 mg/l con pH corregido hasta 7. Para esta última dosis el hierro se encuentra fuera de norma.

CONCLUSIONES

- Mediante los ensayos de prueba de jarra se concluye que la concentración de la dosis de coagulante sulfato de aluminio es alta, sin la corrección del pH del agua cruda y disminuye sensiblemente de 250 mg/l a 75 mg/l, al modificar el pH del agua cruda de 9.13 hasta 7.0. Obteniéndose remanentes de unidades de color de 15 y 22 y los remanentes de turbiedad 2.5 y 3.5 NTU; con GT total de 125,000.
- El ensayo en la columna de sedimentación de volumen limitado, permitió evaluar el comportamiento de la suspensión floculada de 250 mg/l de sulfato de aluminio, con eficiencia de 80%.
- La reproducción de los procesos batch a procesos dinámicos en la filtración rápida son aceptables en cuanto a las dosis óptimas de 250 mg/l y 75 mg/l (pH=7), de coagulante. Las carreras de filtración para el filtro de flujo ascendente fué de 8.66 horas y para el filtro de flujo descendente fué 10.75 horas para la dosis de 250 mg/l. Las carreras de filtración para 75 mg/l, disminuyeron prácticamente a la mitad respectivamente.
- Los resultados finales de la prueba continua en cuanto a la calidad del efluente, se calificó como buena. Se logró la eliminación de sustancias objetables en cuanto a turbiedad y color con eficiencia de 90%, el hierro se eliminó hasta en un 30% y la remoción de ecoli fecales y totales fué de 80% y 30%.