

## INFORME PRUEBAS DE TRATABILIDAD

### MES TRES DE ESTUDIO.

### GRADO DE AVANCE 100%

#### OBJETIVO.

Encontrar las condiciones óptimas de tratabilidad (dosis, tiempo, pH y gradiente óptimo) y velocidad de sedimentación crítica, para la planta de potabilización de Anserma en diferentes condiciones climáticas, principalmente en temporada invernal y de verano, tratando de abarcar la mayor cantidad de escenarios posibles.

#### JUSTIFICACIÓN.

La determinación de las condiciones óptimas de tratabilidad y los parámetros de diseño (Velocidad de Sedimentación Crítica), permiten diseñar, construir y operar correctamente las plantas de potabilización, brindando una mejor calidad de agua a la población que se surte de ella, además de reducir costos en la operación y mantenimiento de la planta.

#### INTRODUCCIÓN.

Tal y como lo sugiere el RAS 2000, título C, Capítulo C.2, *“para la selección de los procesos de tratamiento previos o paralelos al diseño de una planta, deben realizarse ensayos en el laboratorio siendo obligatorio entre estos, el Ensayo de Jarras; y posteriormente, si se justifica, realizar ensayos en planta piloto para determinar el tratamiento al que debe ser sometida el agua. Para los niveles bajo y medio de complejidad no se recomienda la realización de los ensayos de planta piloto, a menos que se estudie un nuevo proceso o variables desconocidas que no pueden ser analizadas en el laboratorio. La prueba de jarras es obligatoria para cualquier nivel de complejidad, no solamente para los estudios de tratabilidad en el proceso de diseño, sino también diariamente, durante la operación de la planta, y cada vez que se presenten cambios en la calidad del agua”*.

## METODOLOGÍA.

### SELECCIÓN DEL MÉTODO DE ANÁLISIS.

El método a seguir en las pruebas de tratabilidad se basará en lo establecido por el RAS 2000, título C, el cual estipula que el procedimiento para las pruebas de jarras deben guiarse por la Norma Técnica Colombiana NTC 3903, además se considerará que todo análisis de laboratorio debe hacerse de acuerdo a la normatividad vigente y en su ausencia con los métodos estándar Normas ASTM; Standard Methods for the Examination of Water and Waste Water de la APHA, AWWA y WPCF. Adicional a esto las pruebas de laboratorio se establecerán a lo propuesto por autores como Arboleda Valencia [1], Casas Reyes [2] y Pérez Parra [3].

Por su parte en la determinación de tiempo óptimo de floculación y gradiente óptimo se tomarán los intervalos propuesto por el RAS para el diseño de floculadores hidráulicos y mecánicos, así:

Floculador	Variables	Intervalo.
Hidráulico	Tiempo	[20 – 30] minutos
	Gradiente	[20 – 70] s <sup>-1</sup>
Alabama	Tiempo	[20 – 40] minutos
	Gradiente	[20 – 70] s <sup>-1</sup>
Mecánico.	Tiempo	[20 – 40] minutos
	Gradiente	[15 – 75] s <sup>-1</sup>

Para evaluar cualitativamente el floc producido se usará el índice de Wilcomb, que se indica en la tabla siguiente:

Número de Índice	Descripción.
0	Ningún signo de aglutinamiento.
2	Floc muy pequeño, casi imperceptible
4	Floc que sedimenta muy lentamente o no sedimenta
6	Floc de tamaño relativamente grande, esponjoso, que sedimenta con lentitud.
8	Floc de sedimentación fácil aunque deja algo de turbiedad en el agua.
10	Floc de muy buena sedimentación que deja agua cristalina.

PROCEDIMIENTO DE JARRAS PARA DETERMINACIÓN DE DOSIS, TIEMPO Y GRADIENTE ÓPTIMO.

(Procedimiento tomado de Casas Reyes)

DETERMINACIÓN DE LA DOSIS ÓPTIMA.

En esta prueba se busca formar un floc compacto y pesado que pueda ser removido por sedimentación o que pueda ser retenido en un filtro.

Pasos:

1. Al agua cruda se le determina: temperatura, turbiedad, color y pH.
2. En cada una de las jarras poner dos litros de agua, previamente agitada
3. Tomar volúmenes conocidos de coagulante (Policloruro de Aluminio – PAC -) dada una concentración de 1% (P/V), para dosificar en las 6 jarras, de acuerdo a la siguiente tabla:

Jarra	Dosis de Coagulante [mg/L]	Concentración de la solución de Coagulante [%]					
		10 %	5%	2%	<b>1%</b>	0,5%	0,1%
		[ml] de coagulante.					
1	10	0,2	0,4	1,0	<b>2,0</b>	4,0	20,0
	15	0,3	0,6	1,5	3,0	6,0	30,0
2	20	0,4	0,8	2,0	<b>4,0</b>	8,0	40,0
	25	0,5	1,0	2,5	5,0	10,0	50,0
3	30	0,6	1,2	3,0	<b>6,0</b>	12,0	60,0
	35	0,7	1,4	3,5	7,0	14,0	70,0
4	40	0,8	1,6	4,0	<b>8,0</b>	16,0	80,0
	45	0,9	1,8	4,5	9,0	18,0	90,0
5	50	1,0	2,0	5,0	<b>10,0</b>	20,0	100,0
	55	1,1	2,2	5,5	11,0	22,0	110,0
6	60	1,2	2,4	6,0	<b>12,0</b>	24,0	120,0

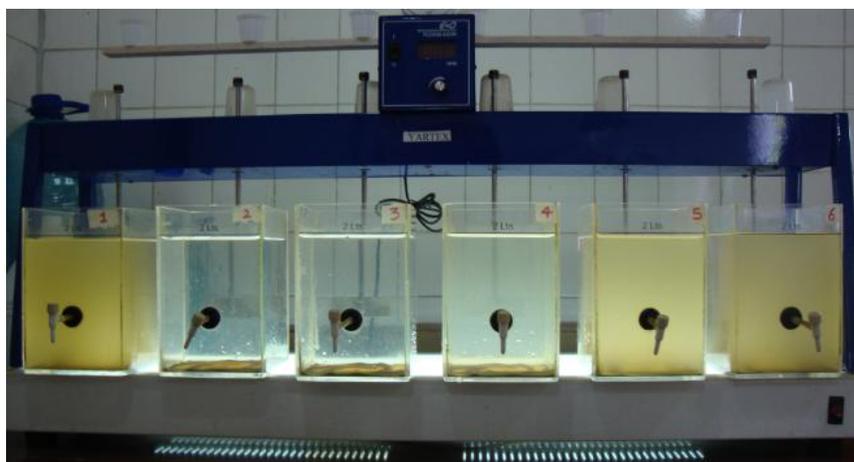
4. Ubicar las paletas dentro de las jarras.
5. Poner el sistema de agitación al máximo (300 rpm).
6. Durante la agitación, se dosifica el coagulante, de modo que en todas las jarras se aplique a la misma profundidad y al mismo tiempo.
7. A los 20 o 30 segundos de agitación, se disminuye la velocidad de rotación de las paletas a 30 rpm y se deja flocular durante 15 minutos.

8. Transcurrido el tiempo de floculación, se suspende la agitación y se extrae las paletas, ubicando las jarras con sumo cuidado sobre la mesa.
9. Pasados 5 minutos de sedimentación se toman muestras de cada jarra a la misma profundidad y al mismo tiempo, y se le determina turbiedad, color, pH e índice de Wilcomb. La jarra con las mejores características se define como la optima.

**Figura 1.** Agua Cruda.



**Figura 2.** Agua Clarificada en la determinación de Dosis Optima. Se puede observar que la jarra 3 posee las mejores características y corresponde a la dosis óptima.



DETERMINACIÓN DEL TIEMPO DE FLOCULACIÓN ÓPTIMO.

Con este ensayo se encuentra el tiempo óptimo de mezcla lenta o de floculación para la cual se obtengan los mejores resultados, manteniendo las condiciones de operación anteriormente encontradas:

1. Se realiza el ensayo adicionando la dosis óptima de coagulante para el tiempo de coagulación de 30 segundos.
2. Se selecciona el tiempo de floculación de acuerdo a los valores de la tabla resumen.

Floculador	Variables	Intervalo.
Hidráulico	Tiempo	[20 – 30] minutos
	Gradiente	[20 – 70] s <sup>-1</sup>
Alabama	Tiempo	[20 – 40] minutos
	Gradiente	[20 – 70] s <sup>-1</sup>
Mecánico.	Tiempo	[20 – 40] minutos
	Gradiente	[15 – 75] s <sup>-1</sup>

3. Se identifica con el cronometro el tiempo inicial de la floculación. Tan pronto ocurra el tiempo de floculación seleccionado se deja sedimentar por 5 minutos y se toman los valores de turbiedad, color, pH e índice de Wilcomb.

#### DETERMINACIÓN DE GRADIENTE ÓPTIMO.

Este ensayo permite encontrar el gradiente de mezcla lenta que mejores resultados aporte en el proceso. Debido a que las seis paletas no pueden colocarse en rotación independientemente se requiera efectuar el ensayo jarra por jarra, dado el tiempo y dosis Óptima.

1. Primero se selecciona el gradiente a estudiar de acuerdo a la tabla resumen antes mencionada. Una vez seleccionado el gradiente y de acuerdo a la siguiente grafica se determina la velocidad de rotación en RPM que se desea evaluar dependiendo de la temperatura del agua y la geometría de la Jarra (En este caso Jarras de de dos litro de forma cuadrada).



1. Se toma la muestra de agua en 6 jarras de 2 litros.
2. Se someten a las condiciones de dosis, gradiente y tiempo óptimo.
3. Después de realizar la coagulación-floculación, se retiran los agitadores de los recipientes y se extraen las muestras a la misma profundidad cada determinado intervalo de tiempo; dividiendo la profundidad de toma de la muestra por el tiempo transcurrido, se determina en cada caso la velocidad de sedimentación y se mide para cada muestra la turbiedad residual.

**Figura 3.** Agua Clarificada bajo condiciones gradiente y tiempo optimo.



**TABLAS DE RESULTADOS DE LAS CONDICIONES ÓPTIMAS DE OPERACIÓN PARA EL PRIMER, SEGUNDO Y TERCER MES DEL ESTUDIO CORRESPONDIENTE A 90 ANÁLISIS COMPLETOS, PARA UN TIEMPO CLIMATOLÓGICO VARIABLE.**

**DATOS PARA EL MES 3 DE ESTUDIO.**

DÍA	CONDICIONES AGUA CRUDA		CONDICIONES OPTIMAS			CONDICIONES AGUA CLARIFICADA (propiedades residuales)			CONDICIONES AGUA FILTRADA	
			Dosis [mg/l]	Tiempo [min]	Gradiente [s <sup>-1</sup> ]					
1	TURBIEDAD [NTU]	4,21	10	25	15	TURBIEDAD [NTU]	2,95	ÍNDICE DE FLOCULACIÓN DE WILCOMB 4	TURBIEDAD [NTU]	0,26
	COLOR [PCU]	70				COLOR [PCU]	30		COLOR [PCU]	6
	pH	7,5				pH	7,45		ALUMINIO [mg/l]	0,07
2	TURBIEDAD [NTU]	2,99	10	35	15	TURBIEDAD [NTU]	2,15	ÍNDICE DE FLOCULACIÓN DE WILCOMB 4	TURBIEDAD [NTU]	0,37
	COLOR [PCU]	40				COLOR [PCU]	20		COLOR [PCU]	5
	pH	7,72				pH	7,56		ALUMINIO [mg/l]	0,07
3	TURBIEDAD [NTU]	8,76	15	25	20	TURBIEDAD [NTU]	2,15	ÍNDICE DE FLOCULACIÓN DE WILCOMB 6	TURBIEDAD [NTU]	0,33
	COLOR [PCU]	80				COLOR [PCU]	30		COLOR [PCU]	3
	pH	7,5				pH	7,32		ALUMINIO [mg/l]	0,07
4	TURBIEDAD [NTU]	6,1	15	30	15	TURBIEDAD [NTU]	2,59	ÍNDICE DE FLOCULACIÓN DE WILCOMB 6	TURBIEDAD [NTU]	0,26
	COLOR [PCU]	70				COLOR [PCU]	8		COLOR [PCU]	6
	pH	7,48				pH	7,46		ALUMINIO [mg/l]	0,07
5	TURBIEDAD [NTU]	60,4	15	35	20	TURBIEDAD [NTU]	2,85	ÍNDICE DE FLOCULACIÓN DE WILCOMB 8	TURBIEDAD [NTU]	0,34
	COLOR [PCU]	270				COLOR [PCU]	20		COLOR [PCU]	5
	pH	7,67				pH	7,44		ALUMINIO [mg/l]	0-0,07
6	TURBIEDAD [NTU]	15,7	10	25	20	TURBIEDAD [NTU]	2,45	ÍNDICE DE FLOCULACIÓN DE WILCOMB 6	TURBIEDAD [NTU]	0,28
	COLOR [PCU]	100				COLOR [PCU]	20		COLOR [PCU]	2
	pH	7,83				pH	7,46		ALUMINIO [mg/l]	0,07
7	TURBIEDAD [NTU]	7,22	10	30	15	TURBIEDAD [NTU]	2,76	ÍNDICE DE FLOCULACIÓN DE WILCOMB 6	TURBIEDAD [NTU]	0,3
	COLOR [PCU]	40				COLOR [PCU]	30		COLOR [PCU]	2
	pH	7,21				pH	7,08		ALUMINIO [mg/l]	0,07
8	TURBIEDAD [NTU]	168	30	35	20	TURBIEDAD [NTU]	2,48	ÍNDICE DE FLOCULACIÓN DE WILCOMB 8	TURBIEDAD [NTU]	0,38
	COLOR [PCU]	880				COLOR [PCU]	30		COLOR [PCU]	4
	pH	7,56				pH	7,01		ALUMINIO [mg/l]	0-0,07

DÍA	CONDICIONES AGUA CRUDA		CONDICIONES OPTIMAS			CONDICIONES AGUA CLARIFICADA (propiedades residuales)			CONDICIONES AGUA FILTRADA	
			Dosis [mg/l]	Tiempo [min]	Gradiente [s <sup>-1</sup> ]					
9	TURBIEDAD [NTU]	30,9	20	30	20	TURBIEDAD [NTU]	3,26	ÍNDICE DE FLOCULACIÓN DE WILCOMB 6	TURBIEDAD [NTU]	0,68
	COLOR [PCU]	250				COLOR [PCU]	30		COLOR [PCU]	6
	pH	7,55				pH	7,38		ALUMINIO [mg/l]	0-0,07
10	TURBIEDAD [NTU]	4,2	7,5	35	15	TURBIEDAD [NTU]	2,37	ÍNDICE DE FLOCULACIÓN DE WILCOMB 6	TURBIEDAD [NTU]	0,33
	COLOR [PCU]	30				COLOR [PCU]	20		COLOR [PCU]	10
	pH	7,26				pH	7,25		ALUMINIO [mg/l]	0,12
11	TURBIEDAD [NTU]	45,5	20	30	20	TURBIEDAD [NTU]	2,54	ÍNDICE DE FLOCULACIÓN DE WILCOMB 8	TURBIEDAD [NTU]	0,33
	COLOR [PCU]	330				COLOR [PCU]	20		COLOR [PCU]	10
	pH	7,36				pH	7,2		ALUMINIO [mg/l]	0,07
12	TURBIEDAD [NTU]	8,38	10	30	15	TURBIEDAD [NTU]	2,51	ÍNDICE DE FLOCULACIÓN DE WILCOMB 6	TURBIEDAD [NTU]	0,31
	COLOR [PCU]	70				COLOR [PCU]	20		COLOR [PCU]	10
	pH	15				pH	7,51		ALUMINIO [mg/l]	0,12
13	TURBIEDAD [NTU]	10,1	10	30	15	TURBIEDAD [NTU]	2,74	ÍNDICE DE FLOCULACIÓN DE WILCOMB 6	TURBIEDAD [NTU]	0,39
	COLOR [PCU]	80				COLOR [PCU]	20		COLOR [PCU]	4
	pH	7,56				pH	7,43		ALUMINIO [mg/l]	0,07
14	TURBIEDAD [NTU]	210	20	40	20	TURBIEDAD [NTU]	1,81	ÍNDICE DE FLOCULACIÓN DE WILCOMB 8	TURBIEDAD [NTU]	0,36
	COLOR [PCU]	820				COLOR [PCU]	10		COLOR [PCU]	3
	pH	7,53				pH	7,31		ALUMINIO [mg/l]	0,07
15	TURBIEDAD [NTU]	4,26	7,5	40	15	TURBIEDAD [NTU]	2,67	ÍNDICE DE FLOCULACIÓN DE WILCOMB 4	TURBIEDAD [NTU]	0,38
	COLOR [PCU]	40				COLOR [PCU]	20		COLOR [PCU]	1
	pH	7,61				pH	7,49		ALUMINIO [mg/l]	0,12
16	TURBIEDAD [NTU]	2,1	7,5	40	15	TURBIEDAD [NTU]	1,68	ÍNDICE DE FLOCULACIÓN DE WILCOMB 4	TURBIEDAD [NTU]	0,52
	COLOR [PCU]	40				COLOR [PCU]	20		COLOR [PCU]	10
	pH	7,07				pH	7,04		ALUMINIO [mg/l]	0,07
17	TURBIEDAD [NTU]	2,23	7,5	35	15	TURBIEDAD [NTU]	1,56	ÍNDICE DE FLOCULACIÓN DE WILCOMB 4	TURBIEDAD [NTU]	0,39
	COLOR [PCU]	30				COLOR [PCU]	20		COLOR [PCU]	7
	pH	7,15				pH	7,1		ALUMINIO [mg/l]	0,07

DÍA	CONDICIONES AGUA CRUDA		CONDICIONES OPTIMAS			CONDICIONES AGUA CLARIFICADA (propiedades residuales)			CONDICIONES AGUA FILTRADA	
			Dosis [mg/l]	Tiempo [min]	Gradiente [s <sup>-1</sup> ]					
18	TURBIEDAD [NTU]	44,1	15	40	20	TURBIEDAD [NTU]	2,72	ÍNDICE DE FLOCULACIÓN DE WILCOMB 8	TURBIEDAD [NTU]	0,5
	COLOR [PCU]	280				COLOR [PCU]	10		COLOR [PCU]	3
	pH	7,26				pH	6,97		ALUMINIO [mg/l]	0-0,07
19	TURBIEDAD [NTU]	108	15	35	20	TURBIEDAD [NTU]	3,27	ÍNDICE DE FLOCULACIÓN DE WILCOMB 8	TURBIEDAD [NTU]	0,68
	COLOR [PCU]	600				COLOR [PCU]	20		COLOR [PCU]	10
	pH	7,01				pH	6,89		ALUMINIO [mg/l]	0,07
20	TURBIEDAD [NTU]	43,4	15	25	20	TURBIEDAD [NTU]	3,59	ÍNDICE DE FLOCULACIÓN DE WILCOMB 6	TURBIEDAD [NTU]	0,6
	COLOR [PCU]	250				COLOR [PCU]	30		COLOR [PCU]	5
	pH	7,5				pH	7,34		ALUMINIO [mg/l]	0,07
21	TURBIEDAD [NTU]	1,86	10	35	15	TURBIEDAD [NTU]	1,18	ÍNDICE DE FLOCULACIÓN DE WILCOMB 4	TURBIEDAD [NTU]	0,87
	COLOR [PCU]	30				COLOR [PCU]	10		COLOR [PCU]	6
	pH	7,54				pH	7,45		ALUMINIO [mg/l]	0,36
22	TURBIEDAD [NTU]	13,1	15	30	20	TURBIEDAD [NTU]	1,88	ÍNDICE DE FLOCULACIÓN DE WILCOMB 6	TURBIEDAD [NTU]	0,51
	COLOR [PCU]	60				COLOR [PCU]	20		COLOR [PCU]	8
	pH	7,41				pH	7,25		ALUMINIO [mg/l]	0,07
23	TURBIEDAD [NTU]	6,51	10	35	20	TURBIEDAD [NTU]	2,17	ÍNDICE DE FLOCULACIÓN DE WILCOMB 6	TURBIEDAD [NTU]	0,71
	COLOR [PCU]	70				COLOR [PCU]	20		COLOR [PCU]	10
	pH	7,38				pH	7,33		ALUMINIO [mg/l]	0,12
24	TURBIEDAD [NTU]	22,4	25	30	15	TURBIEDAD [NTU]	8,19	ÍNDICE DE FLOCULACIÓN DE WILCOMB 6	TURBIEDAD [NTU]	0,98
	COLOR [PCU]	310				COLOR [PCU]	50		COLOR [PCU]	20
	pH	7,11				pH	7,01		ALUMINIO [mg/l]	0,2
25	TURBIEDAD [NTU]	58,1	25	35	20	TURBIEDAD [NTU]	2,33	ÍNDICE DE FLOCULACIÓN DE WILCOMB 8	TURBIEDAD [NTU]	0,47
	COLOR [PCU]	330				COLOR [PCU]	30		COLOR [PCU]	10
	pH	7,21				pH	7,09		ALUMINIO [mg/l]	0,12
26	TURBIEDAD [NTU]	67,2	15	35	20	TURBIEDAD [NTU]	2,2	ÍNDICE DE FLOCULACIÓN DE WILCOMB 8	TURBIEDAD [NTU]	0,84
	COLOR [PCU]	230				COLOR [PCU]	30		COLOR [PCU]	10
	pH	7,66				pH	7,52		ALUMINIO [mg/l]	0,12

DÍA	CONDICIONES AGUA CRUDA		CONDICIONES OPTIMAS			CONDICIONES AGUA CLARIFICADA (propiedades residuales)			CONDICIONES AGUA FILTRADA	
			Dosis [mg/l]	Tiempo [min]	Gradiente [s <sup>-1</sup> ]			ÍNDICE DE FLOCULACIÓN DE WILCOMB		
27	TURBIEDAD [NTU]	6,09	10	30	15	TURBIEDAD [NTU]	1,95	4	TURBIEDAD [NTU]	0,53
	COLOR [PCU]	40				COLOR [PCU]	20		COLOR [PCU]	10
	pH	7,54				pH	7,5		ALUMINIO [mg/l]	0,2
28	TURBIEDAD [NTU]	39,8	15	40	20	TURBIEDAD [NTU]	2,88	6	TURBIEDAD [NTU]	0,72
	COLOR [PCU]	270				COLOR [PCU]	30		COLOR [PCU]	7
	pH	7,56				pH	7,31		ALUMINIO [mg/l]	0,07
29	TURBIEDAD [NTU]	87,5	20	35	20	TURBIEDAD [NTU]	2,29	10	TURBIEDAD [NTU]	0,33
	COLOR [PCU]	420				COLOR [PCU]	30		COLOR [PCU]	10
	pH	7,15				pH	7,15		ALUMINIO [mg/l]	0,07
30	TURBIEDAD [NTU]	9,1	12,5	40	15	TURBIEDAD [NTU]	1,82	8	TURBIEDAD [NTU]	0,41
	COLOR [PCU]	65				COLOR [PCU]	10		COLOR [PCU]	3
	pH	7,32				pH	7,25		ALUMINIO [mg/l]	0,07

**DATOS PARA EL MES 2 DE ESTUDIO.**

DÍA	CONDICIONES AGUA CRUDA		CONDICIONES OPTIMAS			CONDICIONES AGUA CLARIFICADA (propiedades residuales)			CONDICIONES AGUA FILTRADA	
			Dosis [mg/l]	Tiempo [min]	Gradiente [s <sup>-1</sup> ]					
1	TURBIEDAD [NTU]	267	30	25	20	TURBIEDAD [NTU]	2,93	ÍNDICE DE FLOCULACIÓN DE WILCOMB 8	TURBIEDAD [NTU]	-
	COLOR [PCU]	990				COLOR [PCU]	30		COLOR [PCU]	-
	pH	7,39				pH	7,19		ALUMINIO [mg/l]	-
2	TURBIEDAD [NTU]	5,09	10	30	20	TURBIEDAD [NTU]	1,61	ÍNDICE DE FLOCULACIÓN DE WILCOMB 4	TURBIEDAD [NTU]	-
	COLOR [PCU]	30				COLOR [PCU]	30		COLOR [PCU]	-
	pH	7,42				pH	7,33		ALUMINIO [mg/l]	0,12
3	TURBIEDAD [NTU]	1,96	5	35	15	TURBIEDAD [NTU]	1,41	ÍNDICE DE FLOCULACIÓN DE WILCOMB 2	TURBIEDAD [NTU]	0,95
	COLOR [PCU]	20				COLOR [PCU]	8		COLOR [PCU]	4
	pH	7,84				pH	7,5		ALUMINIO [mg/l]	0,12
4	TURBIEDAD [NTU]	122	20	35	20	TURBIEDAD [NTU]	2,86	ÍNDICE DE FLOCULACIÓN DE WILCOMB 10	TURBIEDAD [NTU]	1,36
	COLOR [PCU]	600				COLOR [PCU]	30		COLOR [PCU]	20
	pH	7,53				pH	7,15		ALUMINIO [mg/l]	0,12
5	TURBIEDAD [NTU]	61,3	15	35	20	TURBIEDAD [NTU]	2,22	ÍNDICE DE FLOCULACIÓN DE WILCOMB 8	TURBIEDAD [NTU]	0,84
	COLOR [PCU]	330				COLOR [PCU]	30		COLOR [PCU]	20
	pH	7,66				pH	7,32		ALUMINIO [mg/l]	0,12
6	TURBIEDAD [NTU]	2,89	10	35	15	TURBIEDAD [NTU]	1,87	ÍNDICE DE FLOCULACIÓN DE WILCOMB 4	TURBIEDAD [NTU]	0,46
	COLOR [PCU]	40				COLOR [PCU]	30		COLOR [PCU]	20
	pH	7,48				pH	7,27		ALUMINIO [mg/l]	0,12
7	TURBIEDAD [NTU]	2,45	7,5	35	15	TURBIEDAD [NTU]	1,65	ÍNDICE DE FLOCULACIÓN DE WILCOMB 4	TURBIEDAD [NTU]	0,48
	COLOR [PCU]	30				COLOR [PCU]	20		COLOR [PCU]	10
	pH	7,18				pH	7,27		ALUMINIO [mg/l]	0,12
8	TURBIEDAD [NTU]	2,2	7,5	30	15	TURBIEDAD [NTU]	1,53	ÍNDICE DE FLOCULACIÓN DE WILCOMB 4	TURBIEDAD [NTU]	0,94
	COLOR [PCU]	30				COLOR [PCU]	10		COLOR [PCU]	10
	pH	7,56				pH	7,52		ALUMINIO [mg/l]	0,12

DÍA	CONDICIONES AGUA CRUDA		CONDICIONES OPTIMAS			CONDICIONES AGUA CLARIFICADA (propiedades residuales)			CONDICIONES AGUA FILTRADA	
			Dosis [mg/l]	Tiempo [min]	Gradiente [s <sup>-1</sup> ]					
9	TURBIEDAD [NTU]	1,85	7,5	30	15	TURBIEDAD [NTU]	1,47	ÍNDICE DE FLOCULACIÓN DE WILCOMB 4	TURBIEDAD [NTU]	0,22
	COLOR [PCU]	30				COLOR [PCU]	20		COLOR [PCU]	20
	pH	7,59				pH	7,57		ALUMINIO [mg/l]	0,12
10	TURBIEDAD [NTU]	2,45	10	35	15	TURBIEDAD [NTU]	1,65	ÍNDICE DE FLOCULACIÓN DE WILCOMB 4	TURBIEDAD [NTU]	0,48
	COLOR [PCU]	30				COLOR [PCU]	20		COLOR [PCU]	10
	pH	7,18				pH	7,2		ALUMINIO [mg/l]	0,12
11	TURBIEDAD [NTU]	156	30	35	20	TURBIEDAD [NTU]	2,47	ÍNDICE DE FLOCULACIÓN DE WILCOMB 8	TURBIEDAD [NTU]	0,54
	COLOR [PCU]	960				COLOR [PCU]	30		COLOR [PCU]	30
	pH	7,19				pH	7,19		ALUMINIO [mg/l]	0,07
12	TURBIEDAD [NTU]	81,3	35	35	20	TURBIEDAD [NTU]	2,65	ÍNDICE DE FLOCULACIÓN DE WILCOMB 10	TURBIEDAD [NTU]	0,38
	COLOR [PCU]	500				COLOR [PCU]	50		COLOR [PCU]	10
	pH	7,17				pH	7,02		ALUMINIO [mg/l]	0,12
13	TURBIEDAD [NTU]	4,38	15	25	15	TURBIEDAD [NTU]	2,17	ÍNDICE DE FLOCULACIÓN DE WILCOMB 4	TURBIEDAD [NTU]	0,56
	COLOR [PCU]	60				COLOR [PCU]	30		COLOR [PCU]	10
	pH	7,17				pH	7,07		ALUMINIO [mg/l]	0,07
14	TURBIEDAD [NTU]	3,89	10	30	15	TURBIEDAD [NTU]	3,32	ÍNDICE DE FLOCULACIÓN DE WILCOMB 4	TURBIEDAD [NTU]	0,48
	COLOR [PCU]	50				COLOR [PCU]	20		COLOR [PCU]	20
	pH	7,67				pH	7,46		ALUMINIO [mg/l]	0,12
15	TURBIEDAD [NTU]	2,99	10	30	15	TURBIEDAD [NTU]	2,07	ÍNDICE DE FLOCULACIÓN DE WILCOMB 4	TURBIEDAD [NTU]	0,43
	COLOR [PCU]	30				COLOR [PCU]	20		COLOR [PCU]	10
	pH	7,41				pH	7,15		ALUMINIO [mg/l]	0,07
16	TURBIEDAD [NTU]	174	20	35	20	TURBIEDAD [NTU]	2,39	ÍNDICE DE FLOCULACIÓN DE WILCOMB 10	TURBIEDAD [NTU]	0,85
	COLOR [PCU]	840				COLOR [PCU]	40		COLOR [PCU]	10
	pH	7,69				pH	7,11		ALUMINIO [mg/l]	0,07
17	TURBIEDAD [NTU]	116	15	30	20	TURBIEDAD [NTU]	3,47	ÍNDICE DE FLOCULACIÓN DE WILCOMB 10	TURBIEDAD [NTU]	0,76
	COLOR [PCU]	640				COLOR [PCU]	30		COLOR [PCU]	20
	pH	7,6				pH	7,28		ALUMINIO [mg/l]	0,07

DÍA	CONDICIONES AGUA CRUDA		CONDICIONES OPTIMAS			CONDICIONES AGUA CLARIFICADA (propiedades residuales)			CONDICIONES AGUA FILTRADA	
			Dosis [mg/l]	Tiempo [min]	Gradiente [s <sup>-1</sup> ]					
18	TURBIEDAD [NTU]	43,2	10	35	15	TURBIEDAD [NTU]	3,56	ÍNDICE DE FLOCULACIÓN DE WILCOMB 10	TURBIEDAD [NTU]	0,72
	COLOR [PCU]	250				COLOR [PCU]	10		COLOR [PCU]	10
	pH	7,47				pH	7,42		ALUMINIO [mg/l]	0,07
19	TURBIEDAD [NTU]	6,98	10	35	15	TURBIEDAD [NTU]	2,51	ÍNDICE DE FLOCULACIÓN DE WILCOMB 6	TURBIEDAD [NTU]	0,38
	COLOR [PCU]	80				COLOR [PCU]	20		COLOR [PCU]	20
	pH	7,51				pH	7,52		ALUMINIO [mg/l]	0,07
20	TURBIEDAD [NTU]	2,04	7,5	30	20	TURBIEDAD [NTU]	1,65	ÍNDICE DE FLOCULACIÓN DE WILCOMB 4	TURBIEDAD [NTU]	0,23
	COLOR [PCU]	30				COLOR [PCU]	10		COLOR [PCU]	8
	pH	7,47				pH	7,35		ALUMINIO [mg/l]	0,07
21	TURBIEDAD [NTU]	18,2	12,5	40	15	TURBIEDAD [NTU]	1,75	ÍNDICE DE FLOCULACIÓN DE WILCOMB 6	TURBIEDAD [NTU]	0,78
	COLOR [PCU]	130				COLOR [PCU]	10		COLOR [PCU]	0
	pH	7,62				pH	7,52		ALUMINIO [mg/l]	0,07
22	TURBIEDAD [NTU]	86,7	30	30	15	TURBIEDAD [NTU]	3,52	ÍNDICE DE FLOCULACIÓN DE WILCOMB 8	TURBIEDAD [NTU]	0,84
	COLOR [PCU]	560				COLOR [PCU]	40		COLOR [PCU]	3
	pH	7,61				pH	6,95		ALUMINIO [mg/l]	0,07
23	TURBIEDAD [NTU]	16,9	10	35	15	TURBIEDAD [NTU]	4,59	ÍNDICE DE FLOCULACIÓN DE WILCOMB 6	TURBIEDAD [NTU]	1,58
	COLOR [PCU]	130				COLOR [PCU]	30		COLOR [PCU]	20
	pH	7,59				pH	7,54		ALUMINIO [mg/l]	0,12
24	TURBIEDAD [NTU]	11,7	30	20	15	TURBIEDAD [NTU]	5,22	ÍNDICE DE FLOCULACIÓN DE WILCOMB 6	TURBIEDAD [NTU]	0,72
	COLOR [PCU]	160				COLOR [PCU]	80		COLOR [PCU]	20
	pH	7,21				pH	7,2		ALUMINIO [mg/l]	0,07
25	TURBIEDAD [NTU]	14,4	25	35	15	TURBIEDAD [NTU]	3,98	ÍNDICE DE FLOCULACIÓN DE WILCOMB 6	TURBIEDAD [NTU]	0,52
	COLOR [PCU]	130				COLOR [PCU]	30		COLOR [PCU]	6
	pH	7,68				pH	7,26		ALUMINIO [mg/l]	0,12
26	TURBIEDAD [NTU]	11,6	15	35	15	TURBIEDAD [NTU]	2,89	ÍNDICE DE FLOCULACIÓN DE WILCOMB 8	TURBIEDAD [NTU]	0,46
	COLOR [PCU]	90				COLOR [PCU]	20		COLOR [PCU]	6
	pH	7,39				pH	7,33		ALUMINIO [mg/l]	0,07

DÍA	CONDICIONES AGUA CRUDA		CONDICIONES OPTIMAS			CONDICIONES AGUA CLARIFICADA (propiedades residuales)			CONDICIONES AGUA FILTRADA	
			Dosis [mg/l]	Tiempo [min]	Gradiente [s <sup>-1</sup> ]	TURBIEDAD [NTU]		ÍNDICE DE FLOCULACIÓN DE WILCOMB	TURBIEDAD [NTU]	
27	TURBIEDAD [NTU]	92,5	15	35	15	TURBIEDAD [NTU]	6,08	6	TURBIEDAD [NTU]	1,63
	COLOR [PCU]	600				COLOR [PCU]	30		COLOR [PCU]	8
	pH	7,32				pH	7,35		ALUMINIO [mg/l]	0,07
28	TURBIEDAD [NTU]	9,89	10	30	15	TURBIEDAD [NTU]	3,63	6	TURBIEDAD [NTU]	0,71
	COLOR [PCU]	80				COLOR [PCU]	40		COLOR [PCU]	10
	pH	7,31				pH	7,45		ALUMINIO [mg/l]	0,07
29	TURBIEDAD [NTU]	43,3	15	40	20	TURBIEDAD [NTU]	2,88	6	TURBIEDAD [NTU]	0,79
	COLOR [PCU]	290				COLOR [PCU]	30		COLOR [PCU]	7
	pH	7,65				pH	7,31		ALUMINIO [mg/l]	0,07
30	TURBIEDAD [NTU]	5,37	10	30	15	TURBIEDAD [NTU]	3,8	4	TURBIEDAD [NTU]	0,62
	COLOR [PCU]	70				COLOR [PCU]	30		COLOR [PCU]	8
	pH	7,3				pH	7,4		ALUMINIO [mg/l]	0,12

**DATOS PARA EL MES 1 DE ESTUDIO.**

DÍA	CONDICIONES AGUA CRUDA		CONDICIONES OPTIMAS			CONDICIONES AGUA CLARIFICADA (propiedades residuales)		
	TURBIEDAD [NTU]		Dosis [mg/l]	Tiempo [min]	Gradiente [s <sup>-1</sup> ]	TURBIEDAD [NTU]		ÍNDICE DE FLOCULACIÓN DE WILCOMB
1	TURBIEDAD [NTU]	1,54	10	40	15	TURBIEDAD [NTU]	1,43	4
	COLOR [PCU]	20				COLOR [PCU]	8	
	pH	7,42				pH	7,1	
2	TURBIEDAD [NTU]	12,5	20	30	20	TURBIEDAD [NTU]	1,88	8
	COLOR [PCU]	50				COLOR [PCU]	8	
	pH	7,69				pH	7,25	
3	TURBIEDAD [NTU]	1,57	12,5	35	20	TURBIEDAD [NTU]	1,27	4
	COLOR [PCU]	20				COLOR [PCU]	10	
	pH	7,94				pH	7,5	
4	TURBIEDAD [NTU]	472	40	40	20	TURBIEDAD [NTU]	2,96	8
	COLOR [PCU]	1960				COLOR [PCU]	20	
	pH	7,28				pH	7,09	
5	TURBIEDAD [NTU]	24,5	20	35	15	TURBIEDAD [NTU]	4,48	8
	COLOR [PCU]	180				COLOR [PCU]	40	
	pH	7,39				pH	7,23	
6	TURBIEDAD [NTU]	17,5	15	35	15	TURBIEDAD [NTU]	5,4	8
	COLOR [PCU]	150				COLOR [PCU]	80	
	pH	7,34				pH	7,06	
7	TURBIEDAD [NTU]	90,9	15	30	30	TURBIEDAD [NTU]	3,09	8
	COLOR [PCU]	400				COLOR [PCU]	20	
	pH	7,68				pH	7,67	
8	TURBIEDAD [NTU]	2,75	10	40	20	TURBIEDAD [NTU]	1,98	6
	COLOR [PCU]	50				COLOR [PCU]	20	
	pH	7,44				pH	7,40	

DÍA	CONDICIONES AGUA CRUDA		CONDICIONES OPTIMAS			CONDICIONES AGUA CLARIFICADA (Propiedades residuales)		
			Dosis [mg/l]	Tiempo [min]	Gradiente [s <sup>-1</sup> ]			
9	TURBIEDAD [NTU]	5,46	10	35	30	TURBIEDAD [NTU]	3,05	ÍNDICE DE FLOCULACIÓN DE WILCOMB 6
	COLOR [PCU]	170				COLOR [PCU]	30	
	pH	7,73				pH	7,57	
10	TURBIEDAD [NTU]	5,51	10	35	20	TURBIEDAD [NTU]	2,77	ÍNDICE DE FLOCULACIÓN DE WILCOMB 6
	COLOR [PCU]	80				COLOR [PCU]	40	
	pH	7,68				pH	7,55	
11	TURBIEDAD [NTU]	3,58	7,5	35	20	TURBIEDAD [NTU]	2,17	ÍNDICE DE FLOCULACIÓN DE WILCOMB 4
	COLOR [PCU]	30				COLOR [PCU]	10	
	pH	7,6				pH	7,6	
12	TURBIEDAD [NTU]	17,7	15	35	20	TURBIEDAD [NTU]	4,8	ÍNDICE DE FLOCULACIÓN DE WILCOMB 6
	COLOR [PCU]	140				COLOR [PCU]	40	
	pH	7,62				pH	7,21	
13	TURBIEDAD [NTU]	8,3	10	25	15	TURBIEDAD [NTU]	3,45	ÍNDICE DE FLOCULACIÓN DE WILCOMB 8
	COLOR [PCU]	40				COLOR [PCU]	10	
	pH	7,35				pH	7,5	
14	TURBIEDAD [NTU]	36,6	20	35	15	TURBIEDAD [NTU]	2,53	ÍNDICE DE FLOCULACIÓN DE WILCOMB 8
	COLOR [PCU]	230				COLOR [PCU]	10	
	pH	7,36				pH	7,22	
15	TURBIEDAD [NTU]	33,1	20	35	15	TURBIEDAD [NTU]	2,83	ÍNDICE DE FLOCULACIÓN DE WILCOMB 8
	COLOR [PCU]	220				COLOR [PCU]	10	
	pH	7,22				pH	7,2	
16	TURBIEDAD [NTU]	3,82	7,5	35	15	TURBIEDAD [NTU]	2,89	ÍNDICE DE FLOCULACIÓN DE WILCOMB 4
	COLOR [PCU]	60				COLOR [PCU]	30	
	pH	7,09				pH	7,31	
17	TURBIEDAD [NTU]	2,68	10	35	15	TURBIEDAD [NTU]	1,96	ÍNDICE DE FLOCULACIÓN DE WILCOMB 4
	COLOR [PCU]	20				COLOR [PCU]	10	
	pH	7,07				pH	7,1	

DÍA	CONDICIONES AGUA CRUDA		CONDICIONES OPTIMAS			CONDICIONES AGUA CLARIFICADA (propiedades residuales)		
			Dosis [mg/l]	Tiempo [min]	Gradiente [s <sup>-1</sup> ]			
18	TURBIEDAD [NTU]	15,8	10	30	20	TURBIEDAD [NTU]	4,8	ÍNDICE DE FLOCULACIÓN DE WILCOMB 6
	COLOR [PCU]	130				COLOR [PCU]	40	
	Ph	7,31				pH	7,01	
19	TURBIEDAD [NTU]	2,2	10	30	20	TURBIEDAD [NTU]	1,92	ÍNDICE DE FLOCULACIÓN DE WILCOMB 2
	COLOR [PCU]	40				COLOR [PCU]	20	
	pH	7,68				pH	7,17	
20	TURBIEDAD [NTU]	24,2	10	25	15	TURBIEDAD [NTU]	3,9	ÍNDICE DE FLOCULACIÓN DE WILCOMB 6
	COLOR [PCU]	140				COLOR [PCU]	50	
	pH	7,28				pH	7,14	
21	TURBIEDAD [NTU]	2,16	7,5	30	20	TURBIEDAD [NTU]	1,65	ÍNDICE DE FLOCULACIÓN DE WILCOMB 2
	COLOR [PCU]	10				COLOR [PCU]	10	
	pH	7,20				pH	7,35	
22	TURBIEDAD [NTU]	3,38	7,5	35	20	TURBIEDAD [NTU]	1,87	ÍNDICE DE FLOCULACIÓN DE WILCOMB 2
	COLOR [PCU]	20				COLOR [PCU]	10	
	pH	7,06				pH	7,27	
23	TURBIEDAD [NTU]	107	15	35	20	TURBIEDAD [NTU]	4,5	ÍNDICE DE FLOCULACIÓN DE WILCOMB 8
	COLOR [PCU]	460				COLOR [PCU]	50	
	pH	7,36				pH	7,1	
24	TURBIEDAD [NTU]	53,1	25	35	20	TURBIEDAD [NTU]	4,8	ÍNDICE DE FLOCULACIÓN DE WILCOMB 8
	COLOR [PCU]	340				COLOR [PCU]	40	
	pH	6,5				pH	6,37	

**NOTA:** en los Días 24, 25 y 27 se observó que la conductividad (24 µS/cm) y el pH (6,5) se encontraban en valores relativamente bajos, lo que explica lo inusual de los resultados, además los equipos presentaron problemas debido a fallas en la energía eléctrica.

DÍA	CONDICIONES AGUA CRUDA		CONDICIONES OPTIMAS			CONDICIONES AGUA CLARIFICADA (propiedades residuales)		
			Dosis [mg/l]	Tiempo [min]	Gradiente [s <sup>-1</sup> ]	TURBIEDAD [NTU]	COLOR [PCU]	ÍNDICE DE FLOCULACIÓN DE WILCOMB
25	TURBIEDAD [NTU]	3,83	10	20	15	TURBIEDAD [NTU]	3,49	4
	COLOR [PCU]	50				COLOR [PCU]	30	
	pH	6,58				pH	6,5	
26	TURBIEDAD [NTU]	48,1	25	35	20	TURBIEDAD [NTU]	2,33	8
	COLOR [PCU]	330				COLOR [PCU]	30	
	pH	7,37				pH	6,99	
27	TURBIEDAD [NTU]	21,2	25	20	15	TURBIEDAD [NTU]	9,19	6
	COLOR [PCU]	200				COLOR [PCU]	60	
	pH	6,88				pH	7,01	
28	TURBIEDAD [NTU]	56,6	25	20	15	TURBIEDAD [NTU]	4,18	8
	COLOR [PCU]	410				COLOR [PCU]	50	
	pH	7,72				pH	7,22	
29	TURBIEDAD [NTU]	7,48	10	35	15	TURBIEDAD [NTU]	4,09	4
	COLOR [PCU]	60				COLOR [PCU]	20	
	pH	7,24				pH	6,64	
30	TURBIEDAD [NTU]	624	50	30	20	TURBIEDAD [NTU]	4,6	8
	COLOR [PCU]	2250				COLOR [PCU]	40	
	pH	7,20				pH	6,72	

## ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE LA INFORMACIÓN, PARA LA DETERMINACIÓN DEL GRADIENTE Y TIEMPO ÓPTIMOS.

A continuación se muestra el análisis estadístico (distribución de frecuencia) para los datos obtenidos en la determinación de tiempo y gradiente optimo para los dos meses de estudio.

### Nomenclatura

**LI:** Limite inferior

**LS:** Limite Superior

**x:** Marca de Clase

**f:** Frecuencia Absoluta

**fr:** Frecuencia Relativa

**fa:** Frecuencia Absoluta Acumulada

**far:** Frecuencia Relativa Acumulada.

### Compendio de Formulas:

Intervalo

Media Aritmética

Mediana

Moda

$$I = \frac{R}{K}$$

$$\bar{x} = A + \left(\frac{\sum f\mu}{N}\right)I$$

$$Md = L + \left(\frac{\frac{N}{2} - fa}{f\mu d}\right)I$$

$$Mo = L + \left(\frac{\Delta 1}{\Delta 1 + \Delta 2}\right)I$$

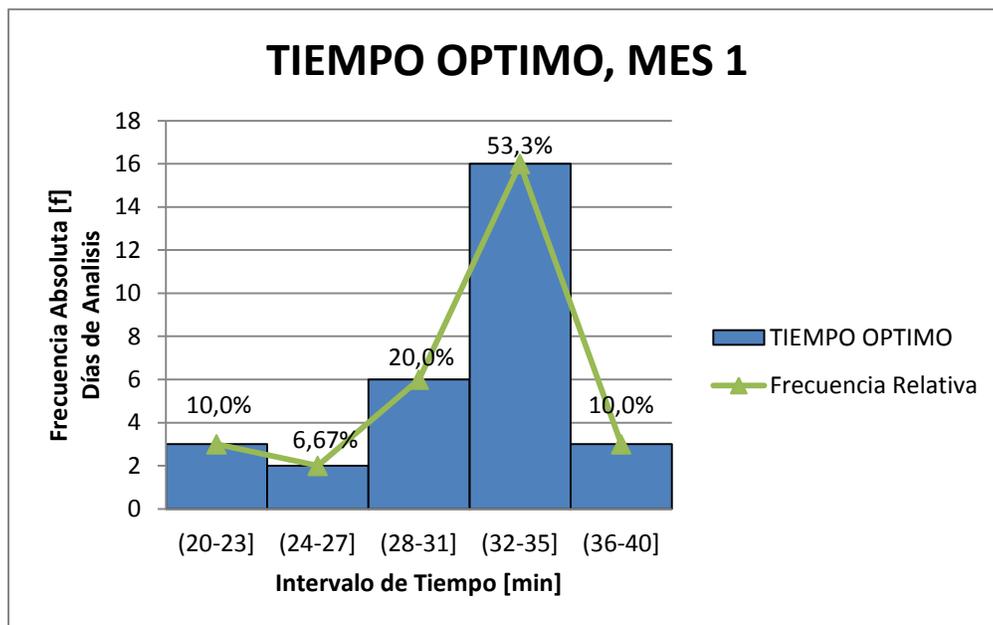
### MES 1.

#### TIEMPO ÓPTIMO.

Rango	<b>R</b>	21
Clase	<b>K</b>	5
Intervalo	<b>I</b>	4

LI	LS	x	f	Fr	fa	far	μ	fμ
20	23	21,5	3	10,0%	3	10,0%	-2	-6
24	27	25,5	2	6,67%	5	16,67%	-1	-2
28	31	29,5	6	20,0%	11	36,67%	0	0
33	36	33,5	16	53,3%	27	90,00%	1	16
37	40	38,0	3	10,0%	30	100,00%	2	6
			<b>30</b>	<b>100,0%</b>				<b>14</b>

HISTOGRAMA DE FRECUENCIAS.



Medidas de Tendencia Central.

Media aritmética	31,7
Mediana	34,5
Moda	24,7

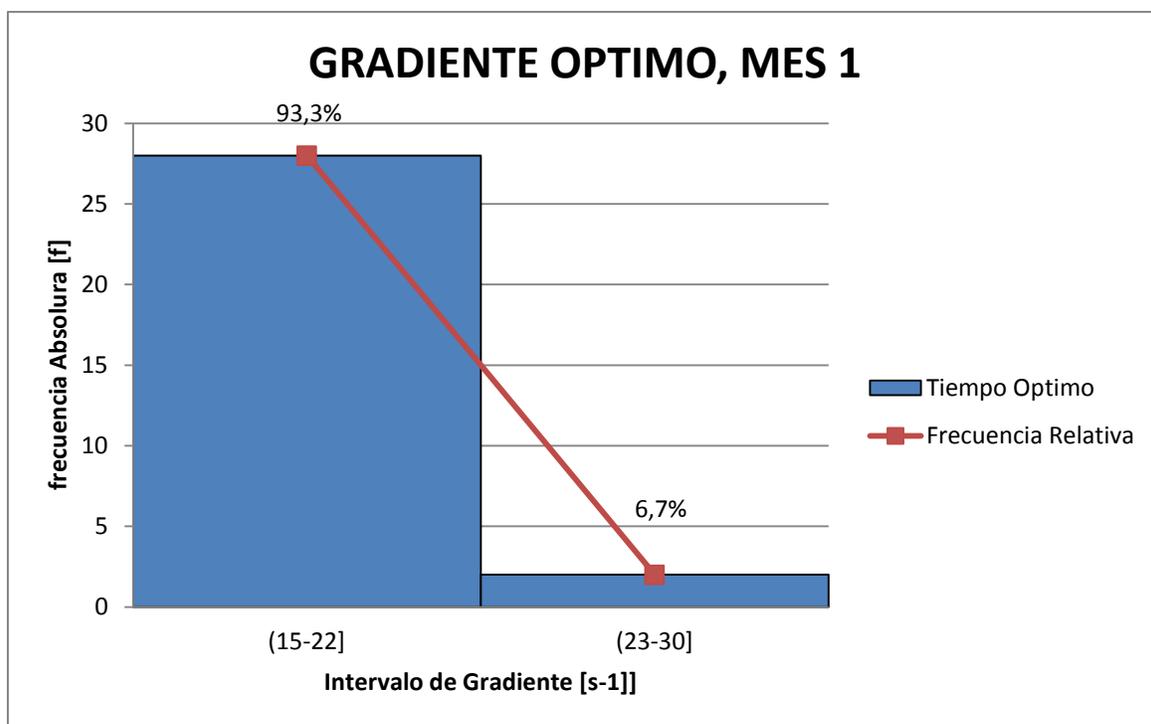
En el Mes Uno de estudio se observó que en 16 días de análisis que corresponden al 53.3%, se tuvo un promedio de 33.5 minutos como tiempo optimo, oscilando en un rango de 32 a 35 minutos. Y que para los 30 días de análisis se obtuvo un promedio de 31.7 minutos como tiempo optimo.

GRADIENTE ÓPTIMO.

Rango	R	16
Clase	K	2
Intervalo	I	8

LI	LS	x	f	fr	fa	far	$\mu$	$f\mu$
15	22	18,5	28	93,3%	28	93,3%	-1	-28
23	30	26,5	2	6,7%	30	100,00%	0	0
			30	100,0%				-28

HISTOGRAMA DE FRECUENCIAS



Medida de Tendencia Central

Media Aritmética	19,03
------------------	-------

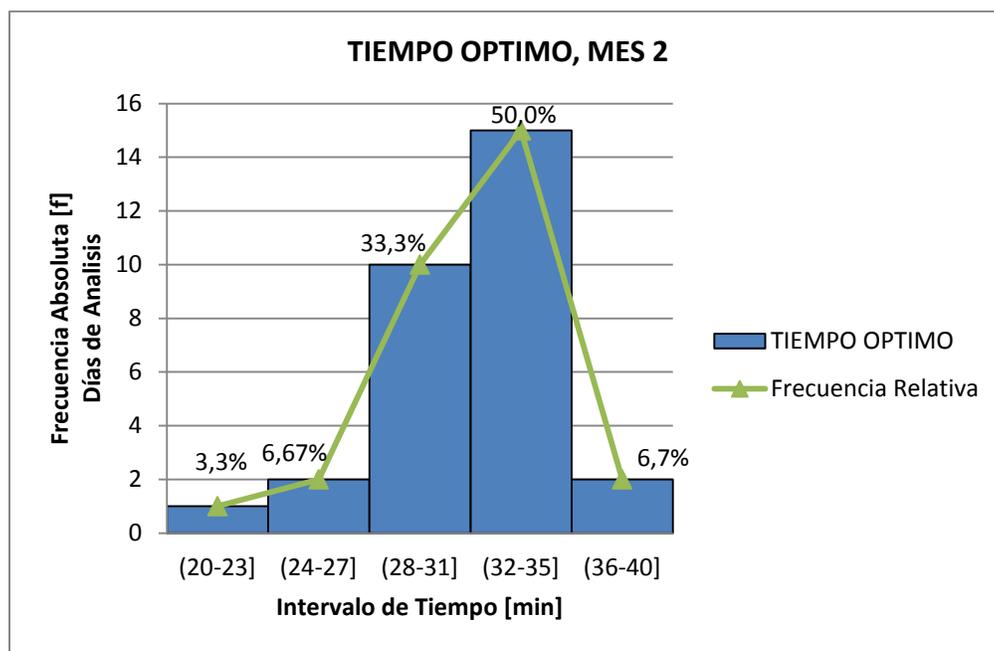
En el Mes Uno de estudio se observó que en 28 días de análisis que corresponden al 93.3%, se tuvo un promedio de 18.5 s<sup>-1</sup> como Gradiente óptimo, oscilando en un rango de 15 a 22 s<sup>-1</sup>. Y que para los 30 días de análisis se obtuvo un promedio de 19,03 s<sup>-1</sup> como gradiente optimo.

**MES 2.**

**TIEMPO ÓPTIMO.**

Rango	R	21
Clase	K	5
Intervalo	I	4

LI	LS	x	f	fr	fa	far	$\mu$	$f\mu$
20	23	21,5	1	3,3%	1	3,3%	-2	-2
24	27	25,5	2	6,67%	3	10,00%	-1	-2
28	31	29,6	10	33,3%	13	43,33%	0	0
32	35	33,5	15	50,0%	28	93,33%	1	15
36	40	38,0	2	6,7%	30	100,00%	2	4
			30	100,0%				15



**Medidas de Tendencia Central.**

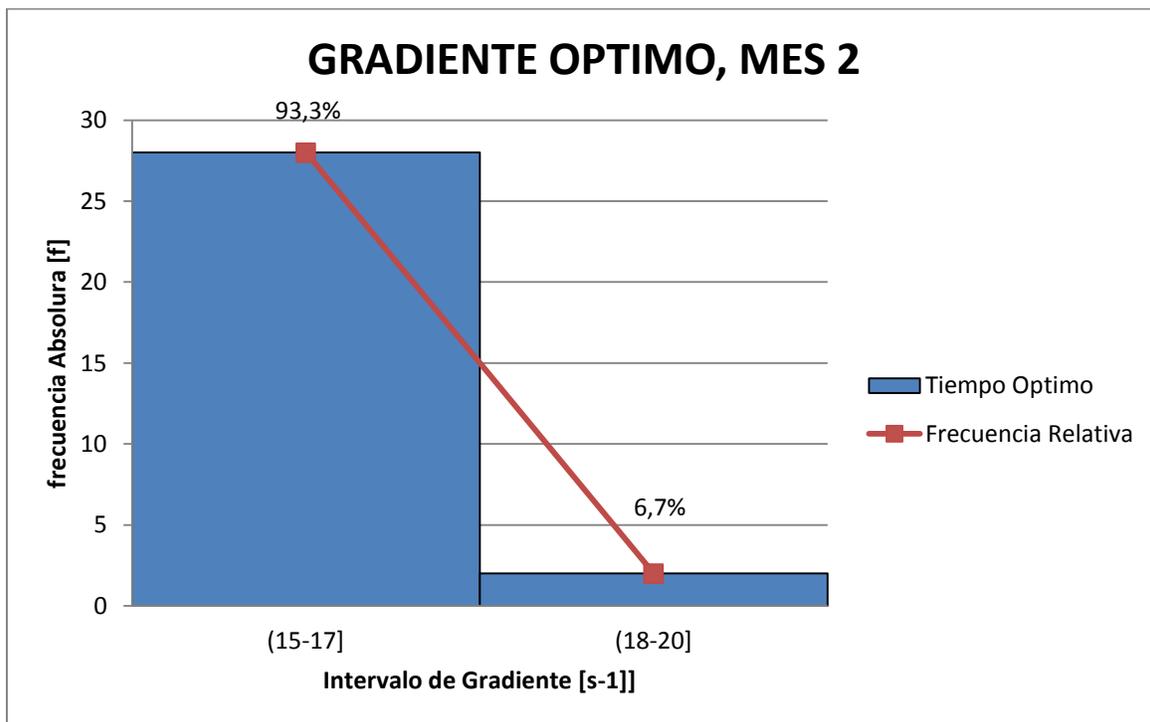
Media aritmética	31,70
Mediana	32,74
Moda	38,9

En el Mes Dos de estudio se observó que en 15 días de análisis que corresponden al 50%, se tuvo un promedio de 33.5 minutos como tiempo optimo, oscilando en un rango de 32 a 35 minutos. Y que para los 30 días de análisis se obtuvo un promedio de 31.7 minutos como tiempo optimo.

**GRADIENTE ÓPTIMO.**

Rango	<b>R</b>	6
Clase	<b>K</b>	2
Intervalo	<b>I</b>	3

LI	LS	x	f	fr	fa	far	$\mu$	f $\mu$
15	17	16	28	93,3%	28	93,3%	-1	-28
18	20	19	2	6,7%	30	100,00%	0	0
			30	100,0%				-28



Medida de Tendencia Central

Media Aritmética	16,20
------------------	-------

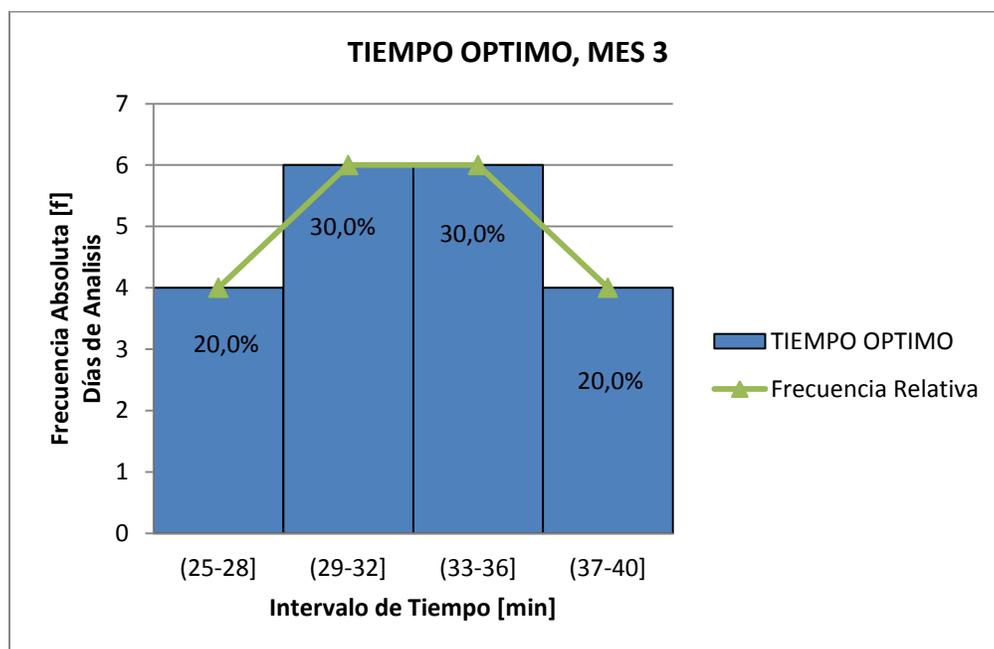
En el Mes Uno de estudio se observó que en 28 días de análisis que corresponden al 93.3%, se tuvo un promedio de  $16 \text{ s}^{-1}$  como Gradiente óptimo, oscilando en un rango de  $15$  a  $17 \text{ s}^{-1}$ . Y que para los 30 días de análisis se obtuvo un promedio de  $16.2 \text{ s}^{-1}$  como gradiente optimo.

### MES 3.

#### TIEMPO ÓPTIMO.

Rango	R	16
Clase	K	4
Intervalo	I	4

LI	LS	x	f	fr	fa	far	$\mu$	$f\mu$
25	28	26,5	4	20,0%	4	20,0%	-2	-8
29	32	30,5	6	30,0%	10	50,00%	-1	-6
33	36	34,5	6	30,0%	16	80,00%	0	0
37	40	38,5	4	20,0%	20	100,00%	1	4
			20	100%				-10

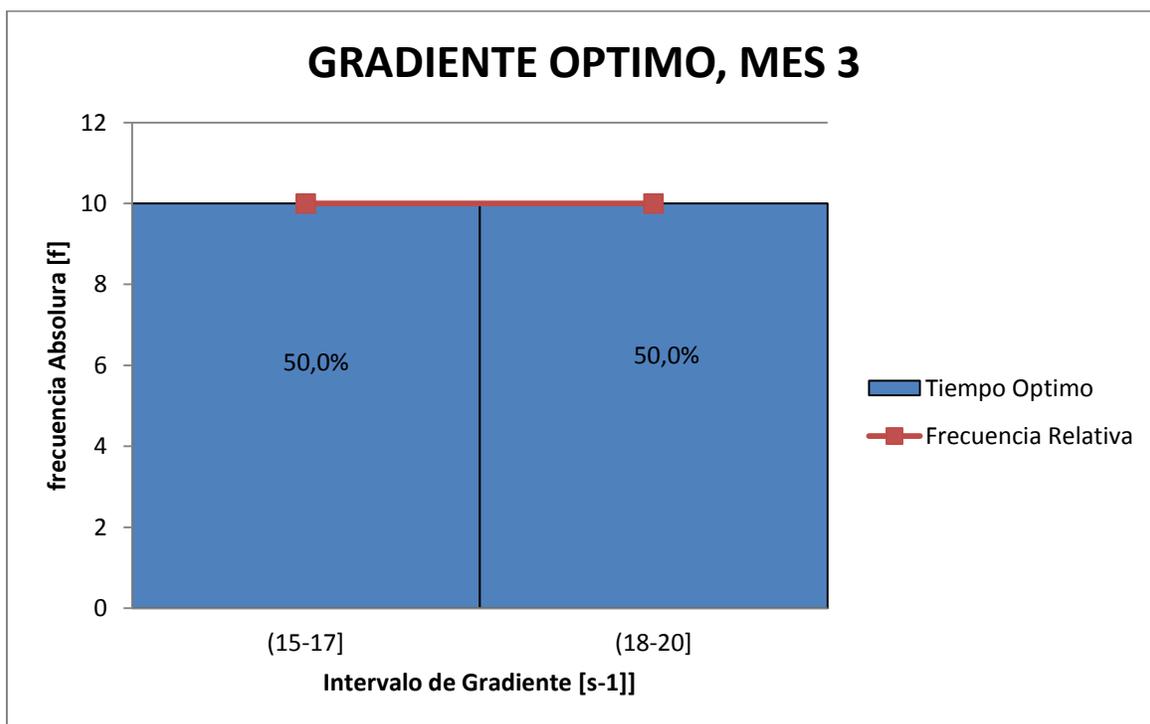


Media aritmética	32,50
Mediana	32,5
Moda	32,50

**GRADIENTE ÓPTIMO.**

Rango	<b>R</b>	6
Clase	<b>K</b>	2
Intervalo	<b>I</b>	3

LI	LS	x	f	fr	fa	far	$\mu$	$f\mu$
15	17	16,0	10	50,0%	10	50,0%	-1	-10
18	20	19,0	10	50,0%	20	100,00%	0	0
			20	100,0%				-10



Media aritmética	17,50
------------------	-------

**PRUEBAS DE pH.**

Las pruebas se realizaron con H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> al 1 N (0.5 mol/l) y NaOH al 0.1 N (0.1 mol/l). Ambos son reactivos Merck con purezas del 99.98%.

**MES 1.**

DATO	CONDICIONES AGUA CRUDA		INTERVALO DE pH ÓPTIMO.			CONDICIONES AGUA CLARIFICADA (propiedades residuales)	
			INFERIOR	MEDIO Condiciones normales del agua	SUPERIOR		
1	TURBIEDAD [NTU]	2,75	5,91	7,44	9,03	TURBIEDAD [NTU]	1,98
	COLOR [PCU]	50				COLOR [PCU]	20
2	TURBIEDAD [NTU]	5,46	5,62	7,19	10,75	TURBIEDAD [NTU]	3,05
	COLOR [PCU]	170				COLOR [PCU]	20
3	TURBIEDAD [NTU]	17,7	6,23	7,21	8,17	TURBIEDAD [NTU]	4,8
	COLOR [PCU]	140				COLOR [PCU]	40
4	TURBIEDAD [NTU]	8,3	5,41	7,22	9,47	TURBIEDAD [NTU]	3,45
	COLOR [PCU]	40				COLOR [PCU]	10
5	TURBIEDAD [NTU]	33,1	6,4	7,36	8,85	TURBIEDAD [NTU]	2,83
	COLOR [PCU]	220				COLOR [PCU]	10
6	TURBIEDAD [NTU]	3,82	6,41	7,28	8,43	TURBIEDAD [NTU]	2,89
	COLOR [PCU]	60				COLOR [PCU]	30
7	TURBIEDAD [NTU]	24,2	5,35	7,32	8,03	TURBIEDAD [NTU]	3,9
	COLOR [PCU]	140				COLOR [PCU]	50
8	TURBIEDAD [NTU]	48,1	6	7,67	8,97	TURBIEDAD [NTU]	2,33
	COLOR [PCU]	330				COLOR [PCU]	30

**MES 2.**

DATO	CONDICIONES AGUA CRUDA		INTERVALO DE pH ÓPTIMO.			CONDICIONES AGUA CLARIFICADA (propiedades residuales)	
			INFERIOR	MEDIO Condiciones normales del agua	SUPERIOR		
1	TURBIEDAD [NTU]	5,09	6,55	7,42	8,73	TURBIEDAD [NTU]	1,61
	COLOR [PCU]	30				COLOR [PCU]	30
2	TURBIEDAD [NTU]	1,96	5,01	7,5	8,48	TURBIEDAD [NTU]	1,41
	COLOR [PCU]	20				COLOR [PCU]	8

DATO	CONDICIONES AGUA CRUDA		INTERVALO DE pH ÓPTIMO.			CONDICIONES AGUA CLARIFICADA (propiedades residuales)	
			INFERIOR	MEDIO Condiciones normales del agua	SUPERIOR		
3	TURBIEDAD [NTU]	122	6,29	7,53	Valor no Aceptable	TURBIEDAD [NTU]	2,86
	COLOR [PCU]	600				COLOR [PCU]	30
4	TURBIEDAD [NTU]	61,3	6,55	7,36	Valor no Aceptable	TURBIEDAD [NTU]	2,22
	COLOR [PCU]	330				COLOR [PCU]	30
5	TURBIEDAD [NTU]	2,89	6,59	7,48	8,43	TURBIEDAD [NTU]	1,87
	COLOR [PCU]	40				COLOR [PCU]	30
6	TURBIEDAD [NTU]	2,2	6,55	7,56	8,29	TURBIEDAD [NTU]	1,53
	COLOR [PCU]	30				COLOR [PCU]	10
7	TURBIEDAD [NTU]	156	6,26	7,19	Valor no Aceptable	TURBIEDAD [NTU]	2,47
	COLOR [PCU]	960				COLOR [PCU]	30
8	TURBIEDAD [NTU]	81,3	6,33	7,17	8,25	TURBIEDAD [NTU]	2,65
	COLOR [PCU]	500				COLOR [PCU]	50
9	TURBIEDAD [NTU]	3,89	6,64	7,47	8,59	TURBIEDAD [NTU]	3,32
	COLOR [PCU]	50				COLOR [PCU]	20
10	TURBIEDAD [NTU]	2,99	6,47	7,41	8,78	TURBIEDAD [NTU]	2,07
	COLOR [PCU]	30				COLOR [PCU]	20
11	TURBIEDAD [NTU]	174	6,27	7,45	8,84	TURBIEDAD [NTU]	2,39
	COLOR [PCU]	840				COLOR [PCU]	40
12	TURBIEDAD [NTU]	43,2	6,38	7,47	8,51	TURBIEDAD [NTU]	3,56
	COLOR [PCU]	250				COLOR [PCU]	10
13	TURBIEDAD [NTU]	86,7	6,43	7,3	Valor no Aceptable	TURBIEDAD [NTU]	3,52
	COLOR [PCU]	560				COLOR [PCU]	40
14	TURBIEDAD [NTU]	16,9	6,7	7,57	8,89	TURBIEDAD [NTU]	4,59
	COLOR [PCU]	130				COLOR [PCU]	30
15	TURBIEDAD [NTU]	11,7	6,15	7,1	8,57	TURBIEDAD [NTU]	5,22
	COLOR [PCU]	160				COLOR [PCU]	80
16	TURBIEDAD [NTU]	11,6	6,31	7,39	8,69	TURBIEDAD [NTU]	2,89
	COLOR [PCU]	90				COLOR [PCU]	20
17	TURBIEDAD [NTU]	92,5	6,57	7,32	8,86	TURBIEDAD [NTU]	6,08
	COLOR [PCU]	600				COLOR [PCU]	30
18	TURBIEDAD [NTU]	43,3	Valor no Aceptable	7,43	8,39	TURBIEDAD [NTU]	2,88
	COLOR [PCU]	290				COLOR [PCU]	30

OBSERVACIÓN: En forma general se observó para los meses 1 y 2 que las condiciones óptimas de pH para el Policloruro de Aluminio (PAC) se encontraban dentro del rango de pH habitual para el agua cruda, por lo cual se puede concluir a priori que no se requiere un ajuste de pH para el agua. Igualmente se pudo verificar la sensibilidad del proceso de coagulación-Floculación ante variaciones de pH en caso de turbiedades por encima de los 30 NTU.

### MES 3.

En el Mes 3 de estudio se efectuaron pruebas con Cal. Para las pruebas se preparo una solución conocida al 2% considerando las especificaciones técnicas de la cal industrial, además con dicha solución se efectuaron los análisis de pH óptimo. Datos de Cal hidratada industrial:

MARCA: PROCECAL (Cal Viva Hidratada).

ESPECIFICACIONES TÉCNICAS.

	MÍNIMA	MÁXIMA
CaO	65 %	72 %
Ca(OH) <sub>2</sub>	85 %	95%
Granulometría	Malla 200	Malla 325.

Dato	Variables	Condiciones Agua Cruda.				
1	Turbiedad [NTU]	8,76				
	Color [PCU]	80				
	pH [pH]	7,5				
	-	Tratamiento.				
		Cal [2%]		Acido [H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> ]		Sin Tratamiento.
	Dosis [ml]	3	4	0,5	0,9	
	pH	8,13	8,42	6,55	5,58	7,5
	-	Condiciones Agua Clarificada (Propiedades Residuales).				
	Turbiedad [NTU]	3,27	2,65	4,77	6,12	3,5
	Color [PCU]	30	30	50	70	30
ÍNDICE DE FLOCULACIÓN DE WILCOMB	6	6	4	2	6	

Figura.

1. Condiciones Agua Cruda - Preparada



2. Condiciones Condiciones Clarificadas



**Descripción:** La jarra 1 corresponden a agua no tratada, las jarras 2, 3 y 4 corresponden a agua dosificada con cal al 2% con 2, 3 y 4 ml de la solución respectivamente. Por último las jarras 5 y 6 contienen ácido sulfúrico con 0,5 y 0,9 ml.

**DATO 2.**

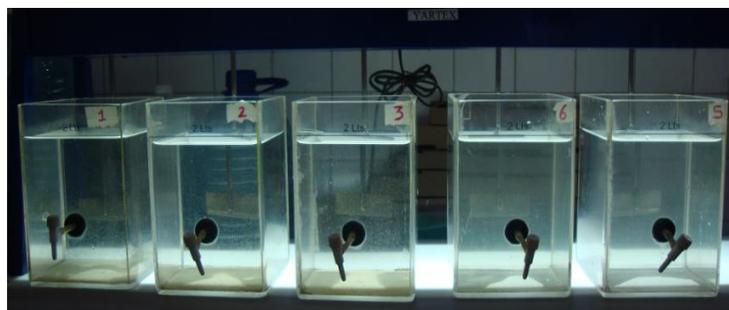
Dato	Variables	Condiciones Agua Cruda.				
2	Turbiedad [NTU]	6,1				
	Color [PCU]	70				
	pH [pH]	7,48				
	-	<b>Tratamiento.</b>				
		<b>Cal [2%]</b>		<b>Acido [H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>]</b>		<b>Sin Tratamiento.</b>
	Dosis [ml]	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>0,5</b>	<b>0,8</b>	
	pH	8,17	8,66	6,37	5,89	7,48
	-	<b>Condiciones Agua Clarificada (Propiedades Residuales).</b>				
	Turbiedad [NTU]	2,38	2,47	4,8	4,95	3,74
	Color [PCU]	30	30	50	60	40
ÍNDICE DE FLOCULACIÓN DE WILCOMB	6	6	4	4	6	

Figura.

1. Condiciones Agua Cruda - Preparada



2. Condiciones Condiciones Clarificadas



**Descripción:** La jarra 1 corresponden a agua no tratada, las jarras 2 y 3 corresponden a agua dosificada con cal al 2% con 3 y 4 ml de la solución respectivamente. Por último las jarras 5 y 6 contienen ácido sulfúrico con 0,5 y 0,9 ml. Se observe que durante el proceso con floculación el agua con CAL formo floc más rápido y consistente.

**DATO 3.**

Dato	Variables	Condiciones Agua Cruda.				
3	Turbiedad [NTU]	60,4				
	Color [PCU]	270				
	pH [pH]	7,67				
	-	Tratamiento.				
		Cal [2%]		Acido [H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> ]		Sin Tratamiento.
	Dosis [ml]	3	4	0,5	1	
	pH	8,05	8,4	6,37	4,12	7,67
	-	Condiciones Agua Clarificada (Propiedades Residuales).				
	Turbiedad [NTU]	2,75	2,3	4,4	7,28	5,52
	Color [PCU]	20	20	40	70	40
ÍNDICE DE FLOCULACIÓN DE WILCOMB	6	8	6	4	6	

Figura.

1. Condiciones Agua Cruda - Preparada



2. Condiciones Condiciones Clarificadas



**Descripción:** La jarra 1 corresponden a agua no tratada, las jarras 2 y 3 corresponden a agua dosificada con cal al 2% con 3 y 4 ml de la solución respectivamente. Por último las jarras 3 y 4 contienen ácido sulfúrico con 0,5 y 1 ml. *Se observo que durante el proceso con floculación el agua con CAL formo floc más rápido y consistente.*

**DATO 4.**

Dato	Variables	Condiciones Agua Cruda.				
4	Turbiedad [NTU]	15,7				
	Color [PCU]	100				
	pH [pH]	7,83				
	-	Tratamiento.				
		Cal [2%]		Acido [H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> ]		Sin Tratamiento.
	Dosis [ml]	3	5	0,5	1	
	pH	8,14	8,71	6,5	4,6	7,83
	-	Condiciones Agua Clarificada (Propiedades Residuales).				
	Turbiedad [NTU]	2,2	2,28	3,17	3,41	3,11
	Color [PCU]	20	30	40	40	30
ÍNDICE DE FLOCULACIÓN DE WILCOMB	6	6	6	4	6	

Figura.

1. Condiciones Agua Cruda - Preparada

2. Condiciones Condiciones Clarificadas



**Descripción:** La jarra 1 corresponden a agua no tratada, las jarras 2 y 3 corresponden a agua dosificada con cal al 2% con 3 y 5 ml de la solución respectivamente. Por último las jarras 5 y 6 contienen ácido sulfúrico con 0,5 y 1 ml. *Se observo que durante el proceso con floculación el agua con CAL formo floc más rápido y consistente.*

**DATO 5.**

Dato	Variables	Condiciones Agua Cruda.				
5	Turbiedad [NTU]	7,55				
	Color [PCU]	40				
	pH [pH]	7,21				
	-	<b>Tratamiento.</b>				
		<b>Cal [2%]</b>		<b>Acido [H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>]</b>		<b>Sin Tratamiento.</b>
	Dosis [ml]	<b>5</b>	<b>7</b>	<b>0,5</b>	<b>1</b>	
	pH	7,74	8,08	6,54	6,02	7,55
	-	<b>Condiciones Agua Clarificada (Propiedades Residuales).</b>				
	Turbiedad [NTU]	4,81	5,22	3,73	3,78	3,59
	Color [PCU]	40	40	40	40	30
ÍNDICE DE FLOCULACIÓN DE WILCOMB	4	2	4	2	4	

Figura.

1. Condiciones Agua Cruda - Preparada



2. Condiciones Condiciones Clarificadas



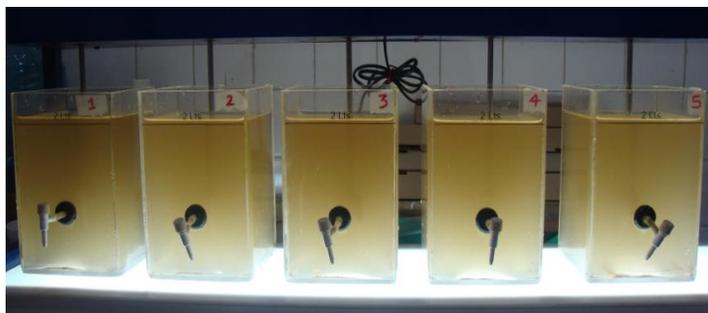
**Descripción:** La jarra 1 corresponden a agua no tratada, las jarras 2 y 3 corresponden a agua dosificada con cal al 2% con 5 y 7 ml de la solución respectivamente. Por último las jarras 4 y 5 contienen ácido sulfúrico con 0,5 y 1 ml. Se observo que las mejores condiciones de tratabilidad las obtuvo el agua sin ser tratada.

**DATO 6.**

Dato	Variables	Condiciones Agua Cruda.				
6	Turbiedad [NTU]	168				
	Color [PCU]	880				
	pH [pH]	7,56				
	-	<b>Tratamiento.</b>				
		<b>Cal [2%]</b>		<b>Acido [H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>]</b>		<b>Sin Tratamiento.</b>
	Dosis [ml]	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>0,5</b>	<b>1</b>	
	pH	8,13	8,22	6,5	3,95	7,5
	-	<b>Condiciones Agua Clarificada (Propiedades Residuales).</b>				
	Turbiedad [NTU]	6,17	6,44	5,84	6,9	7,92
	Color [PCU]	60	70	60	80	70
ÍNDICE DE FLOCULACIÓN DE WILCOMB	6	6	6	6	6	

Figura.

1. Condiciones Agua Cruda - Preparada



2. Condiciones Condiciones Clarificadas



**Descripción:** La jarra 1 corresponden a agua no tratada, las jarras 2 y 3 corresponden a agua dosificada con cal al 2% con 4 y 5 ml de la solución respectivamente. Por último las jarras 4 y 5 contienen ácido sulfúrico con 0,5 y 1 ml. Se observo que las mejores condiciones de tratabilidad las obtuvo el agua tratada con pH bajo, pero igual sigue la tendencia que la Cal favorece el proceso de floculación.

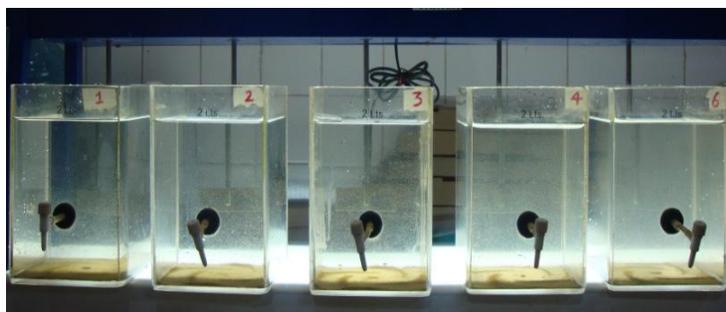
**DATO 7.**

Dato	Variables	Condiciones Agua Cruda.				
7	Turbiedad [NTU]	30,9				
	Color [PCU]	250				
	pH [pH]	7,55				
	-	Tratamiento.				
		Cal [2%]		Acido [H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> ]		Sin Tratamiento.
	Dosis [ml]	3	4	0,5	1	
	pH	8,16	8,33	6,87	6,21	7,5
	-	Condiciones Agua Clarificada (Propiedades Residuales).				
	Turbiedad [NTU]	4,47	3,72	6,14	7,76	5,23
	Color [PCU]	40	40	60	80	50
ÍNDICE DE FLOCULACIÓN DE WILCOMB	8	8	6	6	6	

Figura.

1. Condiciones Agua Cruda - Preparada

2. Condiciones Condiciones Clarificadas



**Descripción:** La jarra 1 corresponden a agua no tratada, las jarras 2 y 3 corresponden a agua dosificada con cal al 2% con 3 y 4 ml de la solución respectivamente. Por último las jarras 4 y 6 contienen ácido sulfúrico con 0,5 y 1 ml. Se observo que las mejores condiciones de tratabilidad las obtuvo el agua tratada con CAL.

**DATO 8.**

Dato	Variables	Condiciones Agua Cruda.				
8	Turbiedad [NTU]	4,2				
	Color [PCU]	30				
	pH [pH]	7,65				
	-	<b>Tratamiento.</b>				
		<b>Cal [2%]</b>		<b>Acido [H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>]</b>		<b>Sin Tratamiento.</b>
	Dosis [ml]	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>0,5</b>	<b>1</b>	
	pH	8,02	8,28	6,87	5,44	7,6
	-	<b>Condiciones Agua Clarificada (Propiedades Residuales).</b>				
	Turbiedad [NTU]	3,09	4,02	2,74	2,84	2,33
	Color [PCU]	40	40	40	30	30
ÍNDICE DE FLOCULACIÓN DE WILCOMB	4	4	4	4	4	

Figura.

1. Condiciones Agua Cruda - Preparada

2. Condiciones Condiciones Clarificadas



**Descripción:** La jarra 1 corresponden a agua no tratada, las jarras 2 y 3 corresponden a agua dosificada con cal al 2% con 3 y 4 ml de la solución respectivamente. Por último las jarras 4 y 5 contienen ácido sulfúrico con 0,5 y 1 ml. Se observo que las mejores condiciones de tratabilidad las obtuvo el agua no tratada.

**DATO 9.**

Dato	Variables	Condiciones Agua Cruda.				
9	Turbiedad [NTU]	45,5				
	Color [PCU]	330				
	pH [pH]	7,36				
	-	<b>Tratamiento.</b>				
		<b>Cal [2%]</b>		<b>Acido [H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>]</b>		<b>Sin Tratamiento.</b>
	Dosis [ml]	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>0,5</b>	<b>1</b>	
	pH	8,01	8,32	6,75	4,29	7,37
	-	<b>Condiciones Agua Clarificada (Propiedades Residuales).</b>				
	Turbiedad [NTU]	2,88	4,1	6,1	13,2	6,49
	Color [PCU]	40	50	70	130	70
ÍNDICE DE FLOCULACIÓN DE WILCOMB	8	8	6	4	6	

Figura.

1. Condiciones Agua Cruda - Preparada

2. Condiciones Condiciones Clarificadas



**Descripción:** La jarra 1 corresponden a agua no tratada, las jarras 2 y 3 corresponden a agua dosificada con cal al 2% con 3 y 4 ml de la solución respectivamente. Por último las jarras 4 y 6 contienen ácido sulfúrico con 0,5 y 1 ml. Se observo que las mejores condiciones de tratabilidad las obtuvo el agua tratada con CAL.

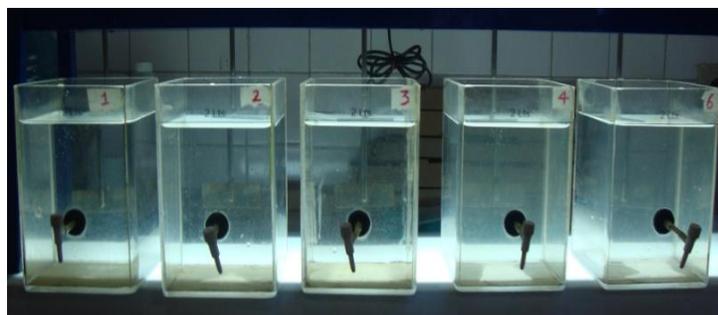
**DATO 10.**

Dato	Variables	Condiciones Agua Cruda.				
10	Turbiedad [NTU]	8,38				
	Color [PCU]	70				
	pH [pH]	7,75				
	-	<b>Tratamiento.</b>				
		<b>Cal [2%]</b>		<b>Acido [H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>]</b>		<b>Sin Tratamiento.</b>
	Dosis [ml]	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>0,5</b>	<b>1</b>	
	pH	8,22	8,59	6,19	5,17	7,69
	-	<b>Condiciones Agua Clarificada (Propiedades Residuales).</b>				
	Turbiedad [NTU]	2,01	2,21	3,97	4,78	3,34
	Color [PCU]	20	20	40	50	30
ÍNDICE DE FLOCULACIÓN DE WILCOMB	4	4	2	2	4	

Figura.

1. Condiciones Agua Cruda - Preparada

2. Condiciones Condiciones Clarificadas



**Descripción:** La jarra 1 corresponden a agua no tratada, las jarras 2 y 3 corresponden a agua dosificada con cal al 2% con 3 y 4 ml de la solución respectivamente. Por último las jarras 4 y 6 contienen ácido sulfúrico con 0,5 y 1 ml. Se observe que las mejores condiciones de tratabilidad las obtuvo el agua tratada con CAL.

**DATO 11.**

Dato	Variables	Condiciones Agua Cruda.				
11	Turbiedad [NTU]	10,1				
	Color [PCU]	80				
	pH [pH]	7,56				
	-	Tratamiento.				
		Cal [2%]		Acido [H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> ]		Sin Tratamiento.
	Dosis [ml]	3	4	0,5	1	
	pH	8,3	8,64	6,87	5,13	7,49
	-	Condiciones Agua Clarificada (Propiedades Residuales).				
	Turbiedad [NTU]	4,38	6,87	5,1	4,38	4,48
	Color [PCU]	40	40	50	40	40
ÍNDICE DE FLOCULACIÓN DE WILCOMB	6	4	2	4	6	

Figura.

1. Condiciones Agua Cruda - Preparada

2. Condiciones Condiciones Clarificadas



**Descripción:** La jarra 1 corresponden a agua no tratada, las jarras 2 y 3 corresponden a agua dosificada con cal al 2% con 3 y 4 ml de la solución respectivamente. Por último las jarras 4 y 6 contienen ácido sulfúrico con 0,5 y 1 ml. Se observe que las mejores condiciones de tratabilidad las obtuvo el agua tratada con Cal, aunque no hay mucha diferencia entre agua tratada y sin tratar.

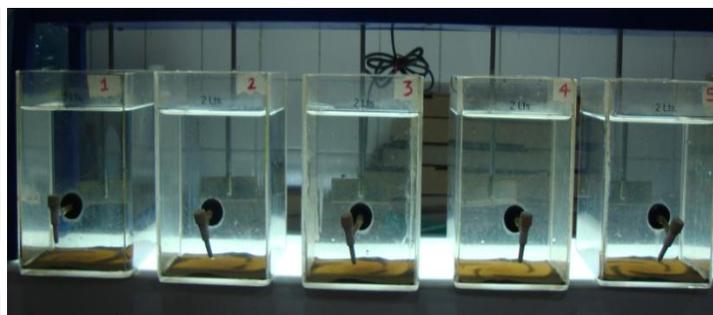
**DATO 12.**

Dato	Variables	Condiciones Agua Cruda.				
12	Turbiedad [NTU]	210				
	Color [PCU]	880				
	pH [pH]	7,53				
	-	<b>Tratamiento.</b>				
		<b>Cal [2%]</b>		<b>Acido [H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>]</b>		<b>Sin Tratamiento.</b>
	Dosis [ml]	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>0,5</b>	<b>1</b>	
	pH	8,01	8,27	6,87	6,46	7,47
	-	<b>Condiciones Agua Clarificada (Propiedades Residuales).</b>				
	Turbiedad [NTU]	3,25	4,16	6,36	5,28	8,1
	Color [PCU]	10	10	30	30	40
ÍNDICE DE FLOCULACIÓN DE WILCOMB	8	8	8	8	8	

Figura.

1. Condiciones Agua Cruda - Preparada

2. Condiciones Condiciones Clarificadas



**Descripción:** La jarra 1 corresponden a agua no tratada, las jarras 2 y 3 corresponden a agua dosificada con cal al 2% con 3 y 4 ml de la solución respectivamente. Por último las jarras 4 y 5 contienen ácido sulfúrico con 0,5 y 1 ml. Se observo que las mejores condiciones de tratabilidad las obtuvo el agua tratada con CAL.

**DATO 13.**

Dato	Variables	Condiciones Agua Cruda.				
13	Turbiedad [NTU]	2,1				
	Color [PCU]	40				
	pH [pH]	7,07				
	-	<b>Tratamiento.</b>				
		<b>Cal [2%]</b>		<b>Acido [H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>]</b>		<b>Sin Tratamiento.</b>
	Dosis [ml]	<b>2</b>	<b>1</b>	<b>0,5</b>	<b>1</b>	
	pH	8,95	8,5	6,78	5,27	7,1
	-	<b>Condiciones Agua Clarificada (Propiedades Residuales).</b>				
	Turbiedad [NTU]	2,47	2,21	2,25	1,97	1,86
	Color [PCU]	40	30	40	30	30
ÍNDICE DE FLOCULACIÓN DE WILCOMB	2	2	2	4	4	

Figura.

1. Condiciones Agua Cruda - Preparada

2. Condiciones Condiciones Clarificadas



**Descripción:** La jarra 1 corresponden a agua no tratada, las jarras 2 y 3 corresponden a agua dosificada con cal al 2% con 3 y 4 ml de la solución respectivamente. Por último las jarras 4 y 5 contienen ácido sulfúrico con 0,5 y 1 ml. Se observo que las mejores condiciones de tratabilidad las obtuvo el agua sin ser tratada.

**DATO 14.**

Dato	Variables	Condiciones Agua Cruda.				
14	Turbiedad [NTU]	44,1				
	Color [PCU]	280				
	pH [pH]	7,26				
	-	<b>Tratamiento.</b>				
		<b>Cal [2%]</b>		<b>Acido [H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>]</b>		<b>Sin Tratamiento.</b>
	Dosis [ml]	<b>3</b>	<b>1</b>	<b>0,5</b>	<b>1</b>	
	pH	9,38	8,63	6,65	4,52	7,26
	-	<b>Condiciones Agua Clarificada (Propiedades Residuales).</b>				
	Turbiedad [NTU]	4,28	4,06	5,02	7,94	4,75
	Color [PCU]	30	30	40	70	30
ÍNDICE DE FLOCULACIÓN DE WILCOMB	6	8	6	4	6	

Figura.

1. Condiciones Agua Cruda - Preparada

2. Condiciones Condiciones Clarificadas



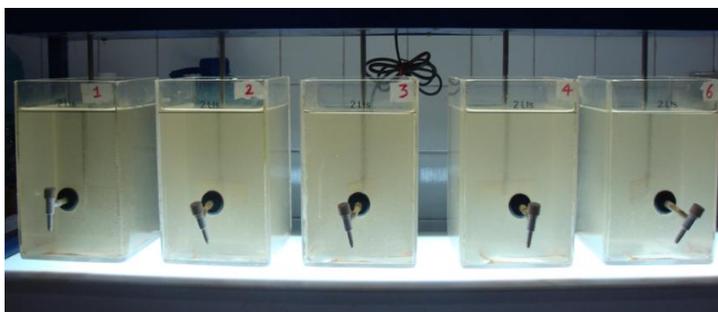
**Descripción:** La jarra 1 corresponden a agua no tratada, las jarras 2 y 3 corresponden a agua dosificada con cal al 2% con 3 y 1 ml de la solución respectivamente. Por último las jarras 4 y 5 contienen ácido sulfúrico con 0,5 y 1 ml. Se observo que las mejores condiciones de tratabilidad las obtuvo el agua tratada con Cal.

**DATO 15.**

Dato	Variables	Condiciones Agua Cruda.				
15	Turbiedad [NTU]	108				
	Color [PCU]	600				
	pH [pH]	7,01				
	-	<b>Tratamiento.</b>				
		<b>Cal [2%]</b>		<b>Acido [H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>]</b>		<b>Sin Tratamiento.</b>
	Dosis [ml]	<b>2</b>	<b>1</b>	<b>0,5</b>	<b>1</b>	
	pH	9,13	8,95	6,36	5,03	7,1
	-	<b>Condiciones Agua Clarificada (Propiedades Residuales).</b>				
	Turbiedad [NTU]	17,6	12,5	13,6	21,4	9,09
	Color [PCU]	160	130	110	170	90
ÍNDICE DE FLOCULACIÓN DE WILCOMB	4	4	4	4	6	

Figura.

1. Condiciones Agua Cruda - Preparada



2. Condiciones Condiciones Clarificadas



**Descripción:** La jarra 1 corresponden a agua no tratada, las jarras 2 y 3 corresponden a agua dosificada con cal al 2% con 2 y 1 ml de la solución respectivamente. Por último las jarras 4 y 6 contienen ácido sulfúrico con 0,5 y 1 ml. Se observo que las mejores condiciones de tratabilidad las obtuvo el agua sin ser tratada.

NOTA: EL EQUIPO (pH metro, Colorímetro y turbidímetro, tenía problemas con las mediciones, por lo que no se tiene certeza de los datos) debido a altibajos en la energía se fue y al regresar descalibrado el equipo.

### COMPARACIÓN DE LOS RESULTADOS PARA LOS VALORES PROMEDIOS.

Los resultados obtenidos se compararon con lo establecido por la Resolución 2115 de 2007, para las características físicas y pH, en los meses de estudio.

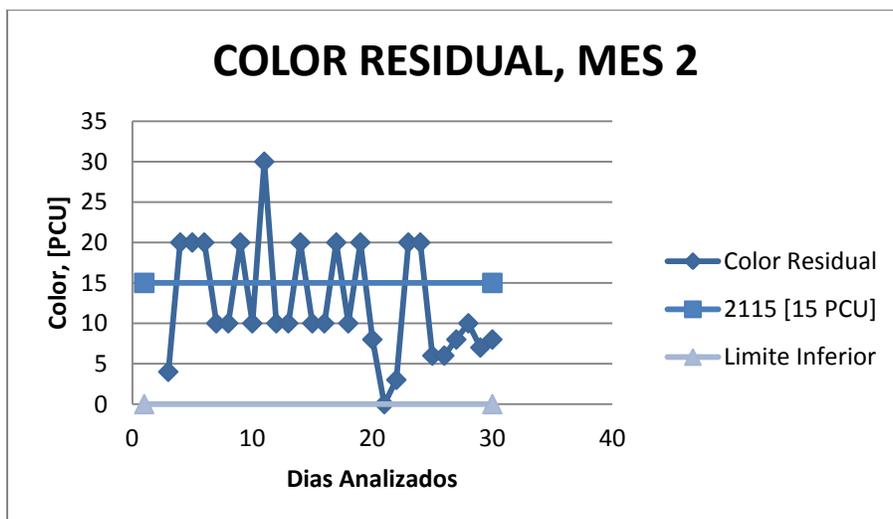
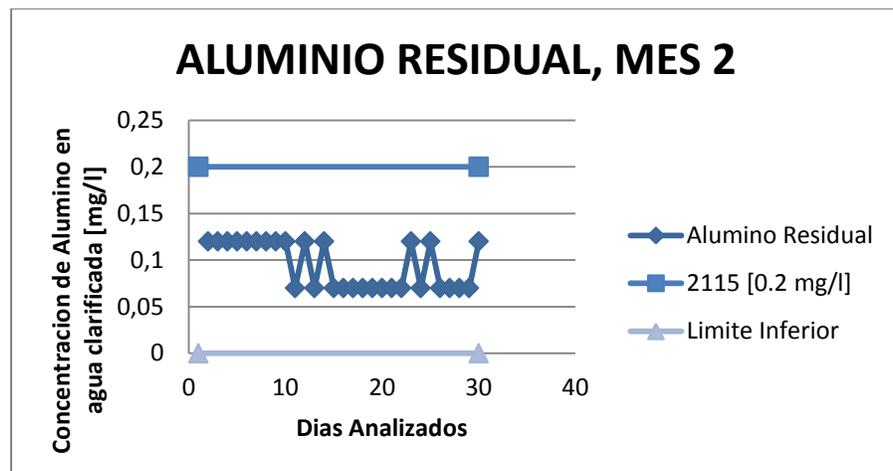
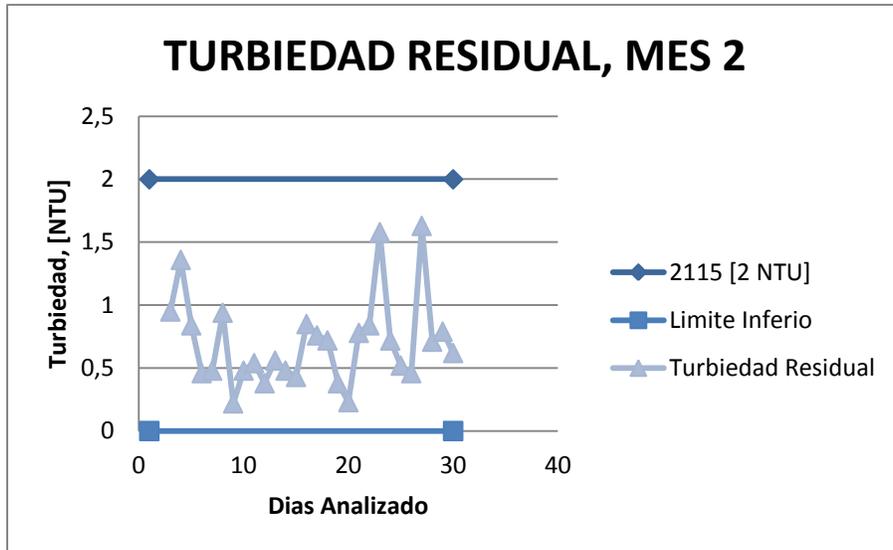
#### MES 1.

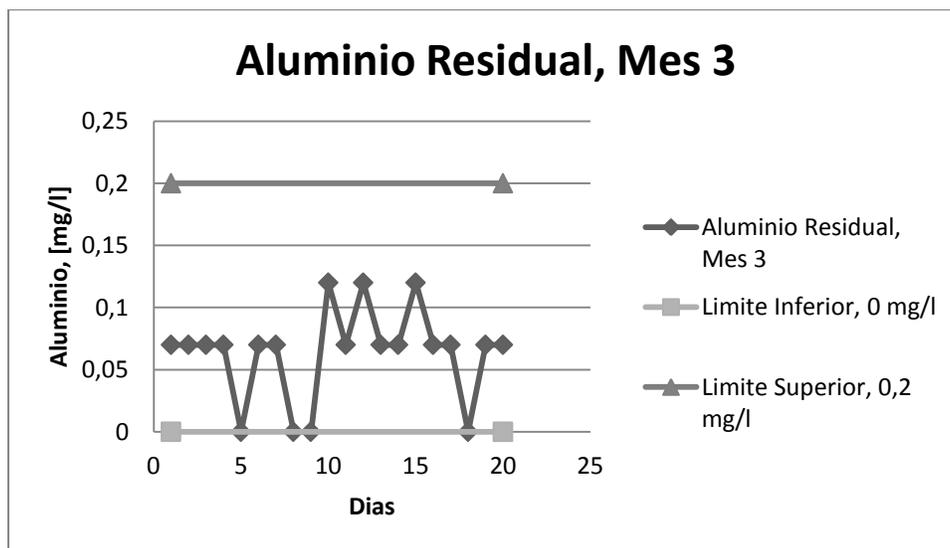
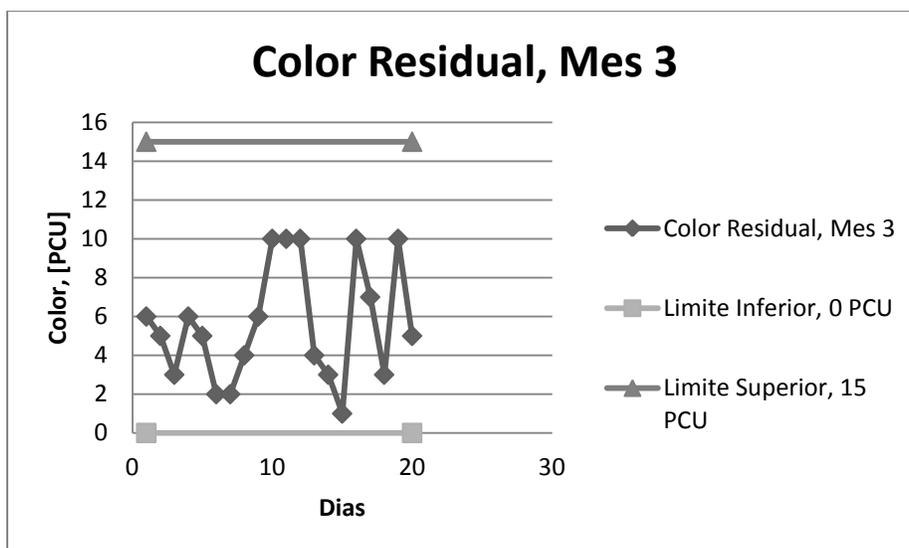
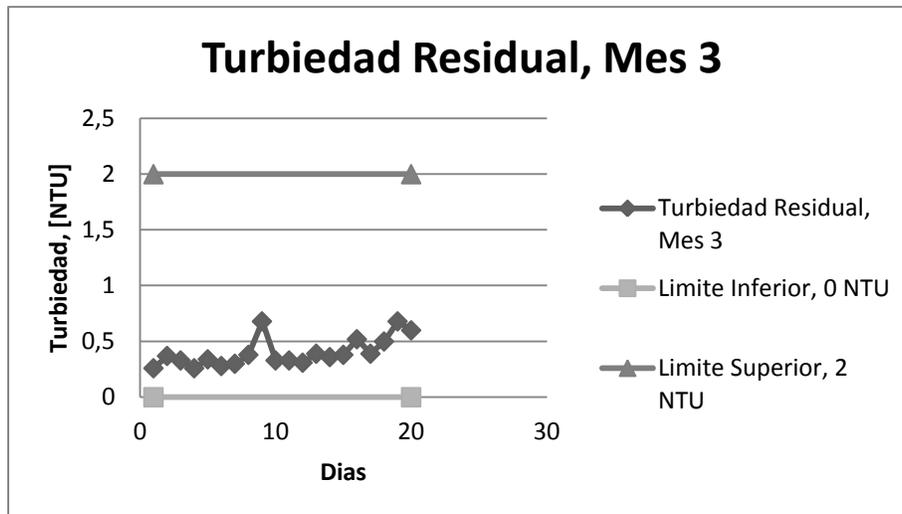
En este mes se compararon las propiedades del agua clarificada.

Características Físicas	Expresados como	Valor máximo aceptable	Valores Promedios
Color aparente	Unidades de Platino Cobalto (UPC)	15	28.20
Olor y sabor	Aceptable ó no Aceptable	Aceptable	Aceptable
Turbiedad	Unidades Nefelométricas de turbiedad (UNT)	2	3.34
POTENCIAL DE HIDRÓGENO (pH). El valor para el potencial de hidrógeno pH del agua para consumo humano, deberá estar comprendido entre 6,5 y 9,0.			7.17

#### MES 2.

Para el mes dos se compararon las propiedades residuales del agua clarificada y filtrada.





Nota: En la comparación de los resultados respecto a la resolución 2115 de 2007, se debe aclarar que los valores que muestra dicha resolución son para agua apta para el consumo humano a la cual se le han efectuado todas las etapas de tratabilidad (incluyendo filtración por lecho filtrante). Por tanto y considerando lo anterior solo se uso estos valores como punto de referencia para comparar la efectividad del proceso da jarras bajo las condiciones optimas, y es claro que un proceso de filtración posterior ayudaría a mejorar las características del agua.

## VELOCIDAD DE SEDIMENTACIÓN CRÍTICA ( $V_{sc}$ ).

### Muestra de Cálculo para el Día 18 del Mes Uno.

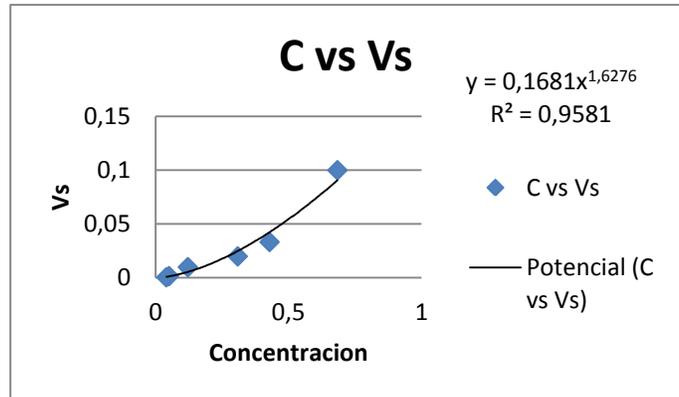
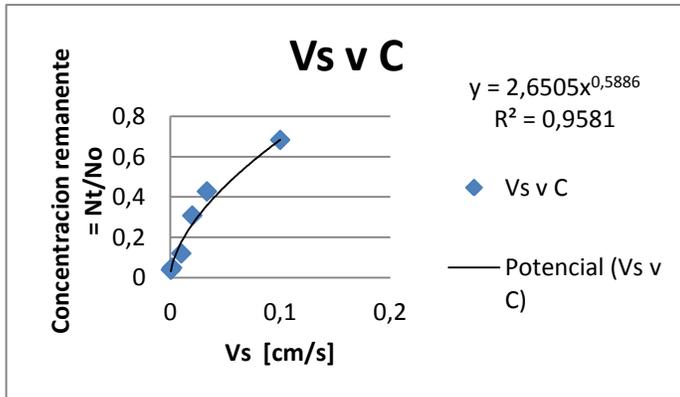
1. Se efectúan la prueba de velocidad de sedimentación critica, y se obtiene los datos que aparecen a continuación:

No = 15.8 NTU (turbiedad inicial del Agua Cruda).

1	2	3	4	5
Jarra No	Tiempo [min]	vs [cm/s]	Turbiedad [Nt]	Fracción [Nt/No]
1	1	0,1	10,8	0,683544304
2	3	0,033333333	6,77	0,428481013
3	5	0,02	4,88	0,308860759
4	10	0,01	1,92	0,121518987
5	60	0,001666667	0,8	0,050632911
6	180	0,000555556	0,64	0,040506329

Las columnas 1, 2 y 4 se obtienen directamente en el laboratorio. La columna 3 se obtiene al dividir la distancia por el tiempo de toma, considerando que la muestra se extrajo a 6 cm de profundidad.

2. Con las columnas 3 y 5 de la tabla de resultados se grafica Vs contra C, así:



3. Se selecciona uno ó varios Valores de carga superficial (basado en el RAS 2000), para el cual se desee hacer los análisis, de acuerdo el tipo de sedimentador.

Tipo.	Intervalo de Carga Superficial. [m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> d]
Flujo Horizontal	15 – 30 [m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> d]
Flujo ascendente o Vertical	20 – 30 [m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> d]
Manto de lodos	30 – 60 [m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> d]
Alta tasa	120 – 185 [m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> d] (Placas Angostas) 200 – 300 [m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> d] (Placas Profundas)

4. Para una carga superficial dada, calculamos la Vsc en [cm/s] y con la correlación de los datos encontramos el valor de Co.

$$Carga = 17 \frac{m^3}{m^2 d} \quad \text{que equivale a:} \quad V_{sc} = 0.019676 \frac{cm}{s}$$

$$C = 2,6505 V_{sc}^{0,5886}$$

$$C_o = 2.6505 \times (0.019676^{5,8886}) = 2.38234 \times 10^{-1}$$

5. Ahora bien Calculamos el término “ $a$ ”, así:

$$a = \int_{C=0}^{C=C_o} V_S \, dC$$

$$a = \int_0^{0.238234} 0.1681 C^{1.6276} \, dC$$

Método Numérico de Trapecios (Integración Numérica)

Se  $f$  continua en  $[a, b]$ . La regla de los trapecios para aproximar  $\int_a^b f(x)dx$  viene dada por

$$\int_a^b f(x)dx \approx \frac{b-a}{2n} [f(x_0) + 2f(x_1) + 2f(x_2) + \dots + 2f(x_{n-1}) + f(x_n)]$$

Además, cuando  $n \rightarrow \infty$ , el miembro de la derecha se aproxima a  $\int_a^b f(x)dx$ .

Se aplica integración Numérica con el Método de Trapecios debido a que la ecuación es altamente no lineal, de obtiene el valor de “ $a$ ”,

$$a = 0.001476$$

6. De la tabla de datos encuentro el valor de  $C_f=0,040506329$ .

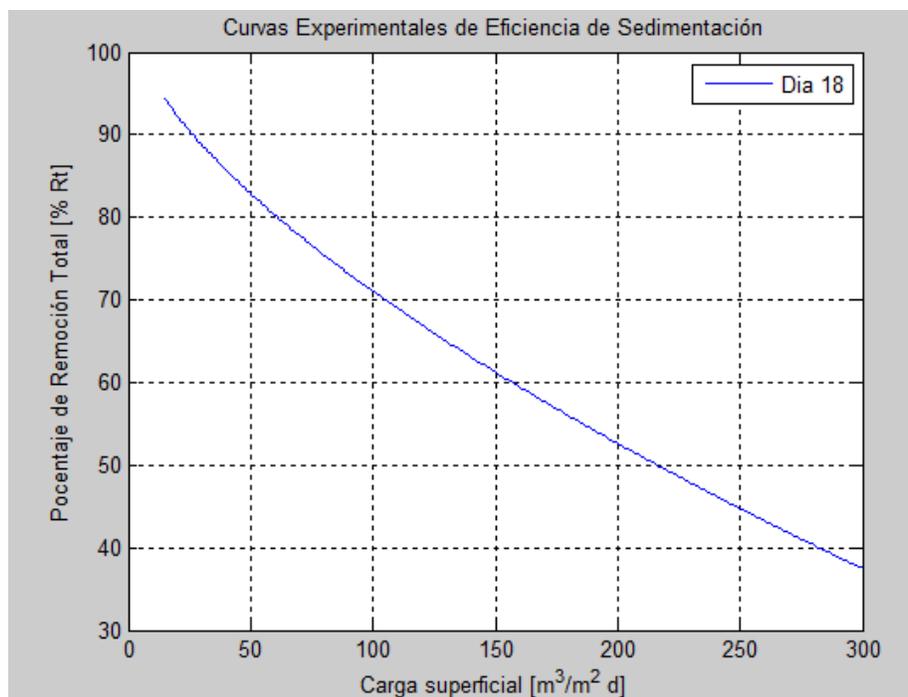
7. Por último se calcula el porcentaje de remoción total ( $R_T$ ) para una carga superficial dada.

$$R_T = [1 - (C_o - C_f)] + \frac{a}{V_{SC}}$$

$$R_T = [1 - (0.238234 - 0.0405066329)] + \frac{0.001476}{0.019676}$$

$$R_T = 87.7277\% \approx 88\%$$

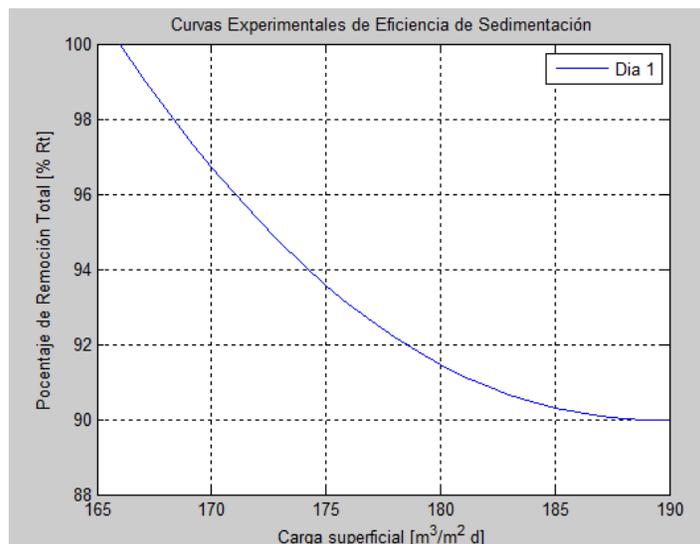
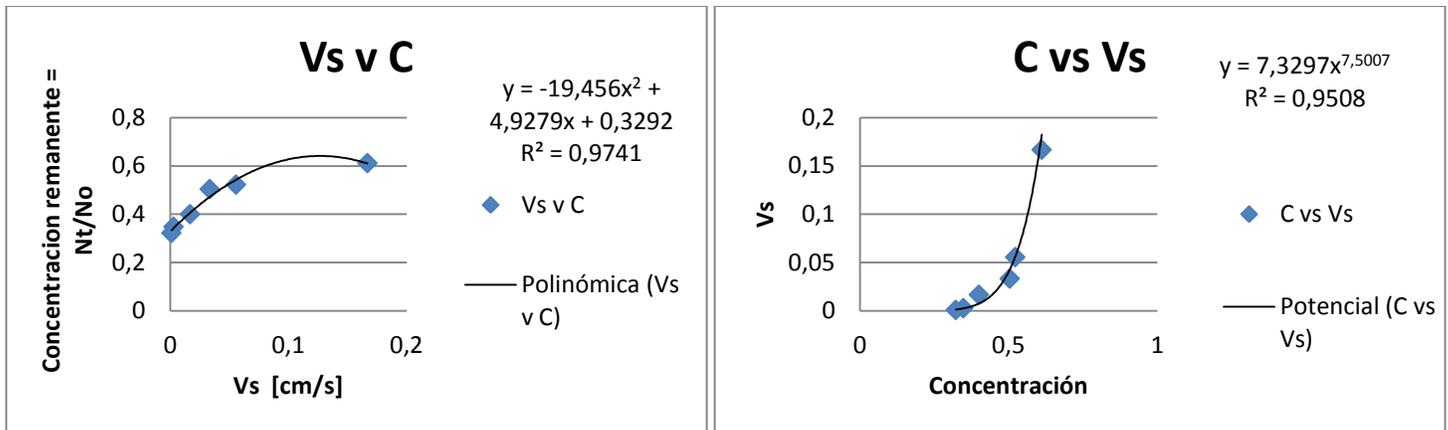
8. Se repite este cálculo para cada uno de los valores comprendidos dentro del intervalo de estudio para obtener la siguiente grafica. Dicha grafica se tiene a partir de un programa computacional desarrollado en un software matemático gratuito (Scilab).



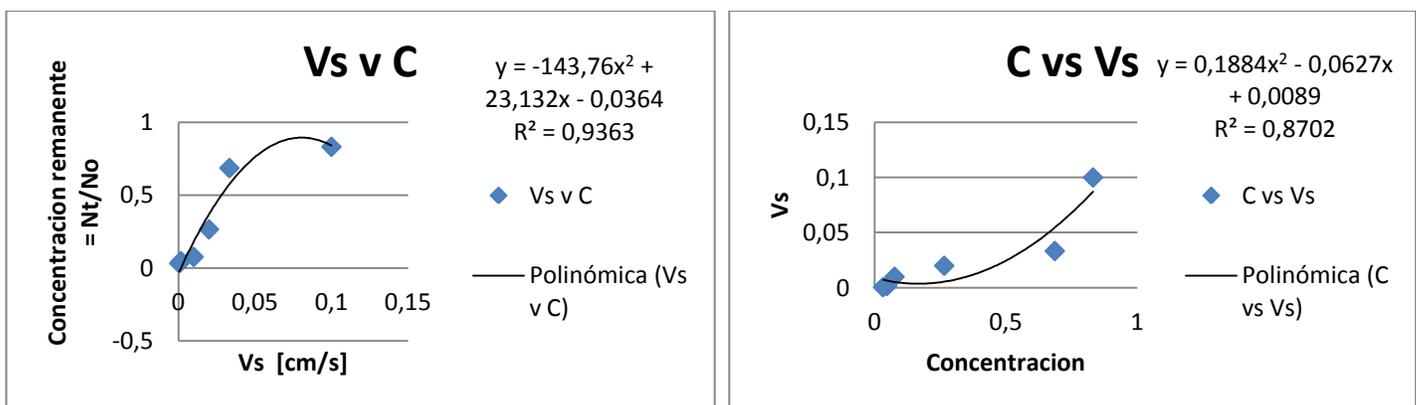
## RESULTADOS.

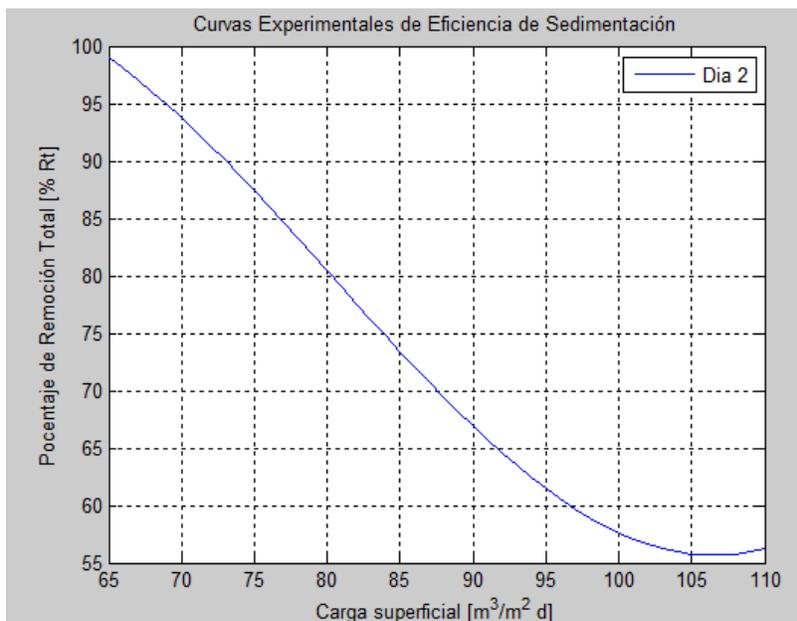
**MES 1.**

**DÍA 1.**

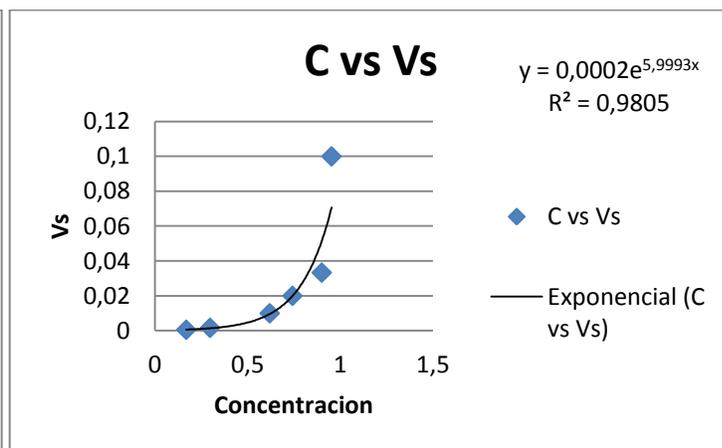
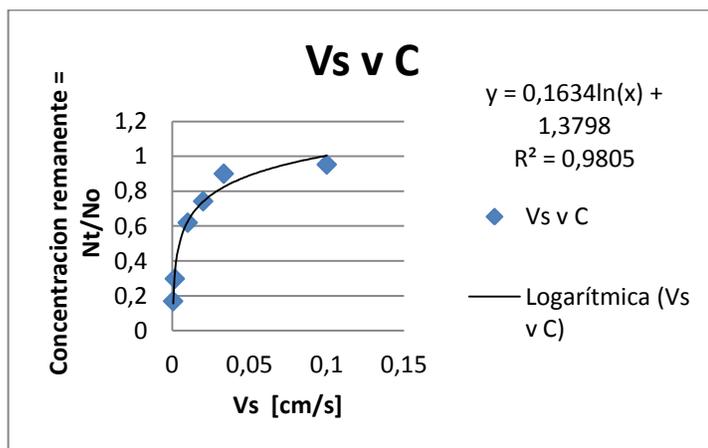


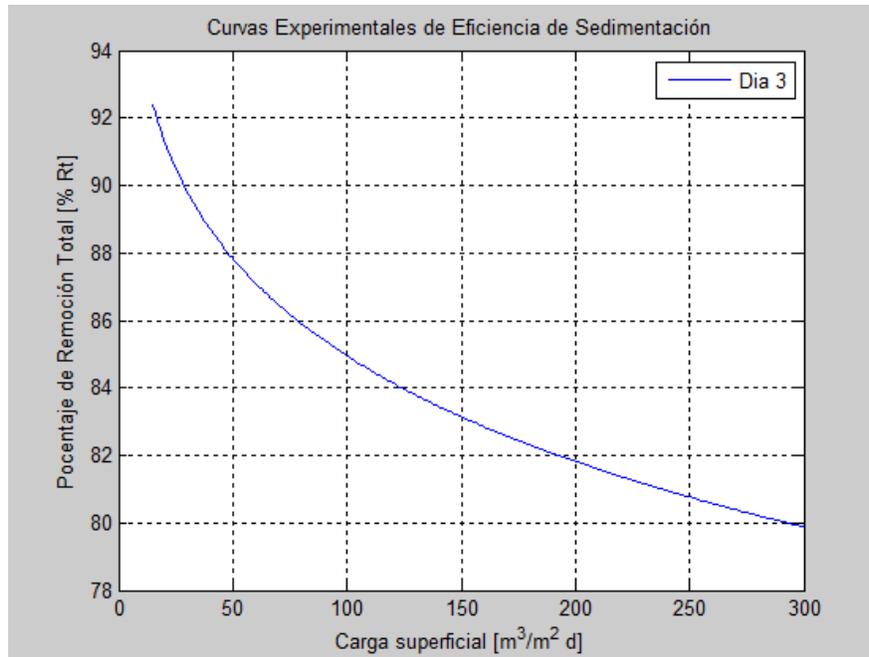
**DÍA 2.**



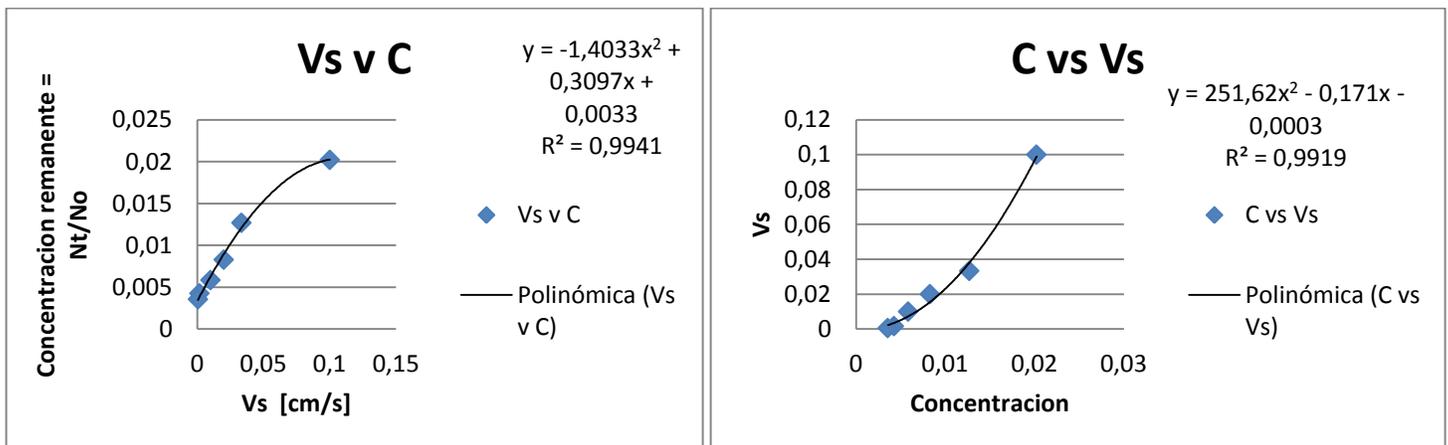


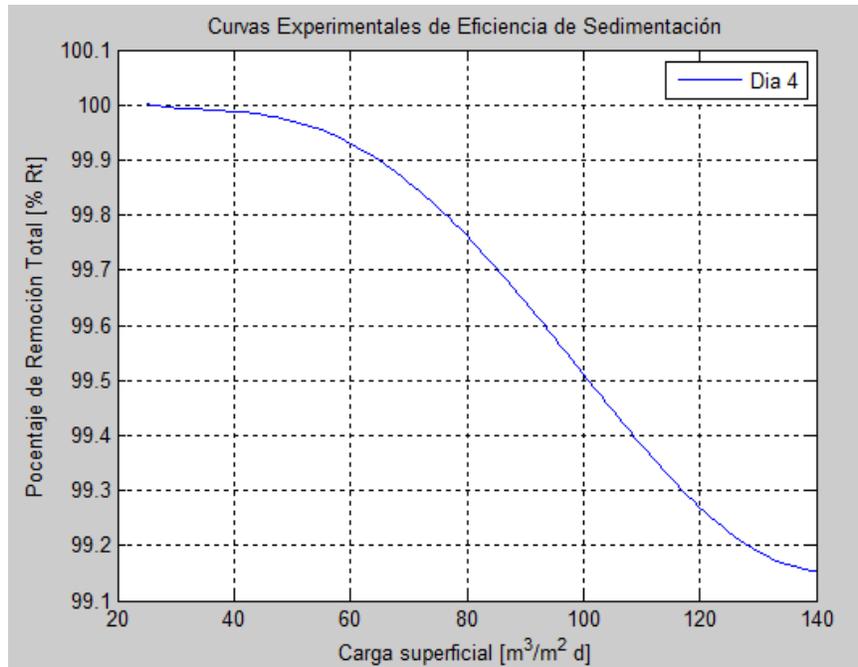
DÍA 3.



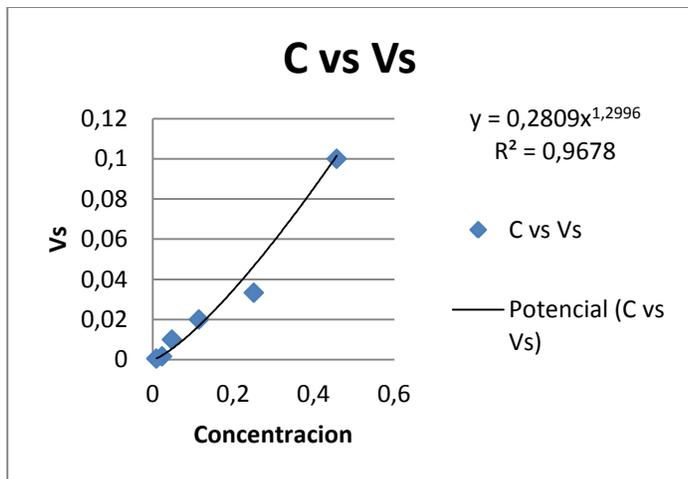
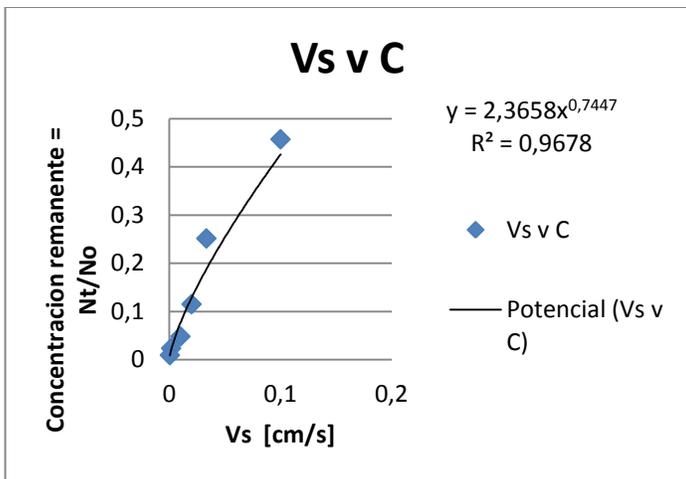


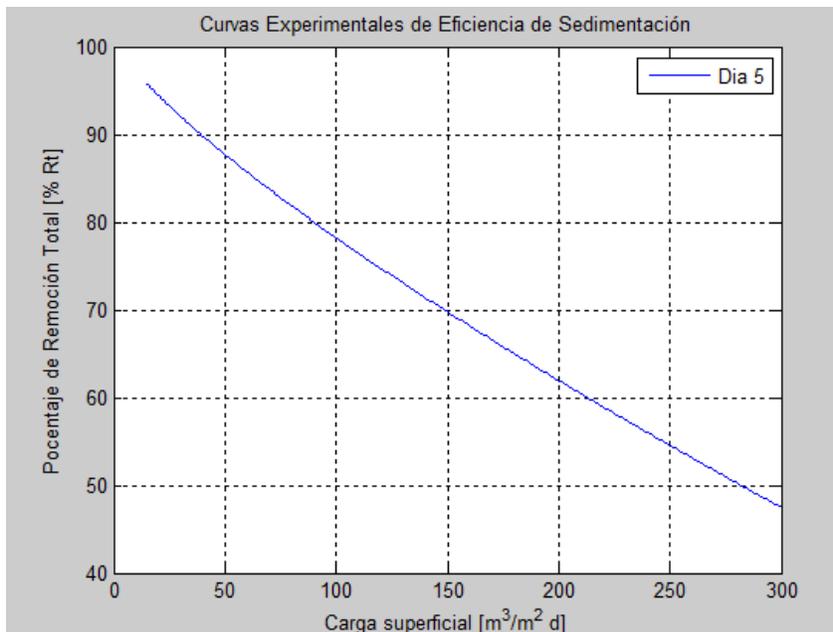
DÍA 4.



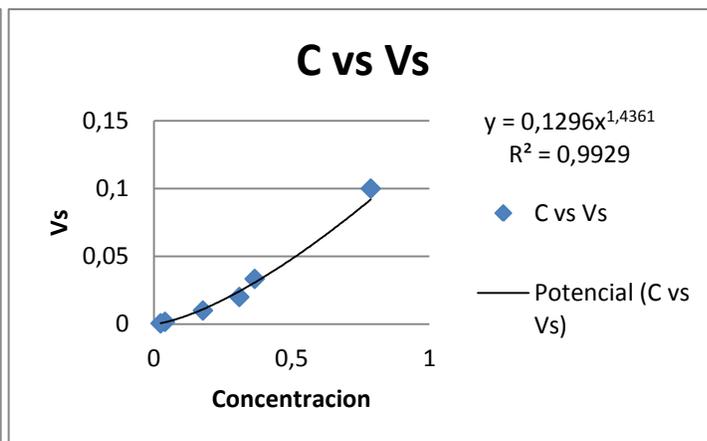
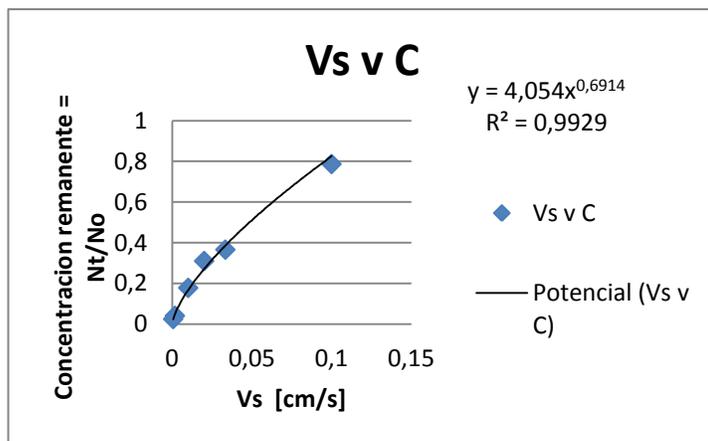


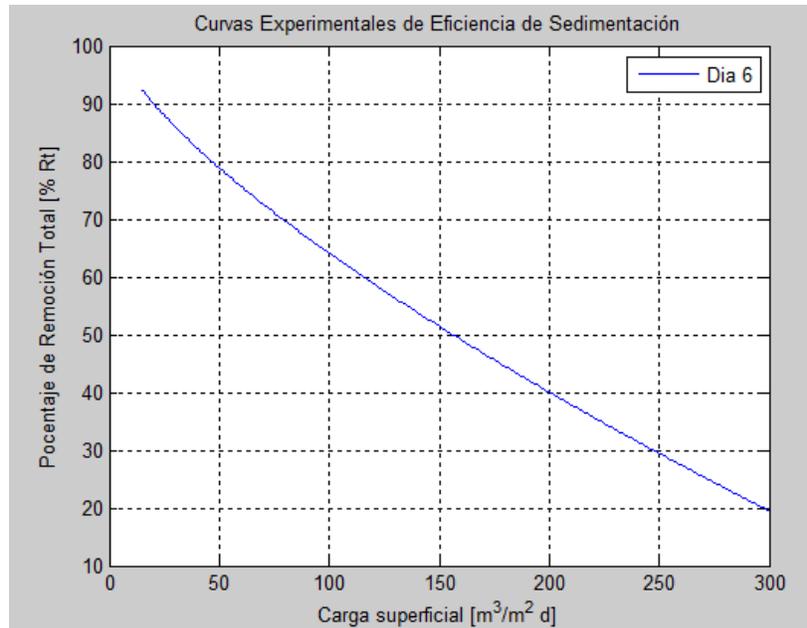
DÍA 5.



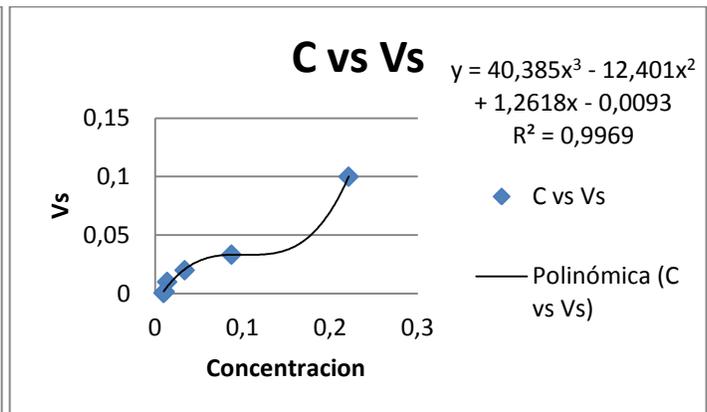
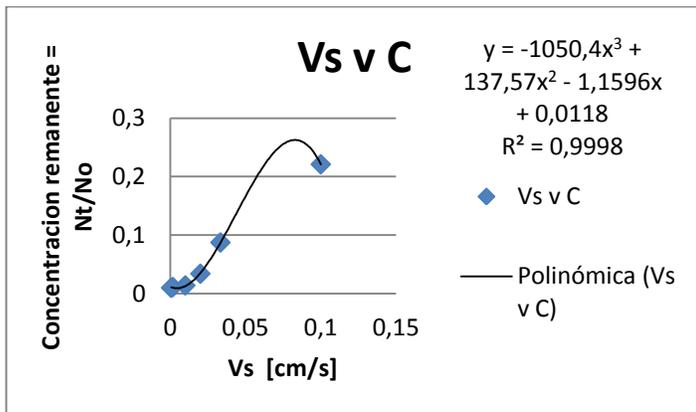


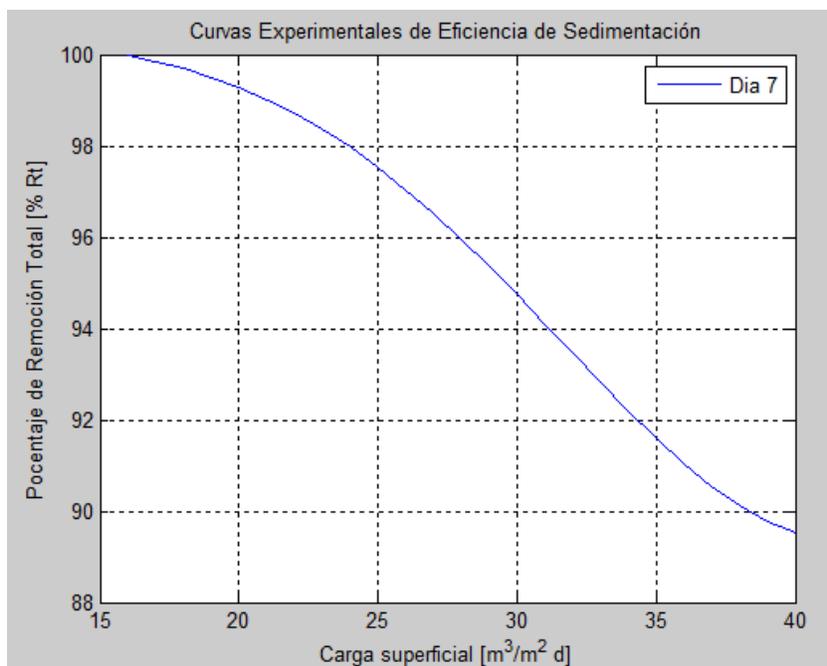
DÍA 6.





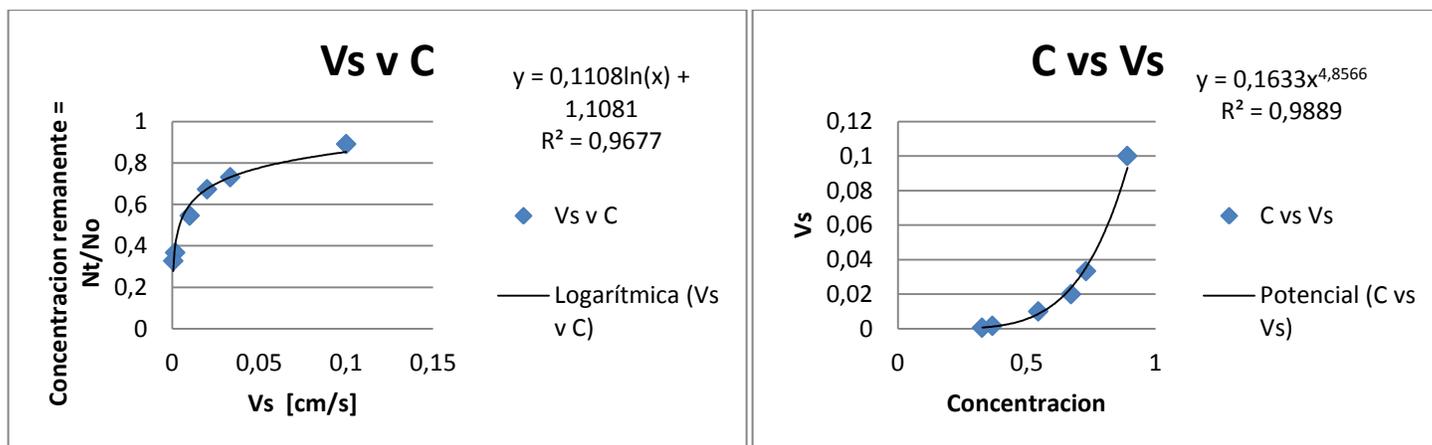
DÍA 7.

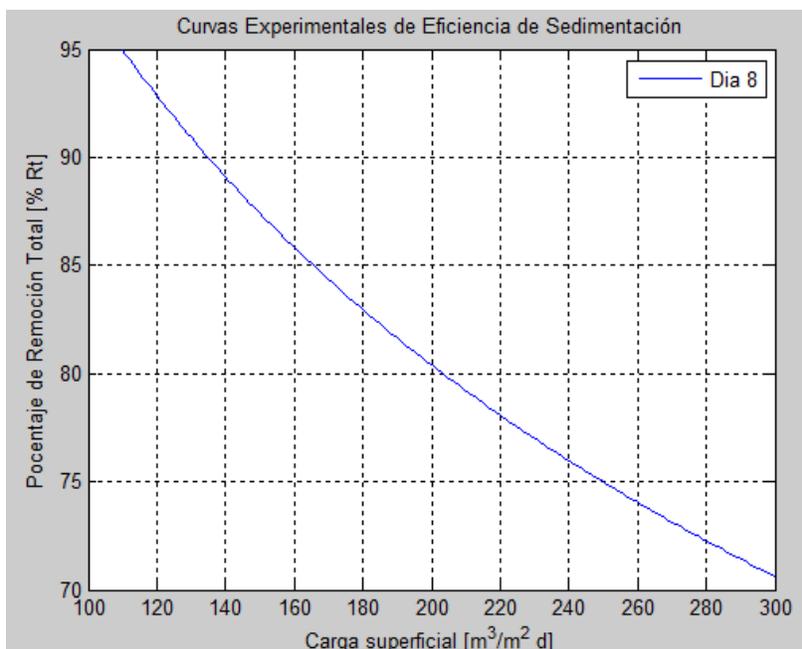




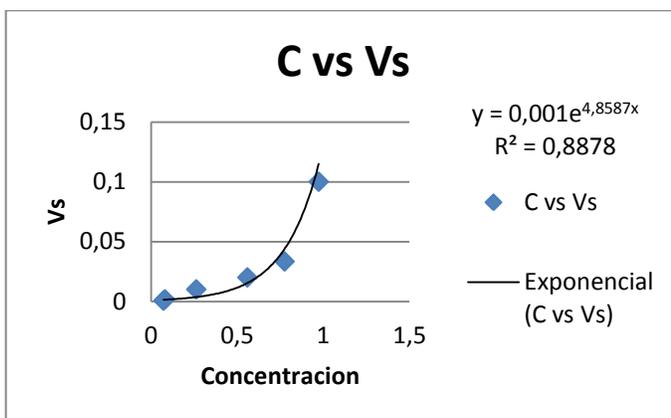
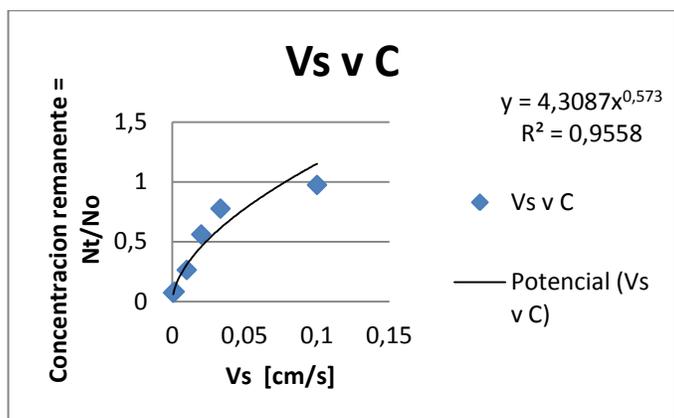
Para valores superiores a 40 no existe porcentaje de remoción aceptable.

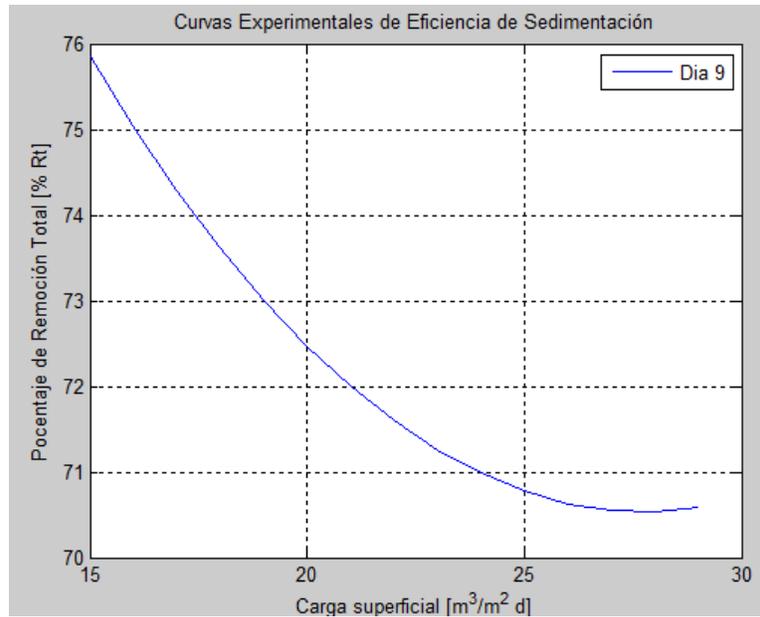
DÍA 8.



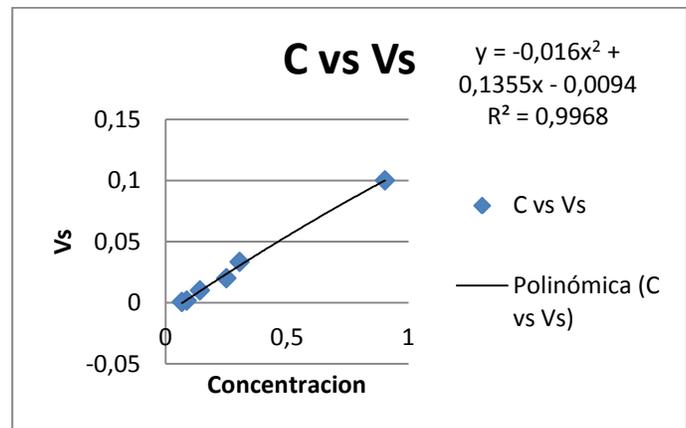
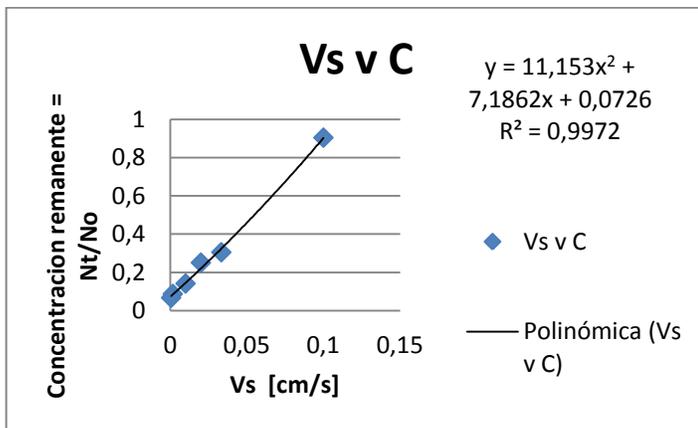


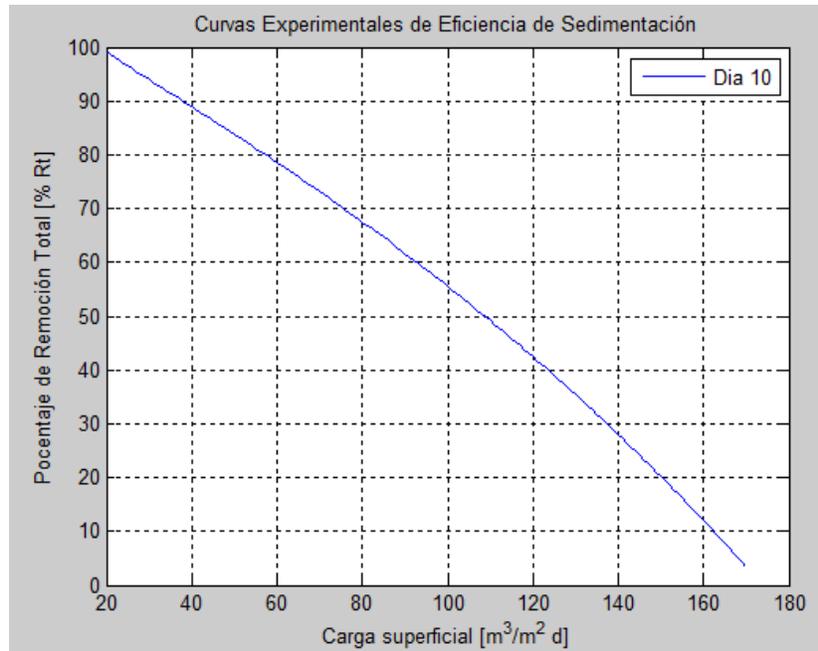
DÍA 9.



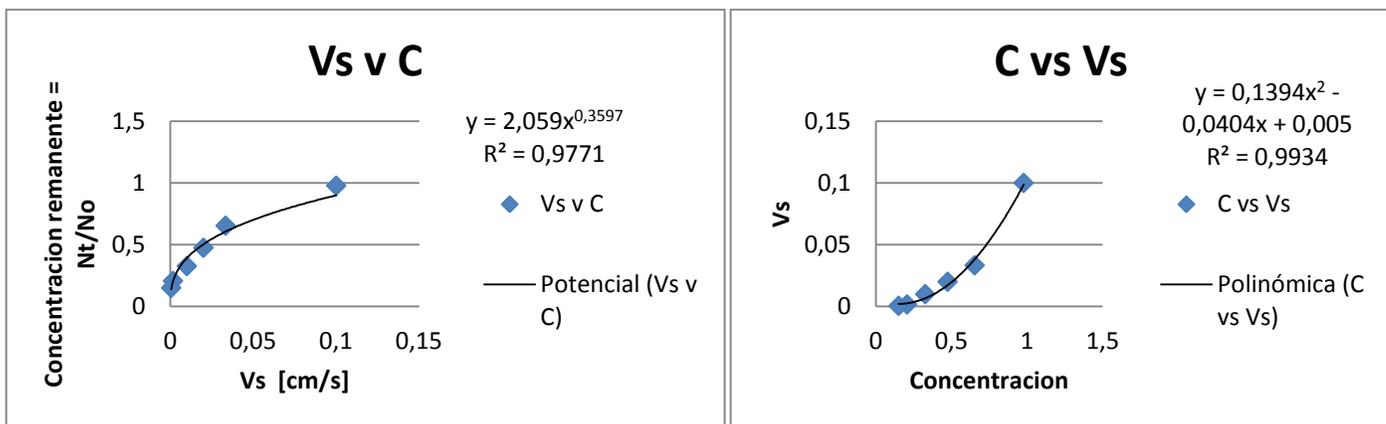


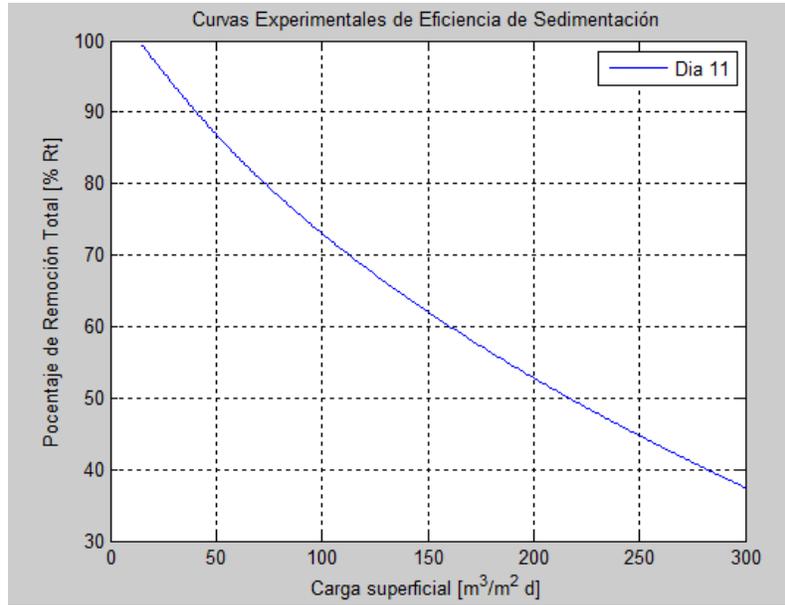
DÍA 10.



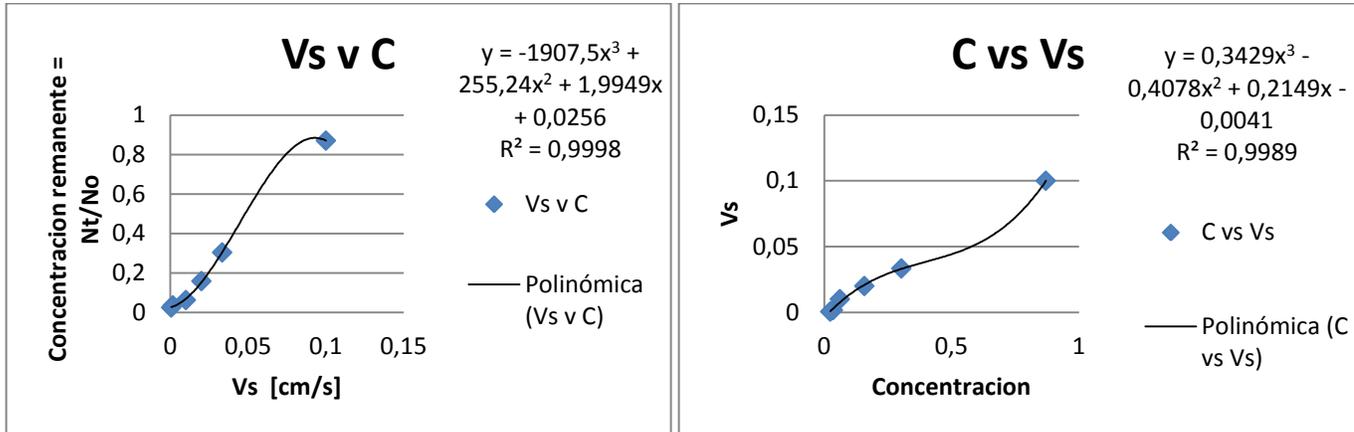


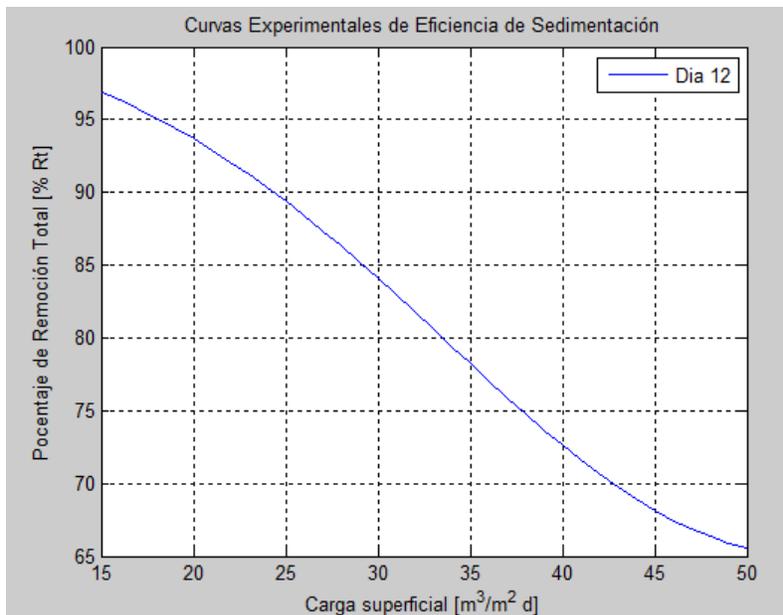
DÍA 11.



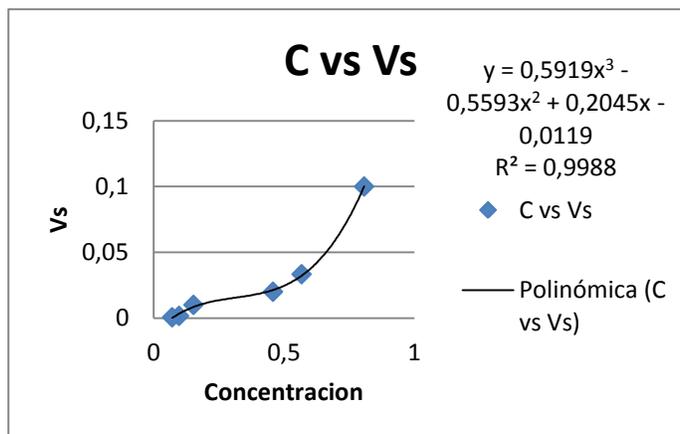
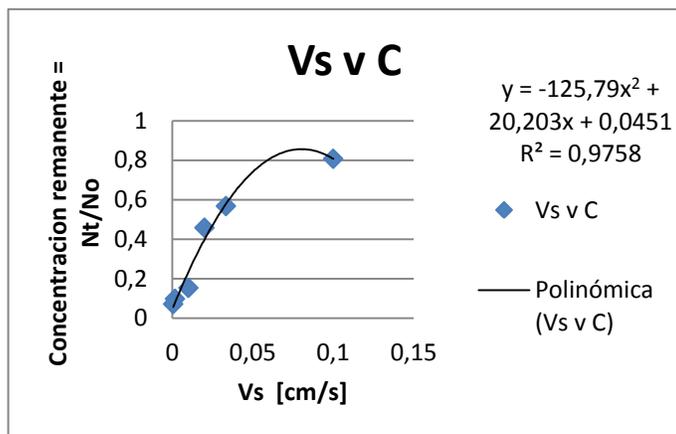


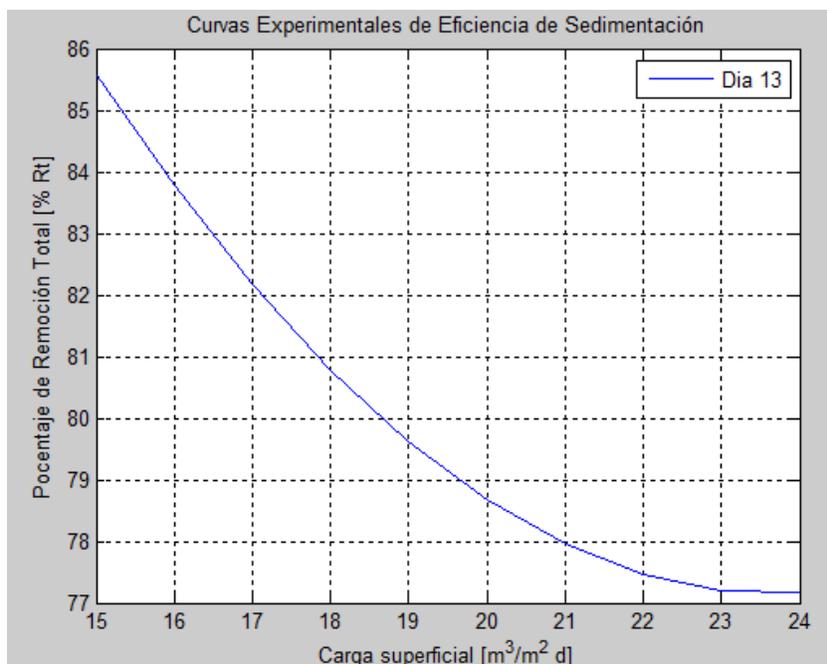
DÍA 12.



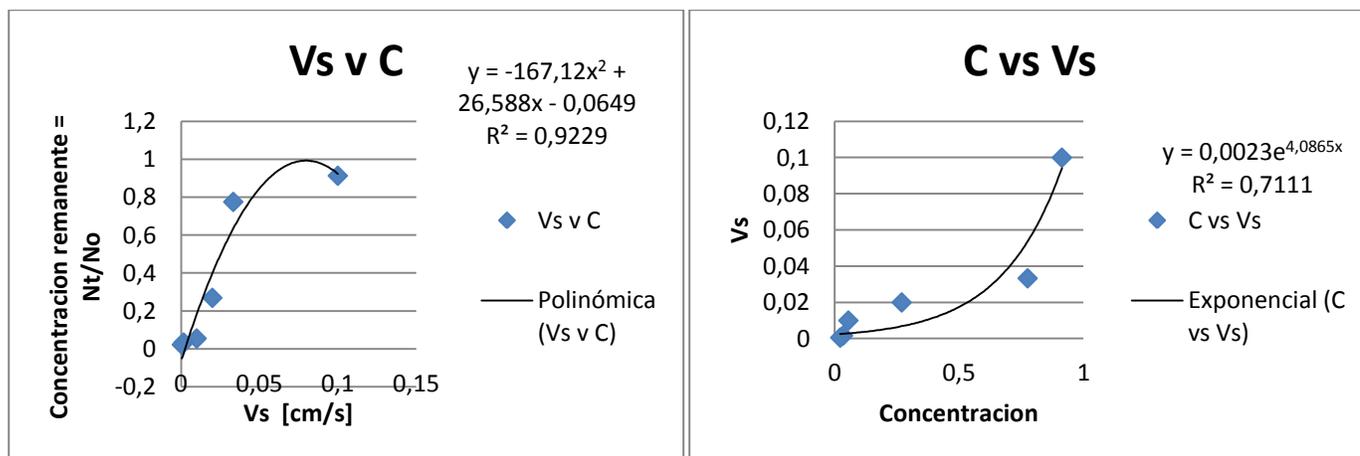


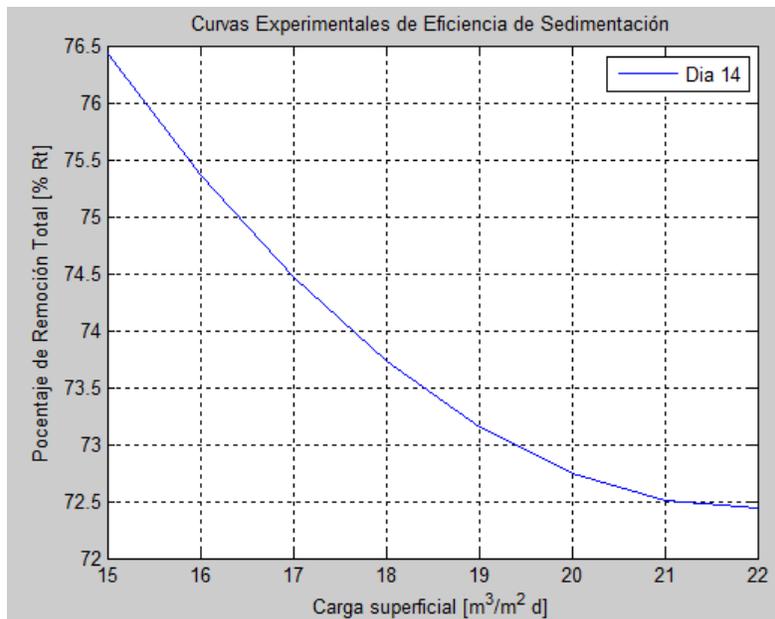
DÍA 13.



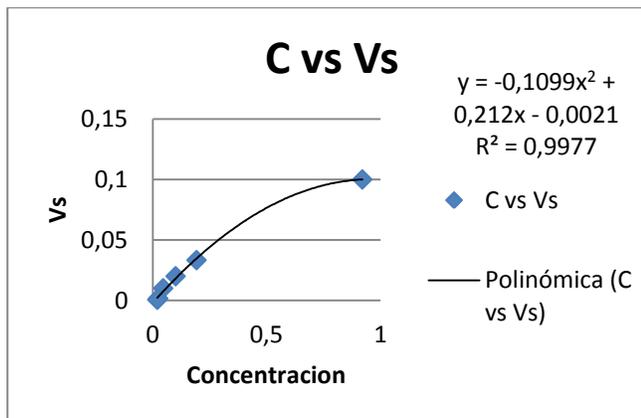
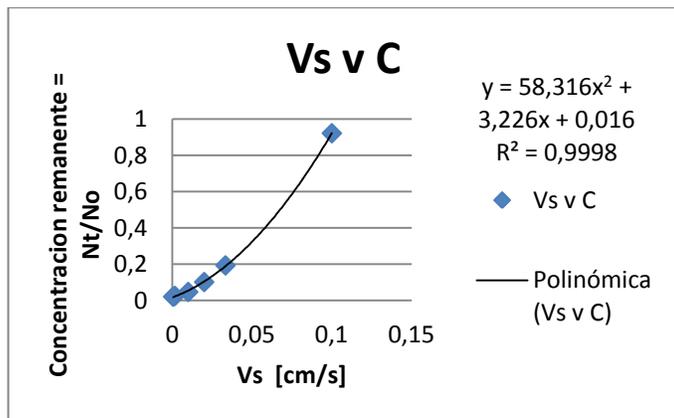


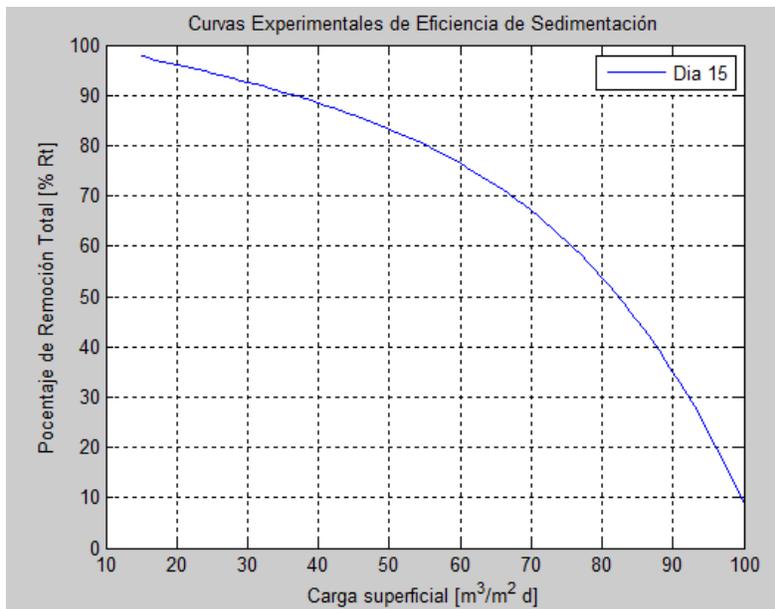
DÍA 14.



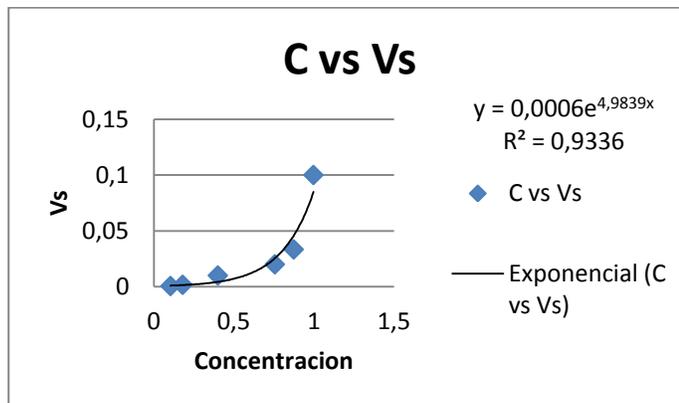
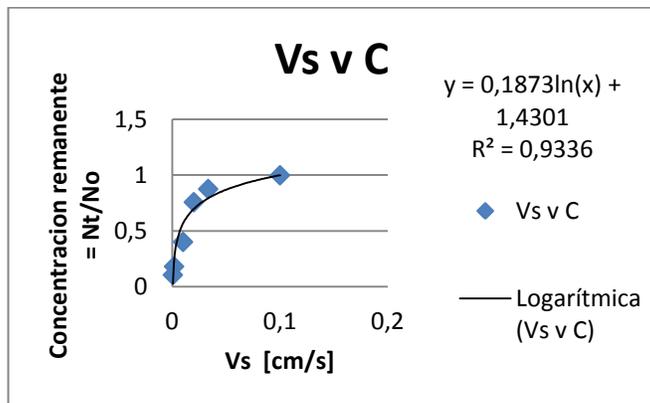


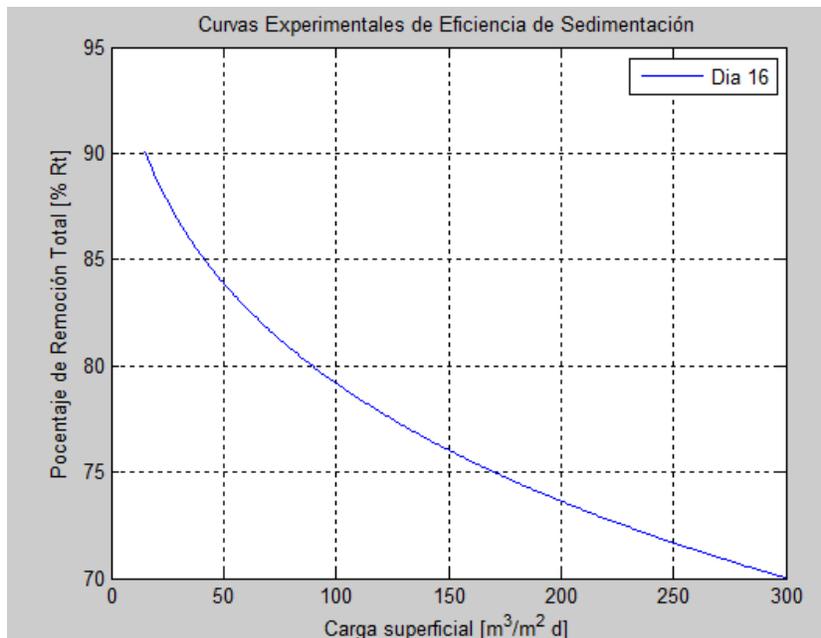
DÍA 15.



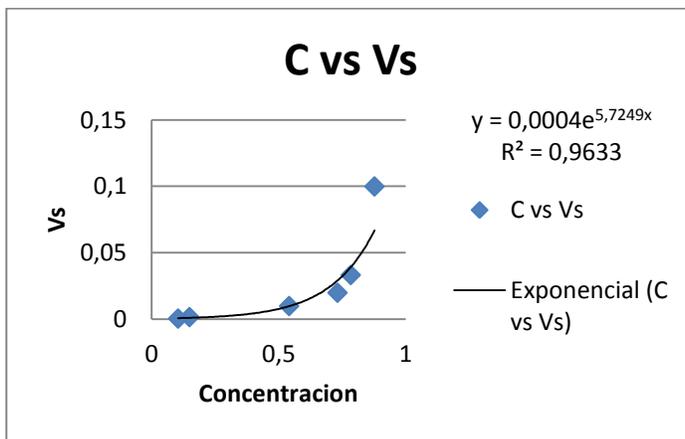
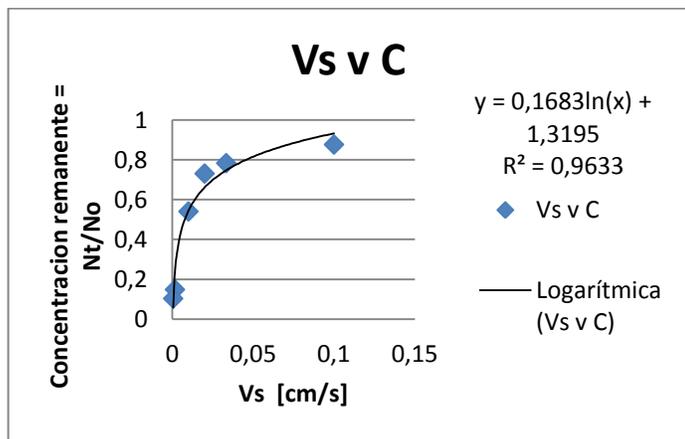


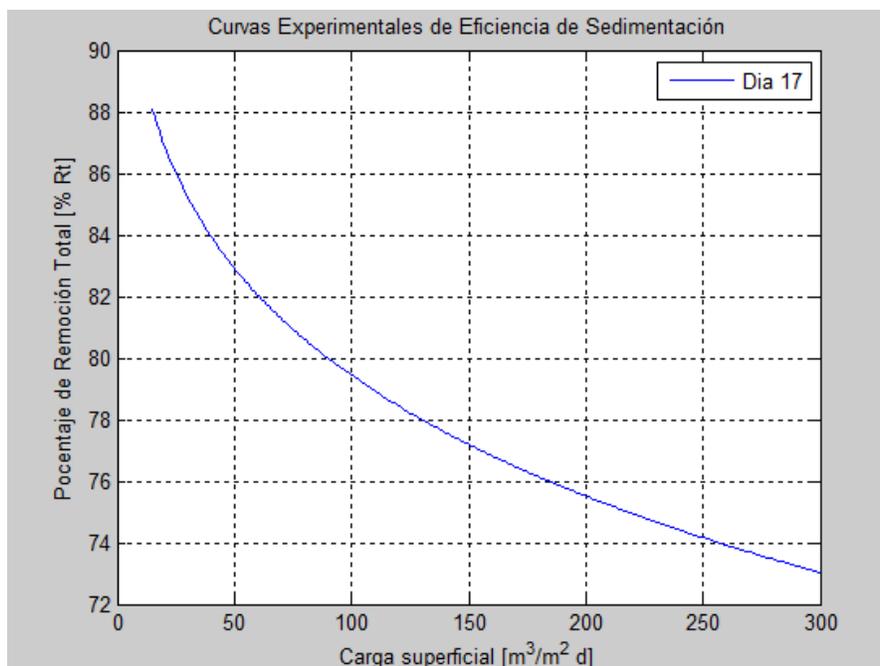
DÍA 16.



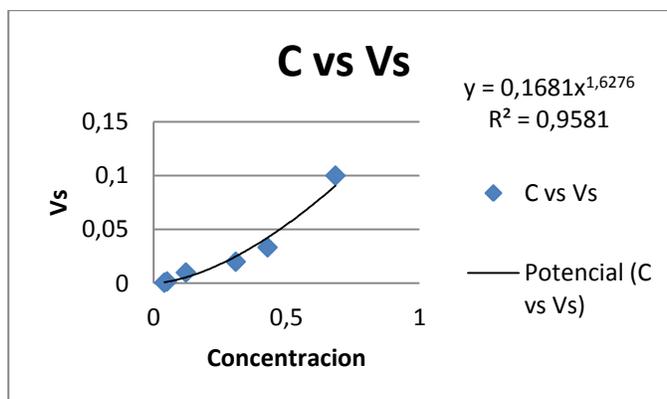
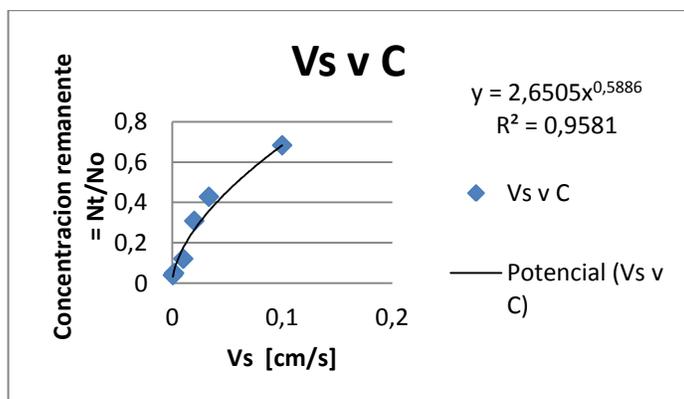


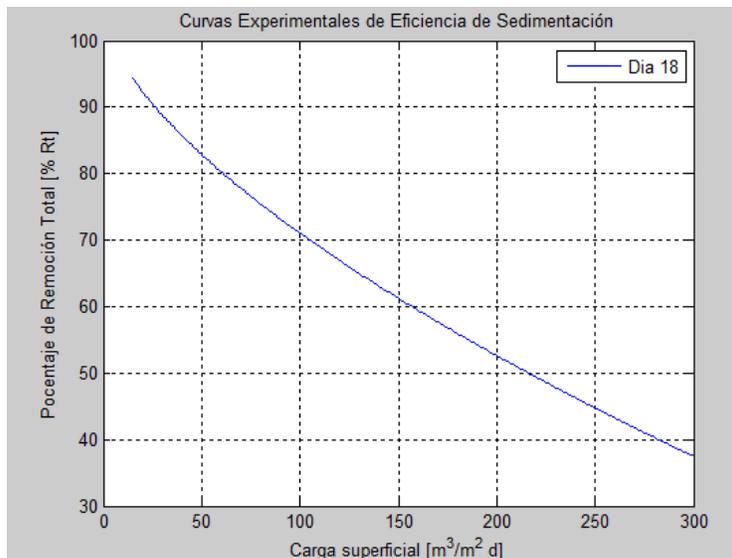
DÍA 17.



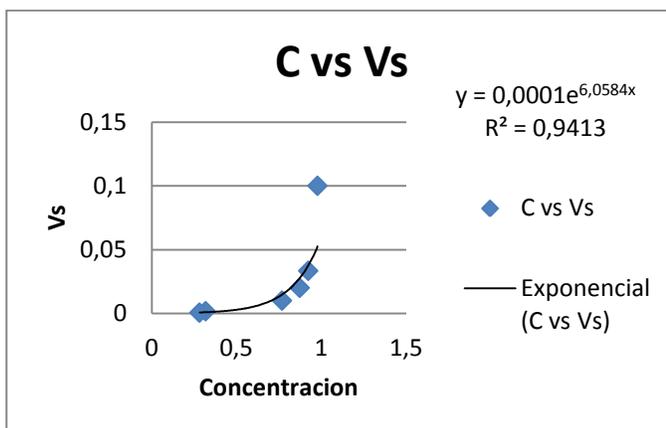
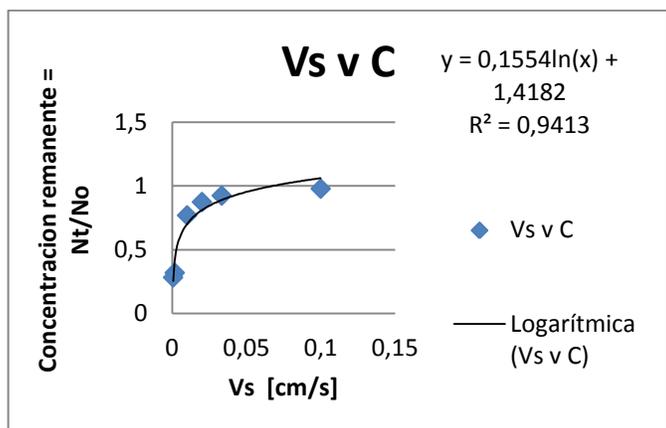


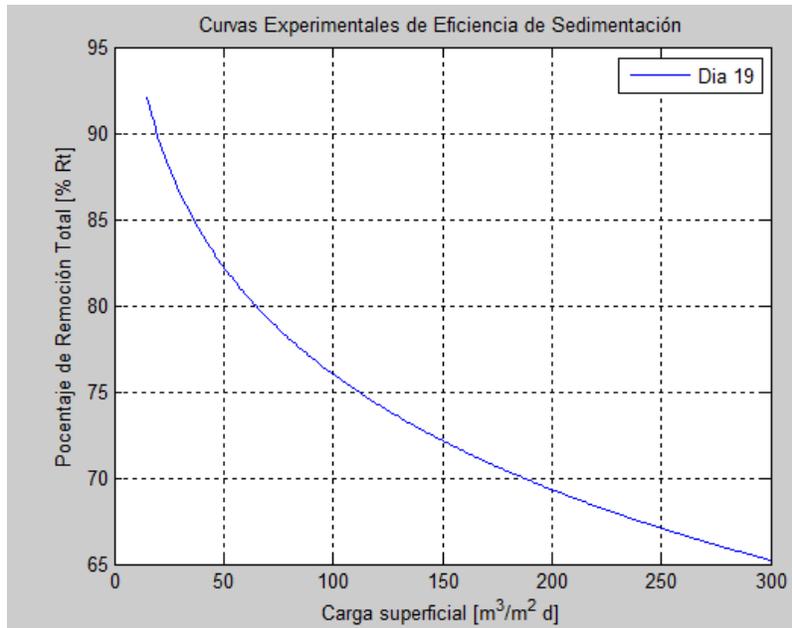
DÍA 18.



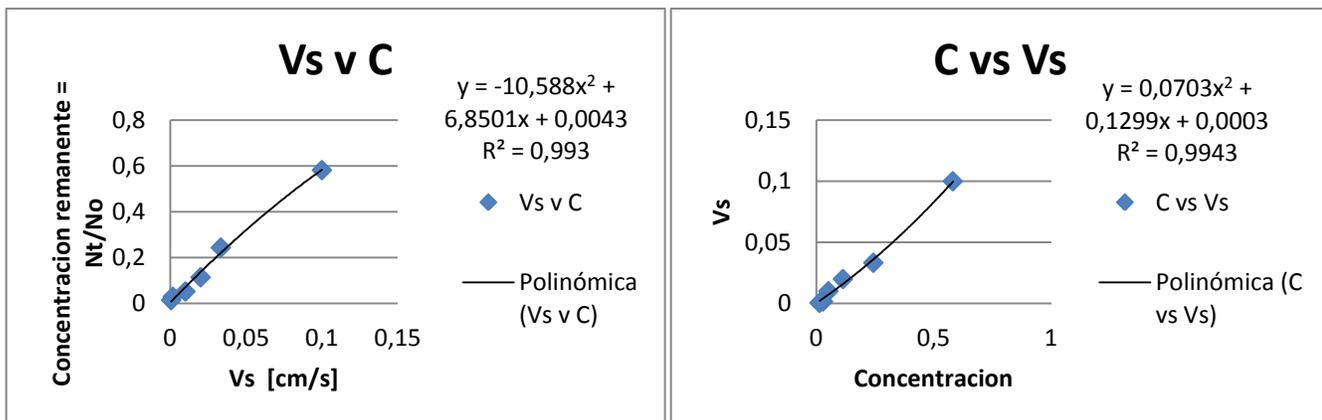


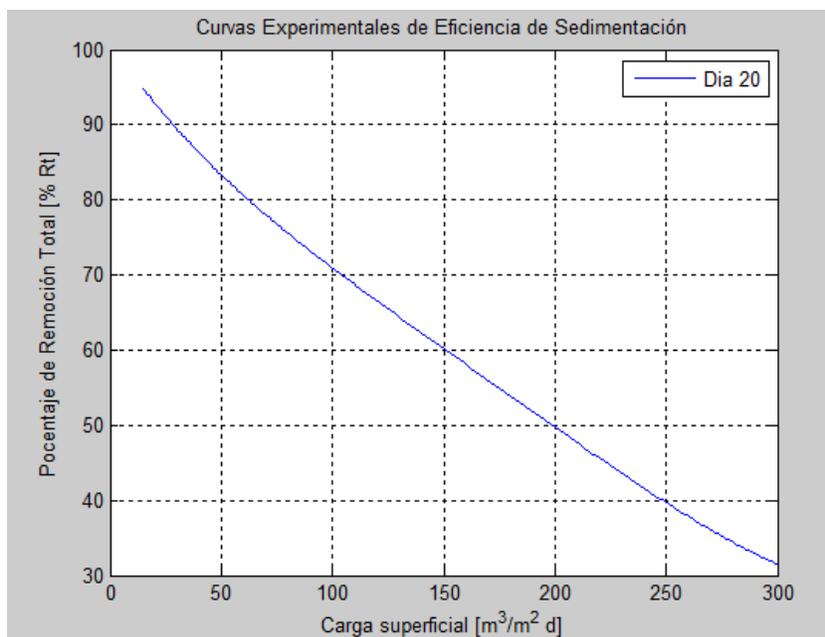
DÍA 19.



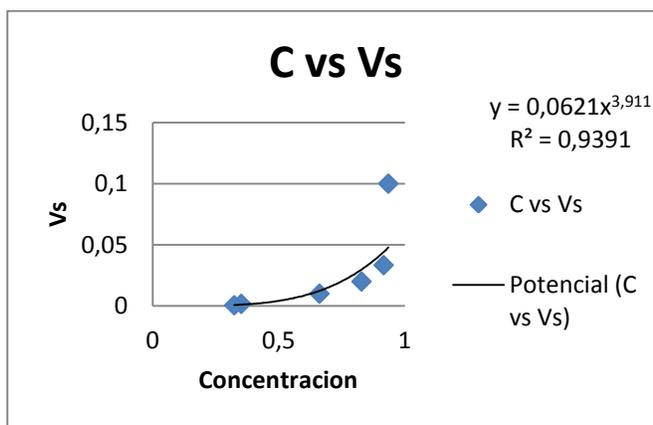
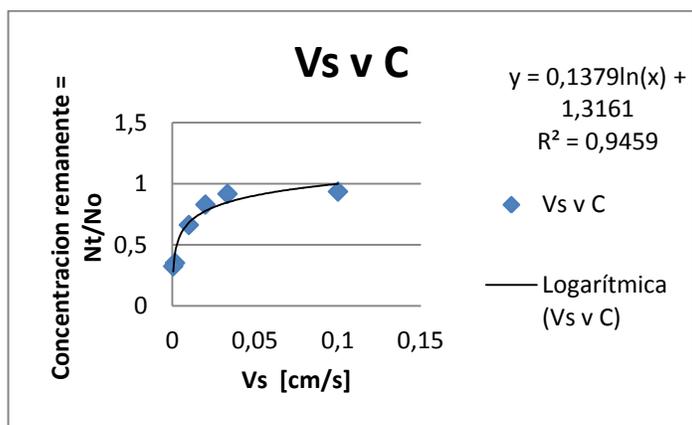


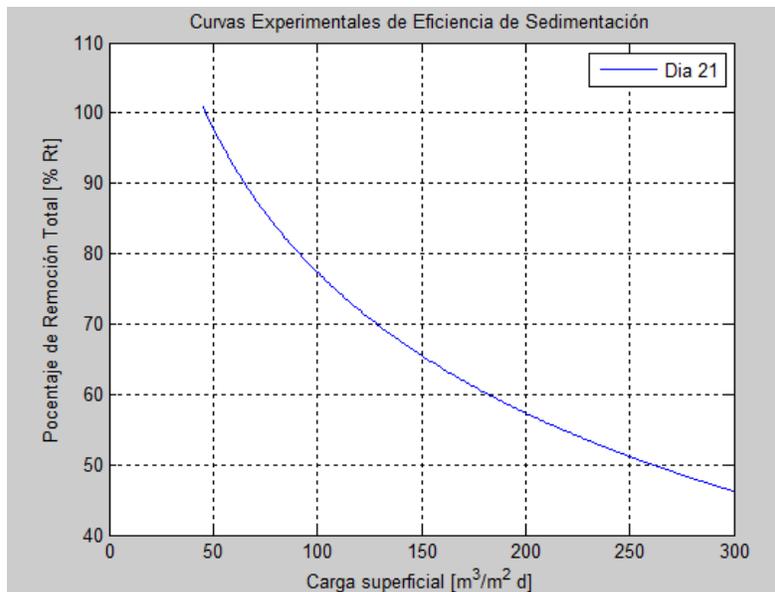
DÍA 20.



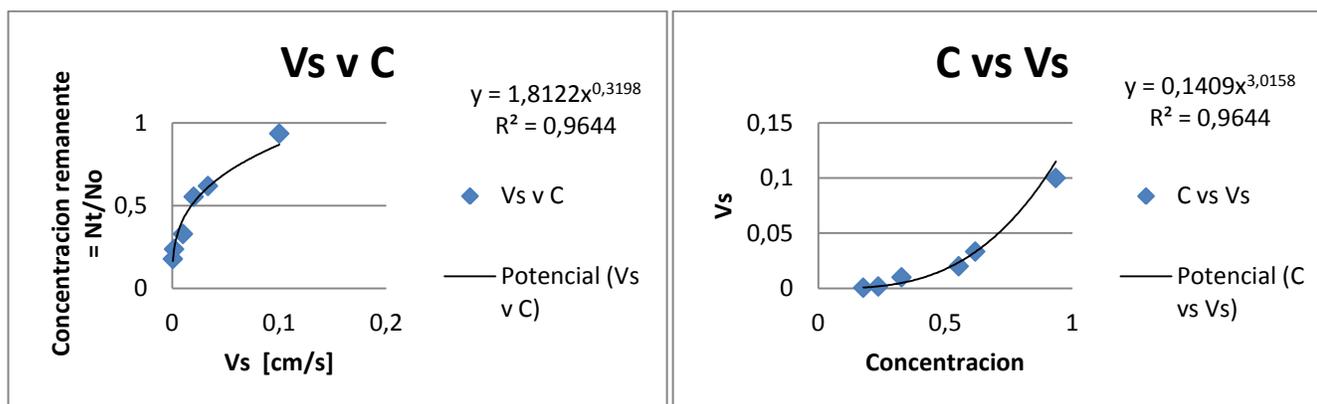


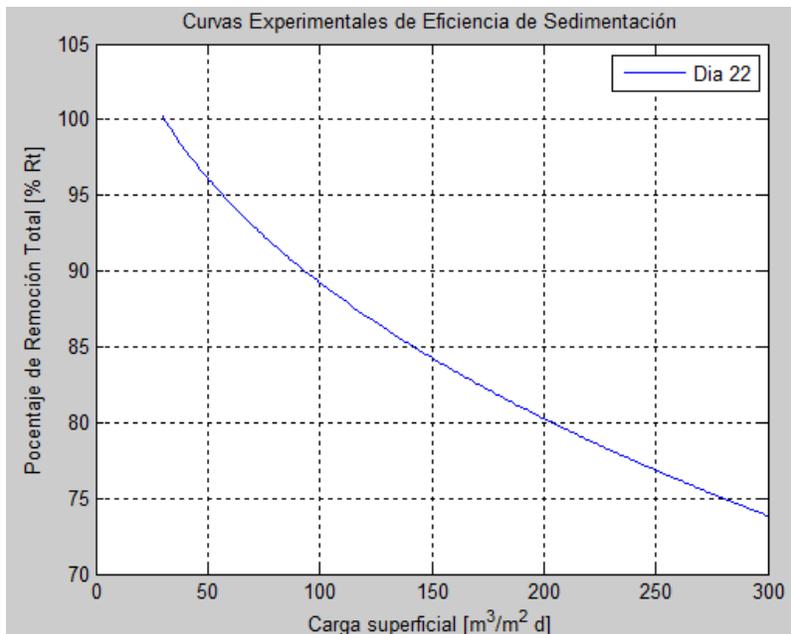
DÍA 21.



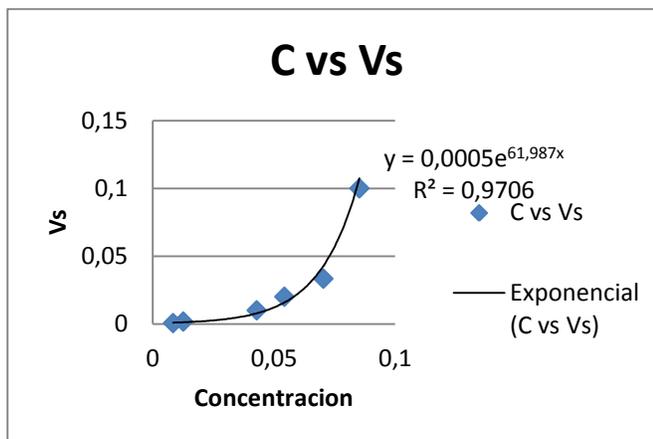
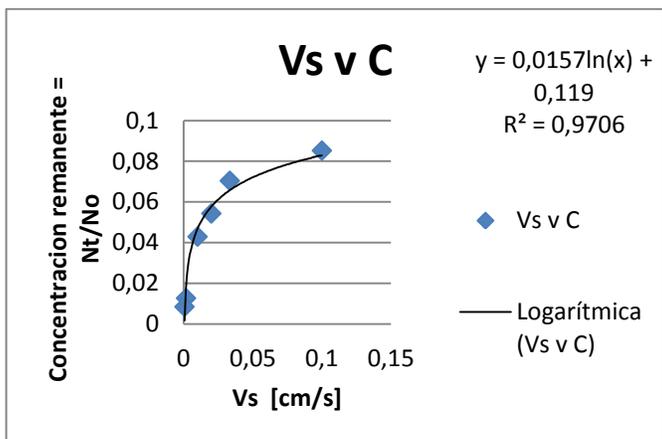


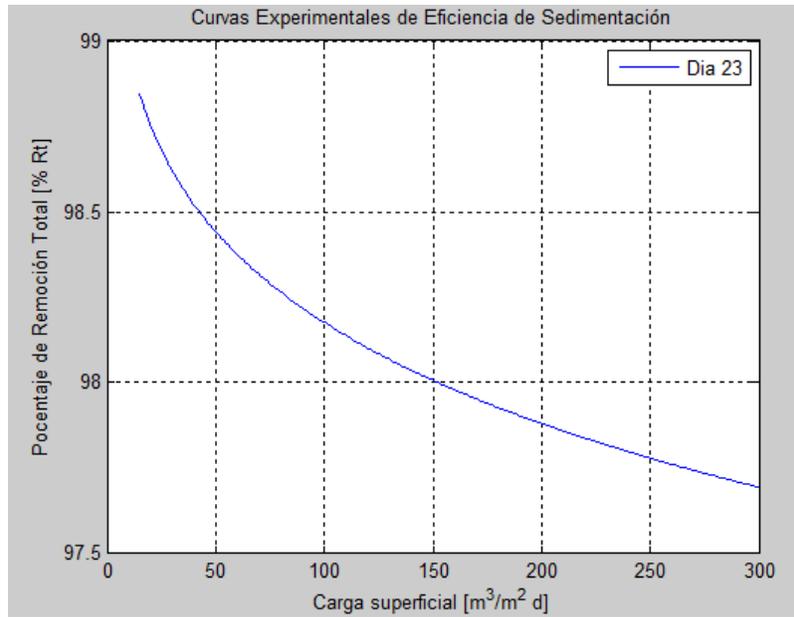
DÍA 22.



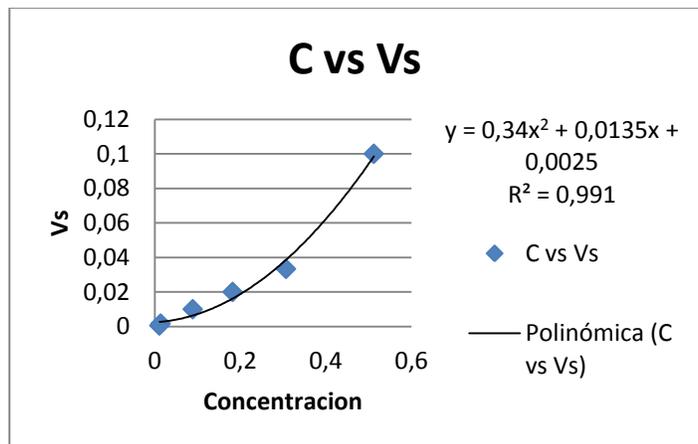
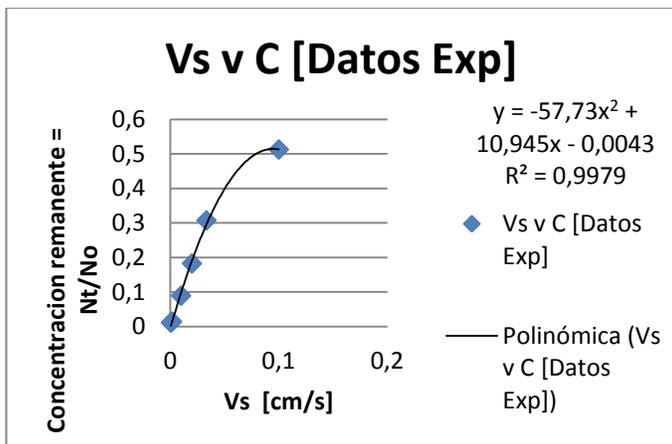


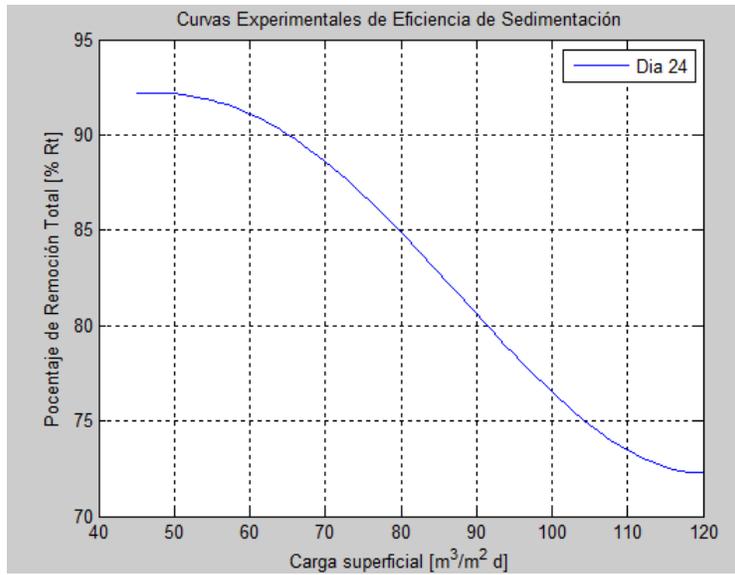
DÍA 23



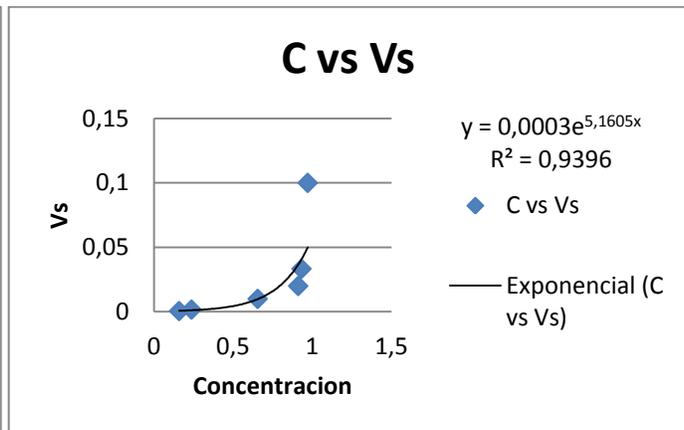
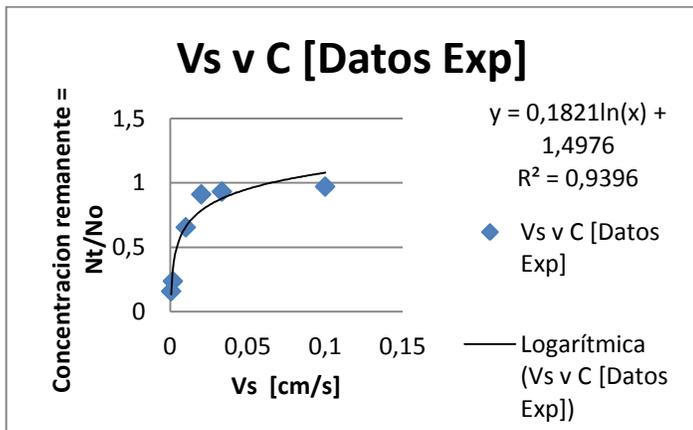


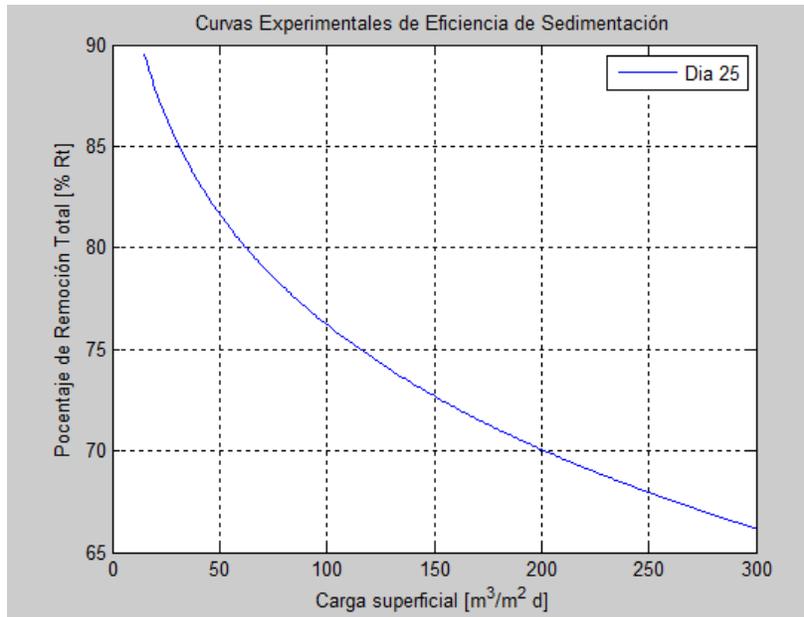
DÍA 24



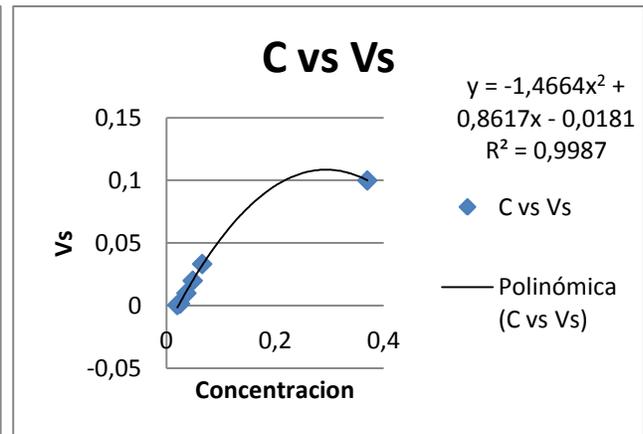
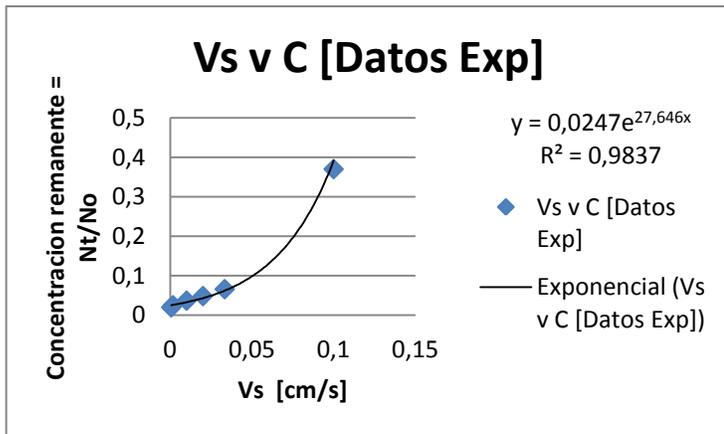


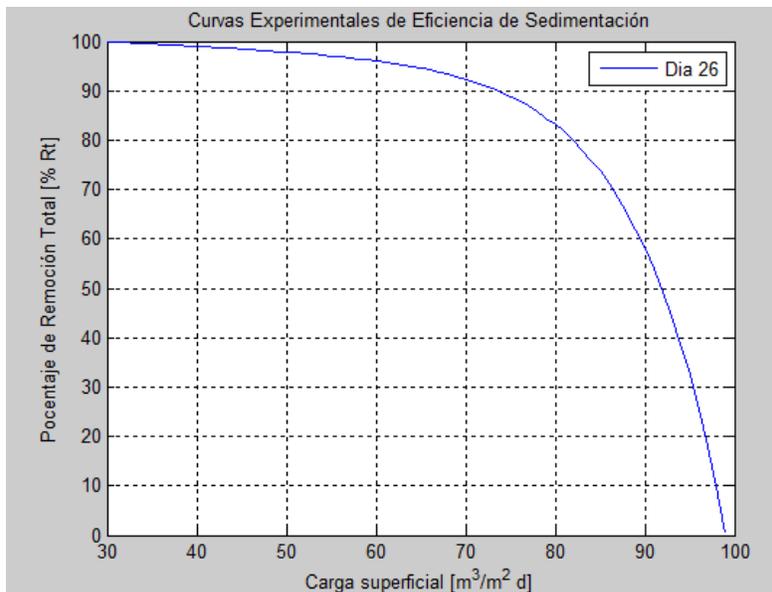
DÍA 25.



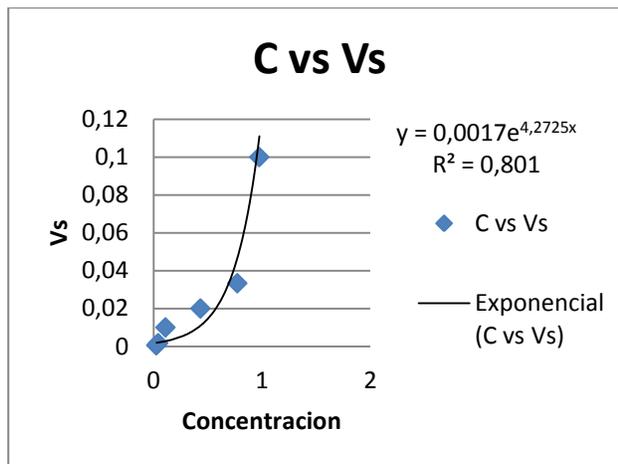
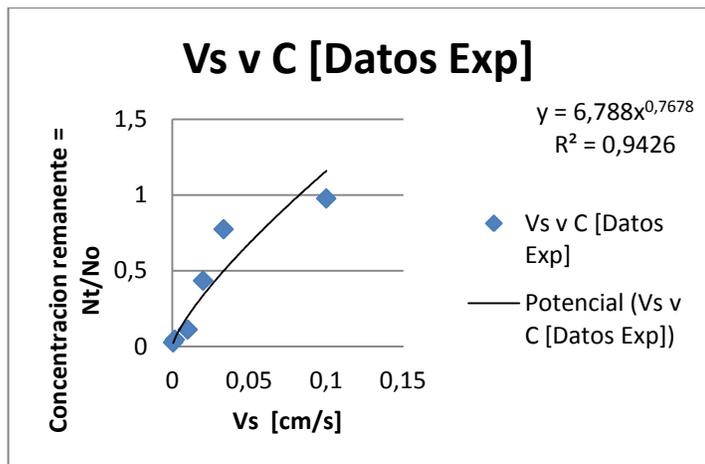


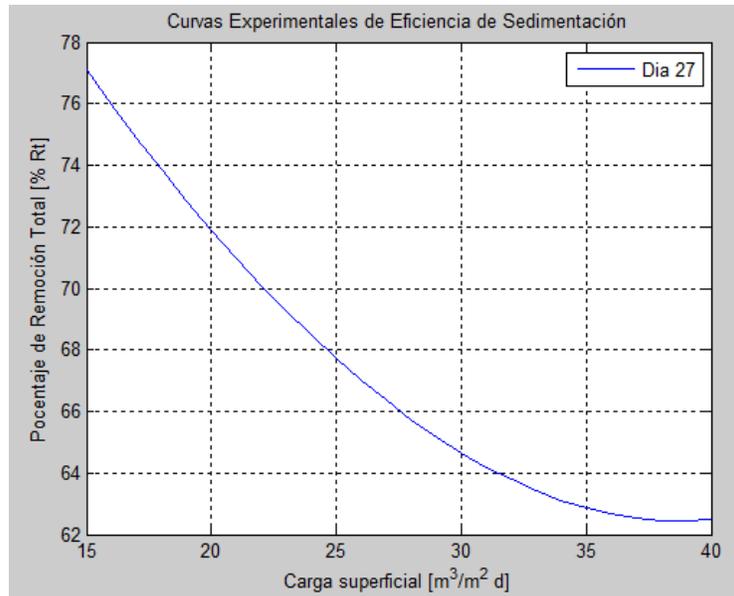
DÍA 26.



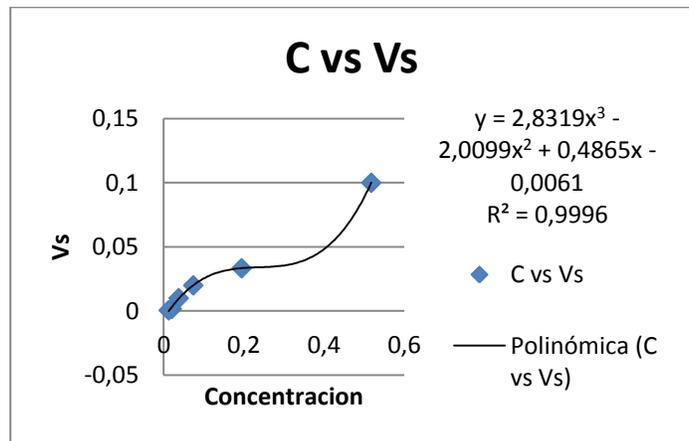
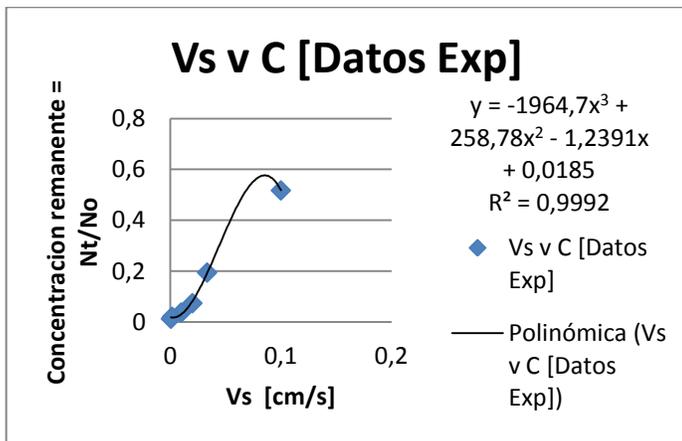


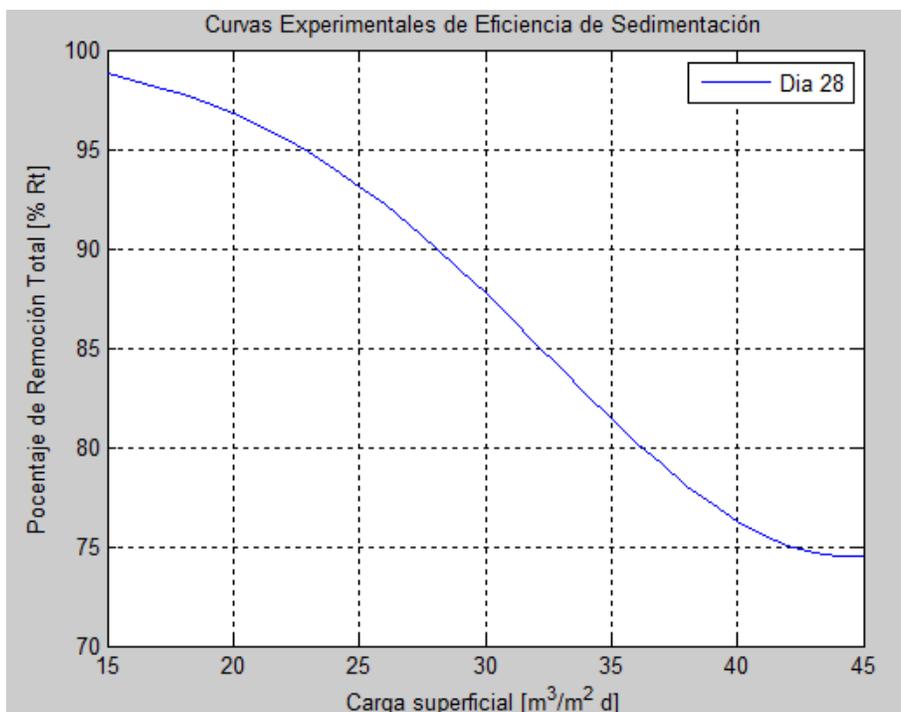
DÍA 27.



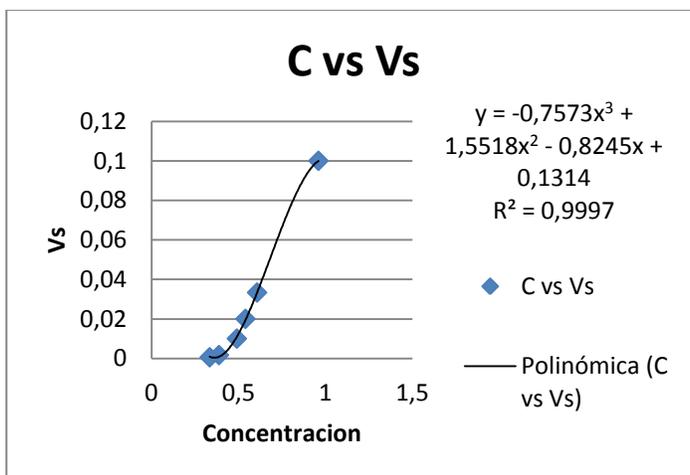
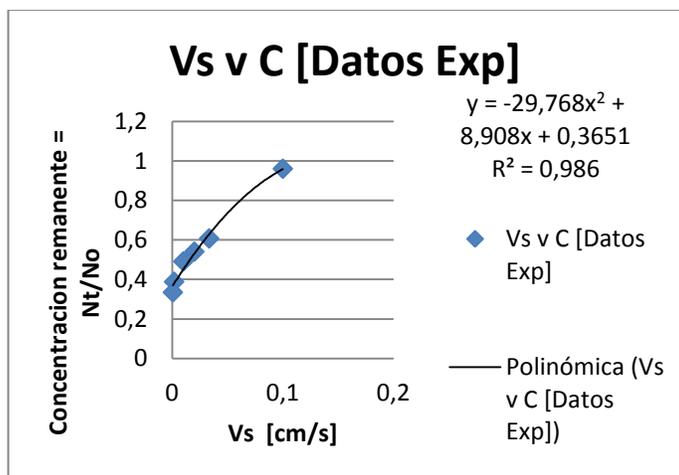


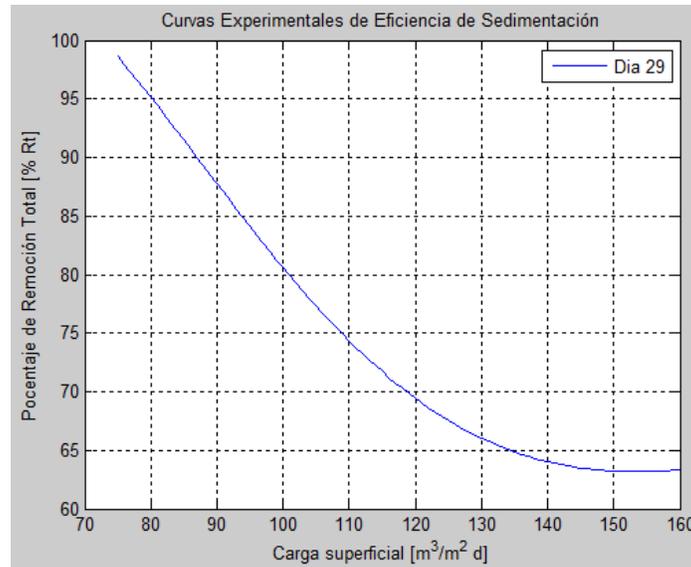
DÍA 28.



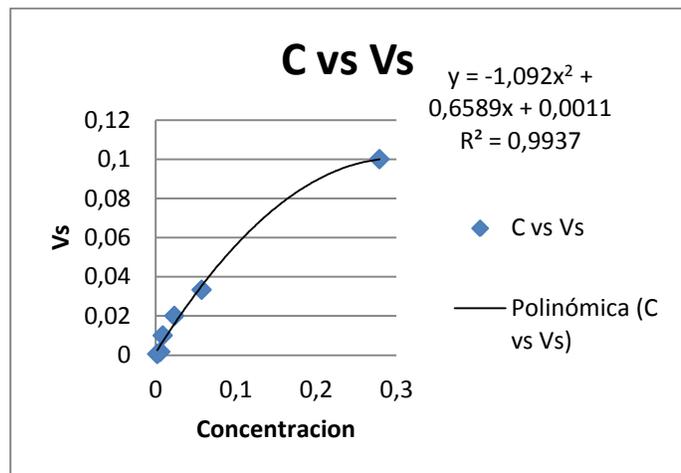
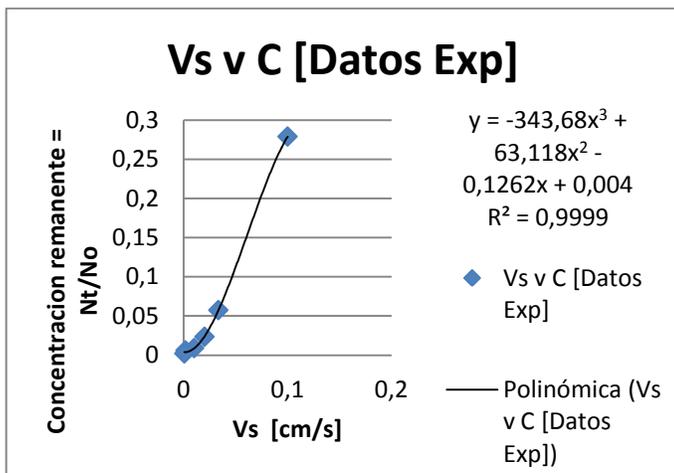


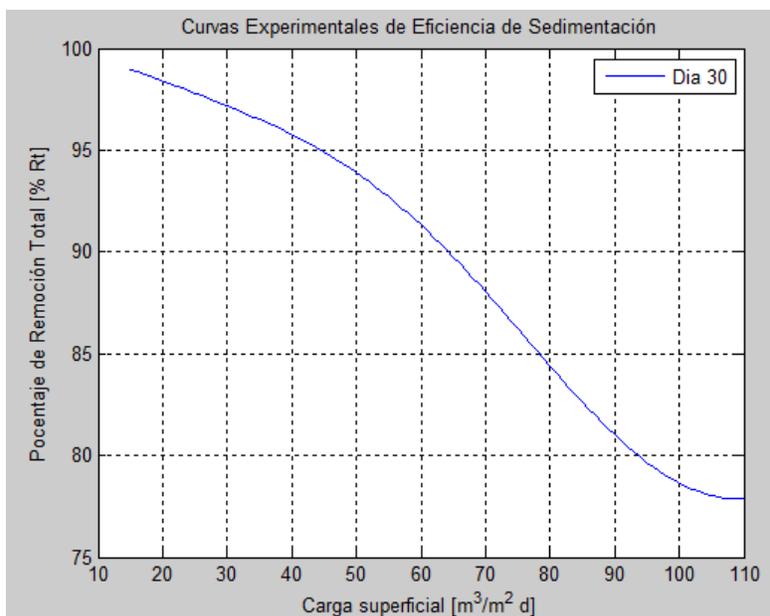
DÍA 29.



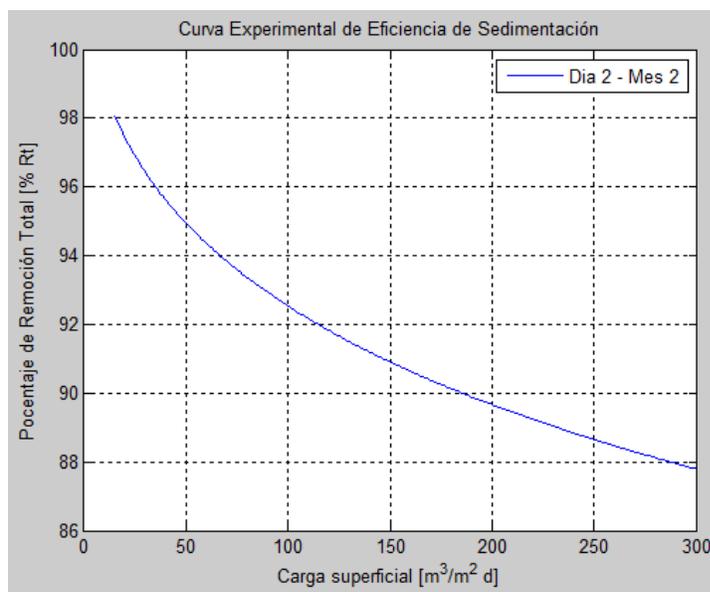
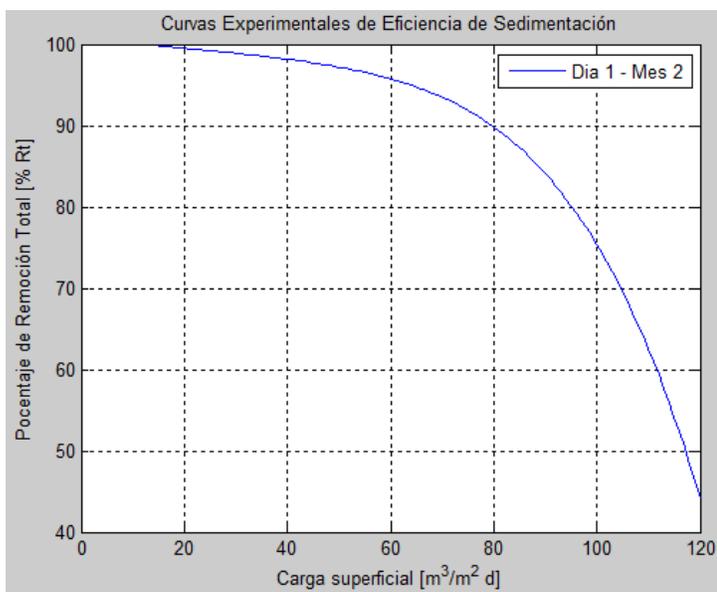


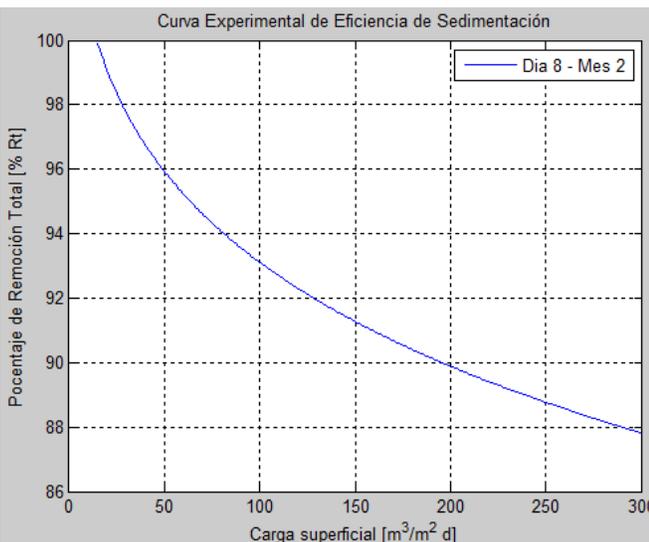
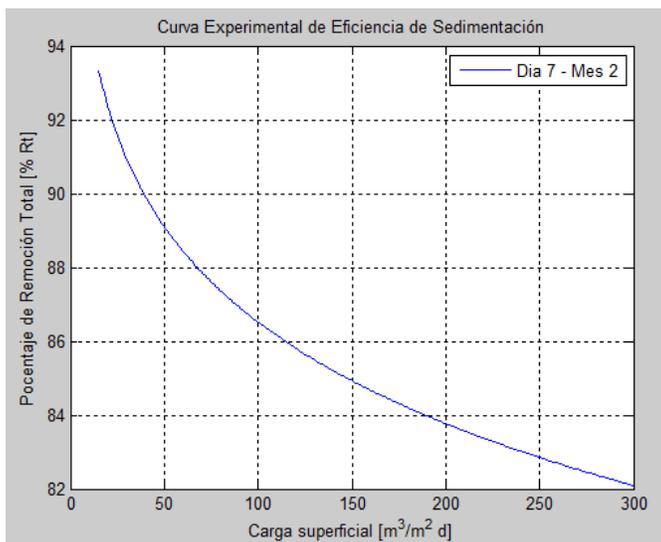
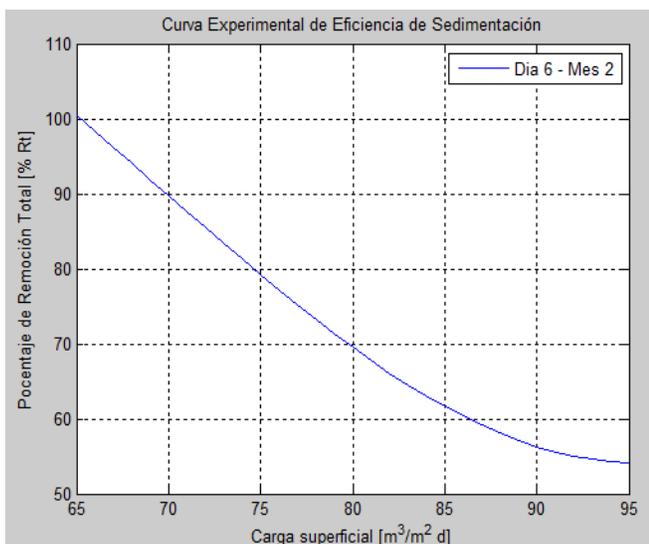
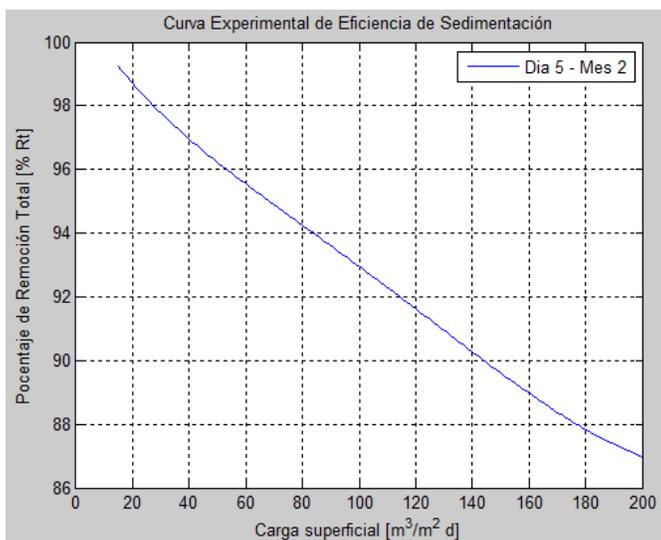
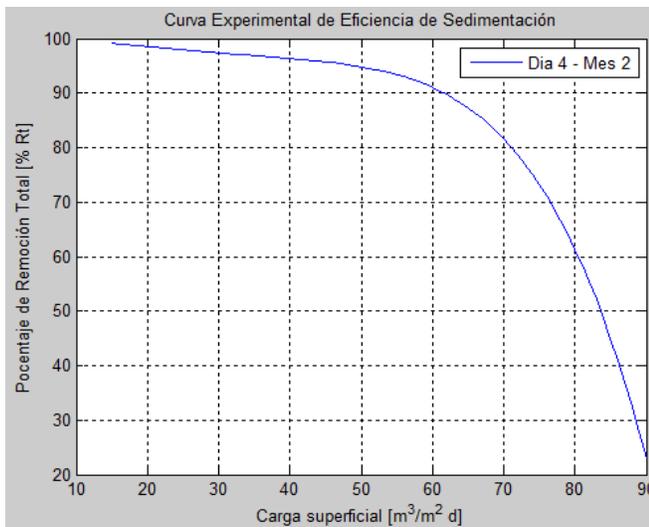
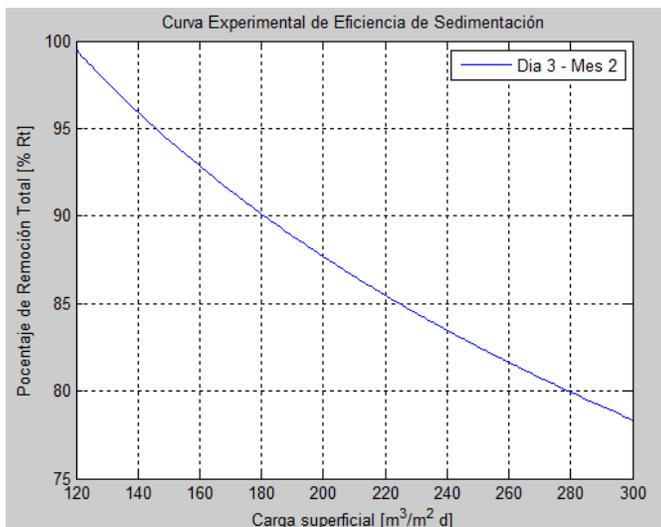
DÍA 30.

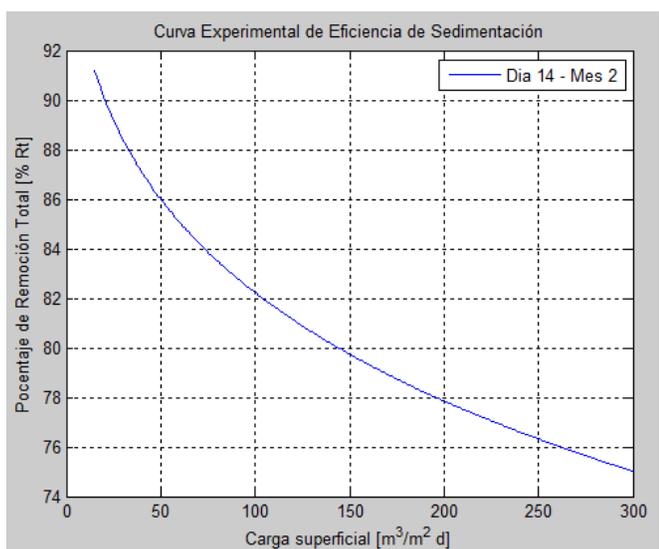
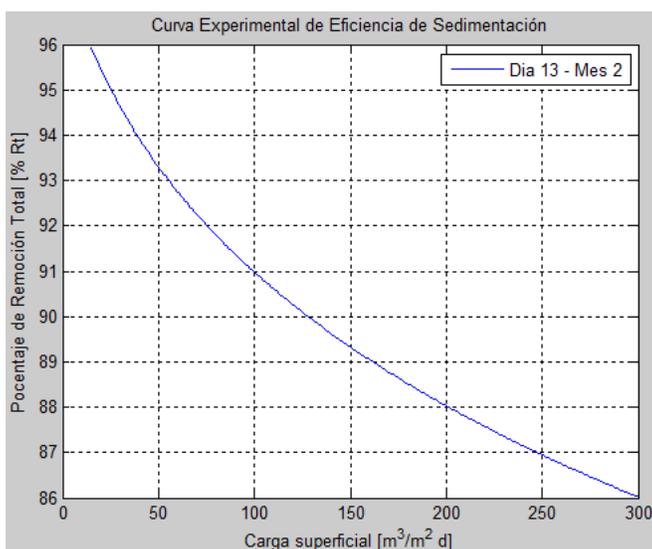
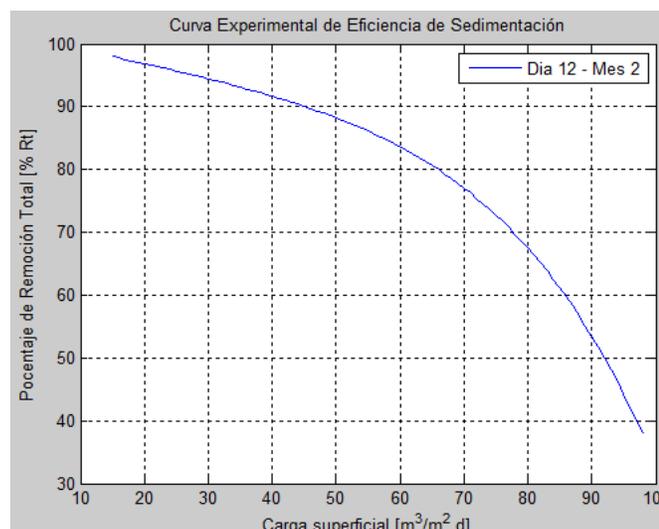
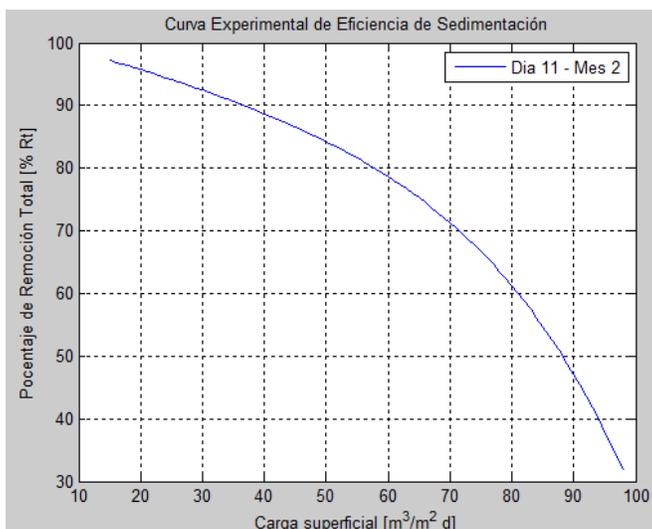
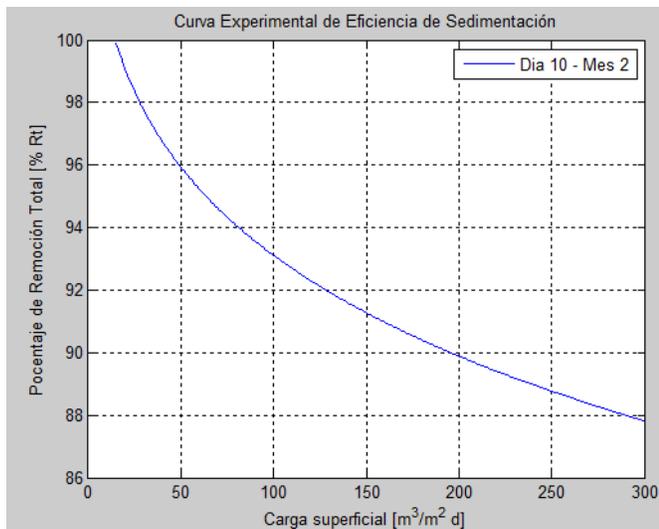
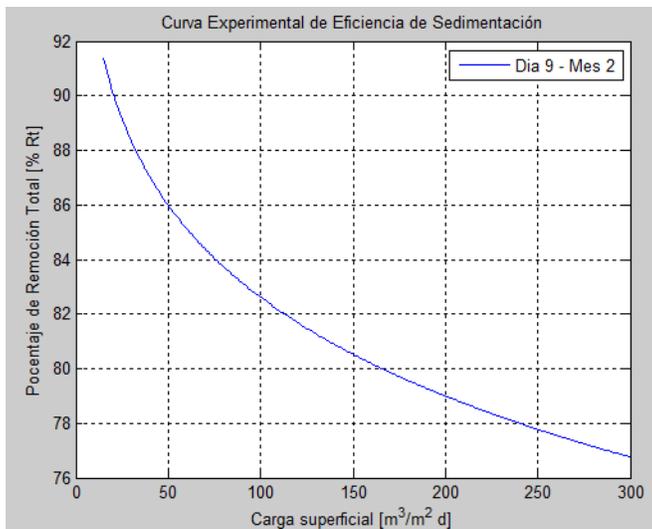


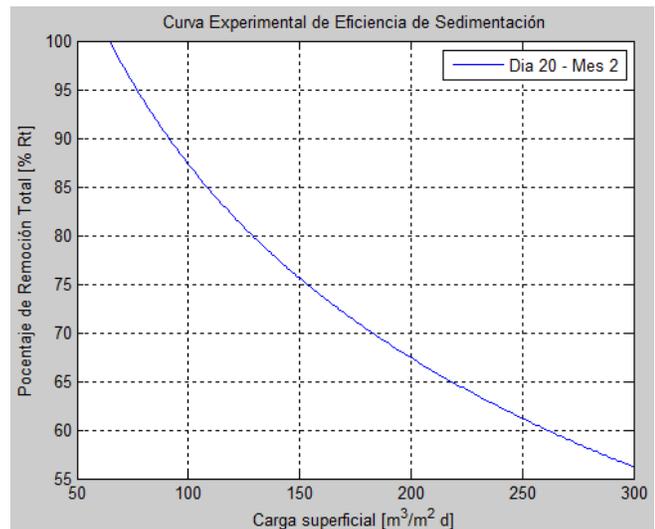
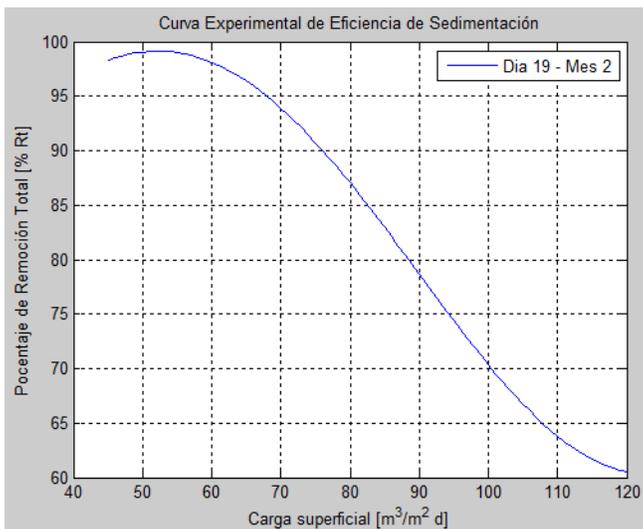
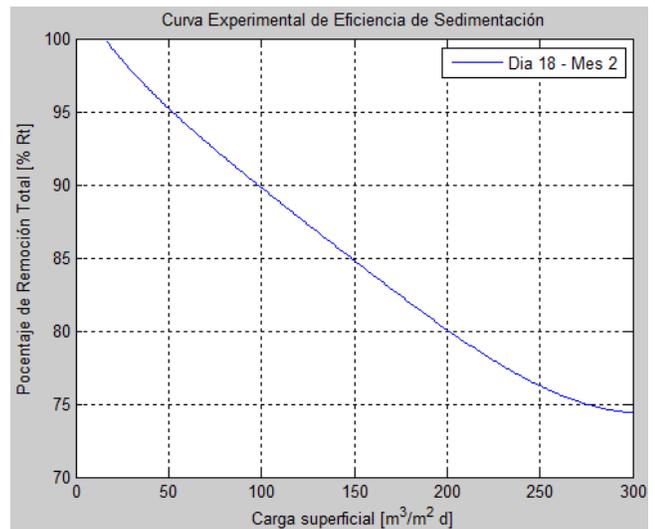
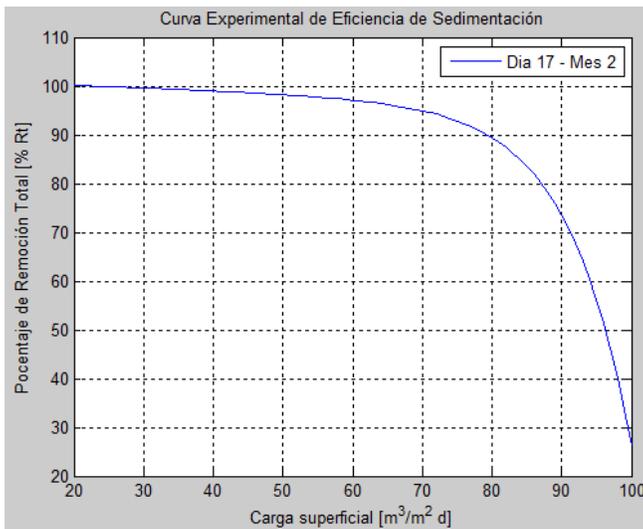
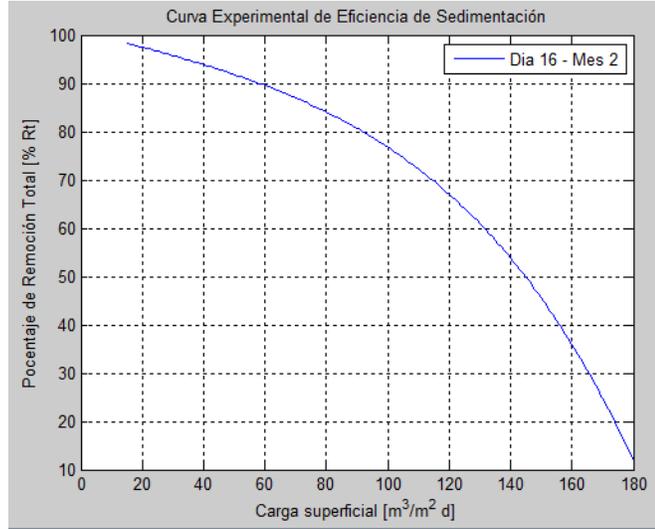
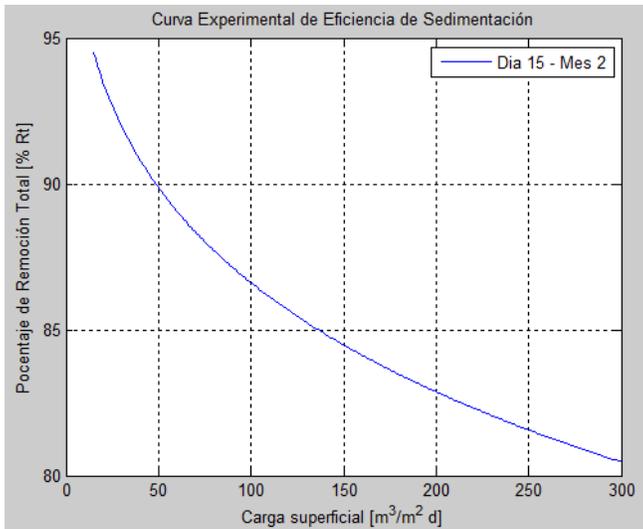


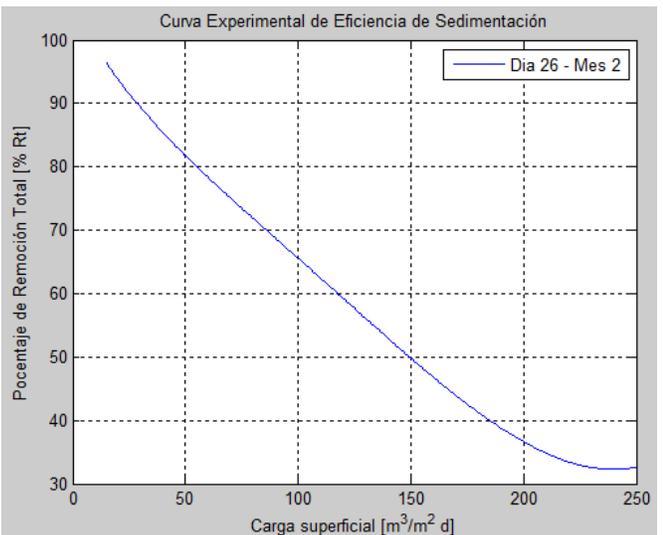
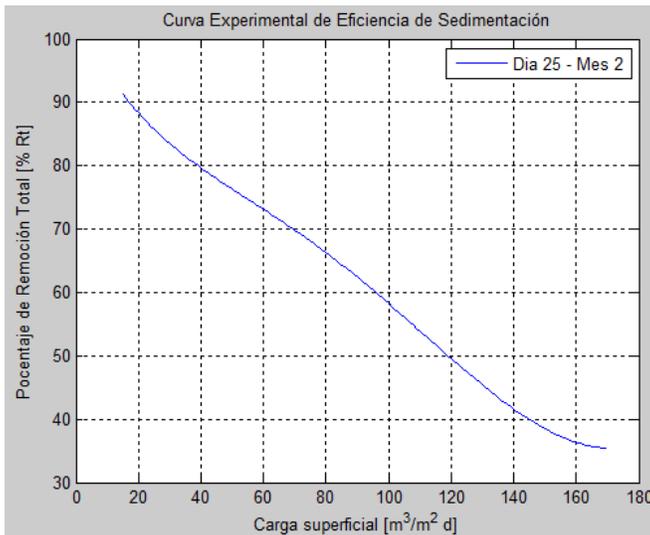
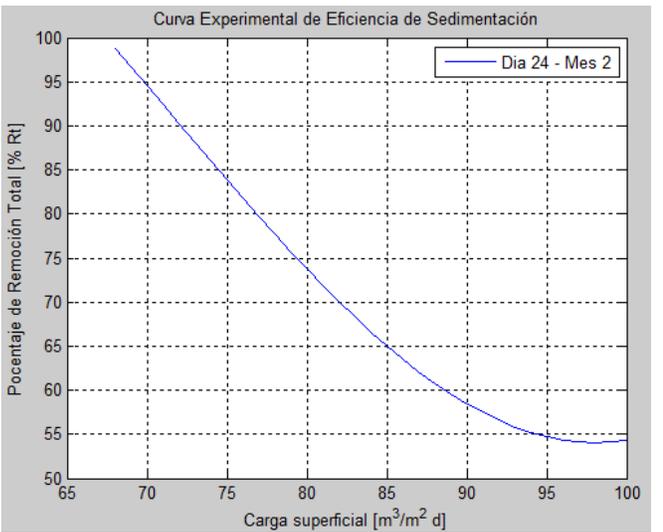
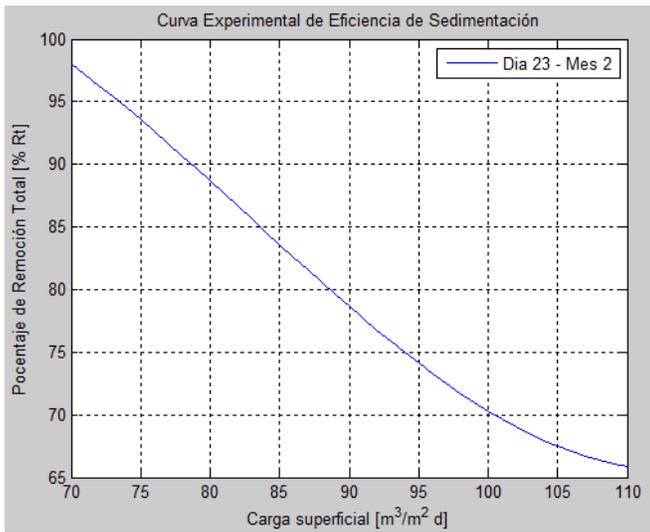
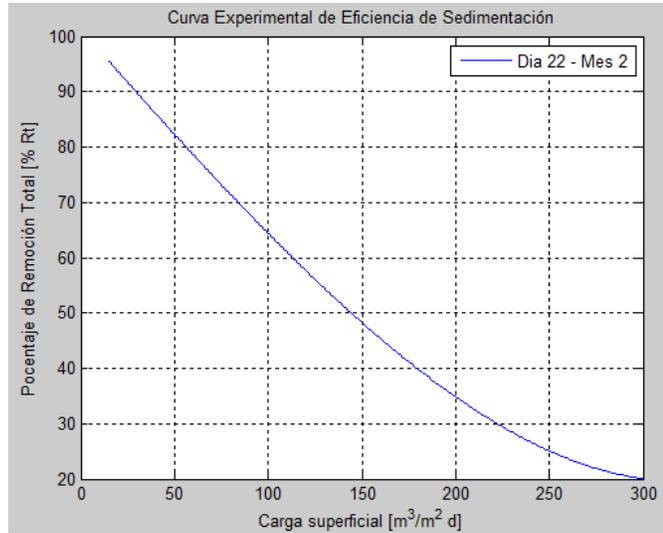
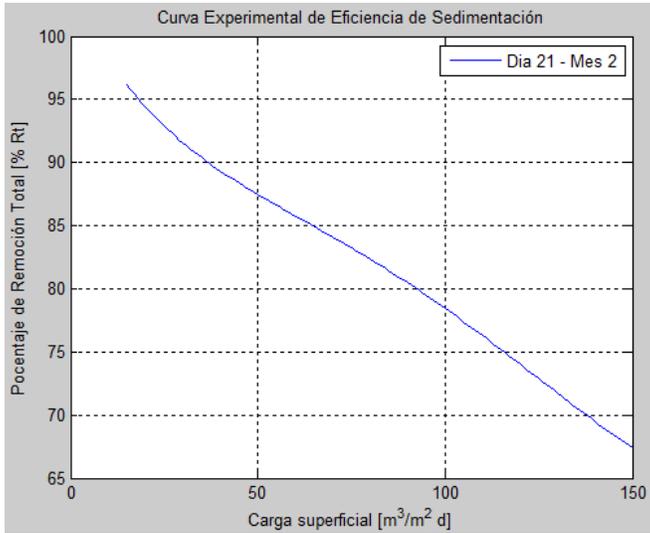
**MES 2.**

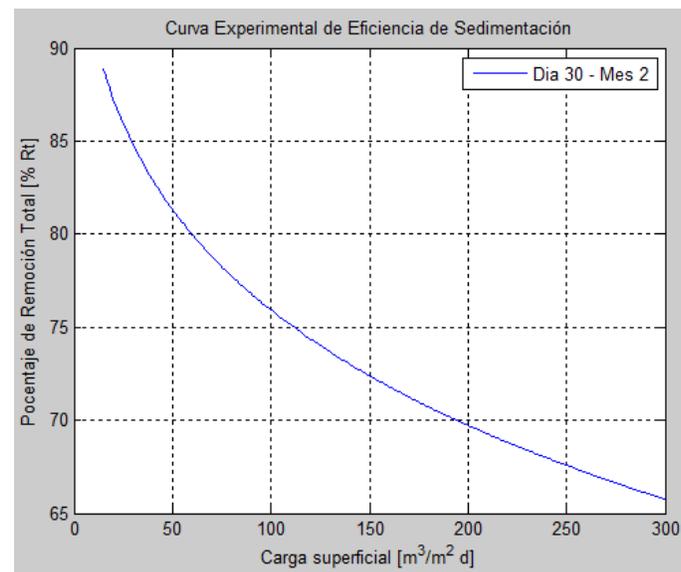
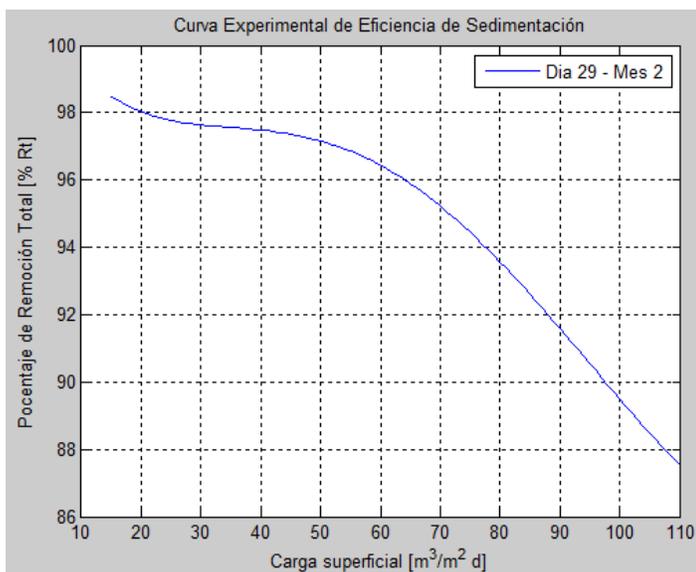
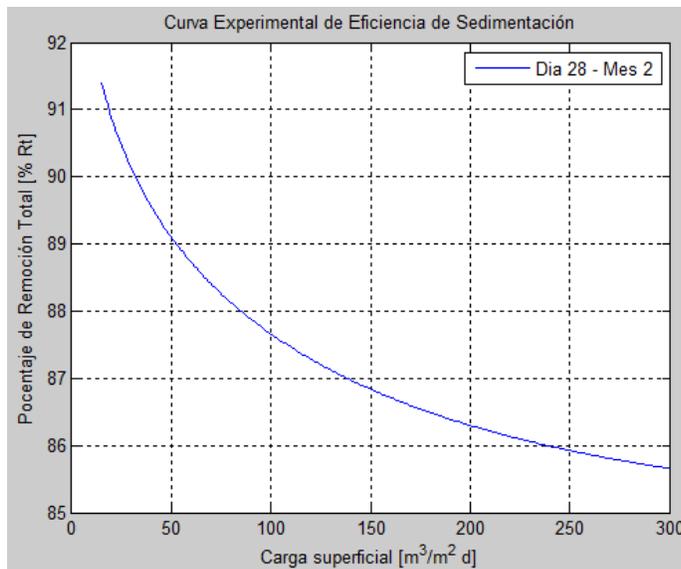
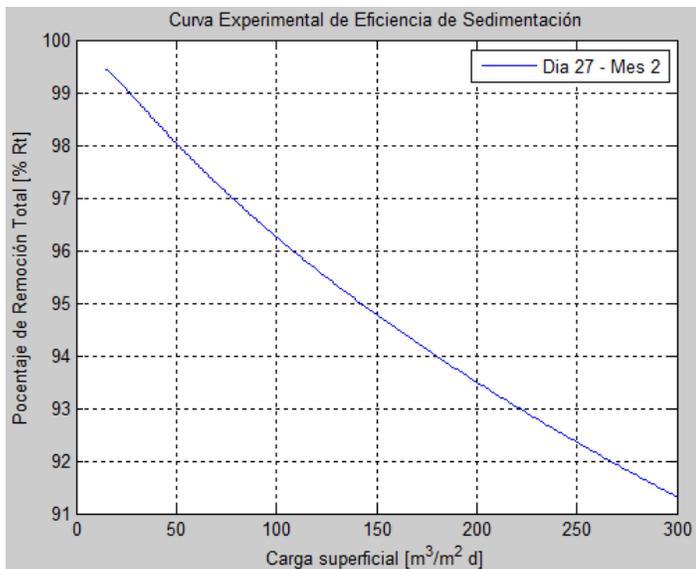




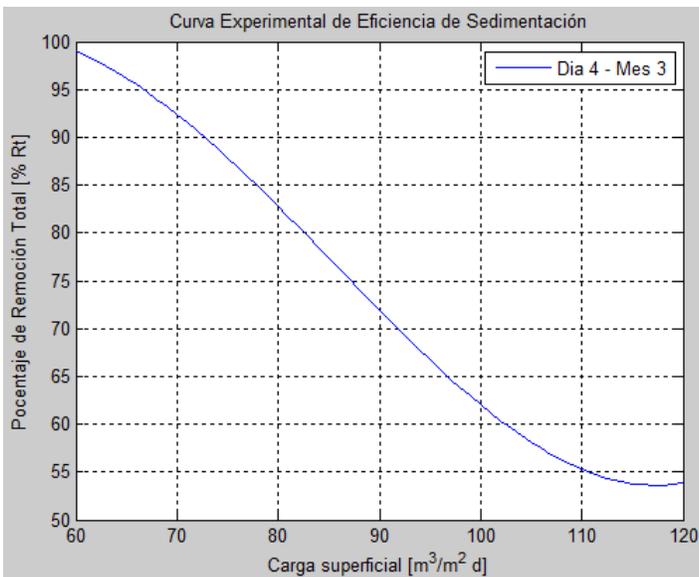
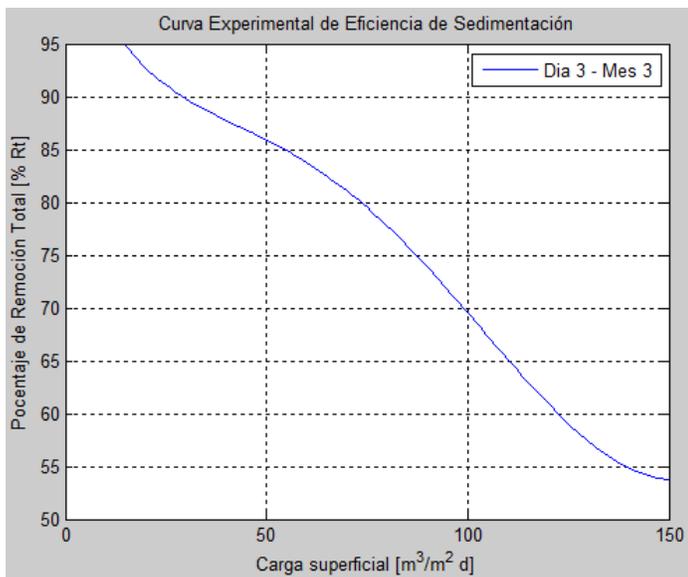
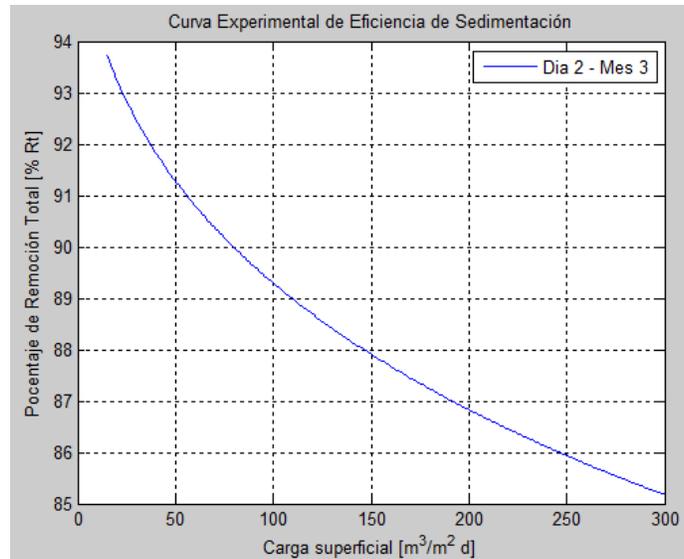
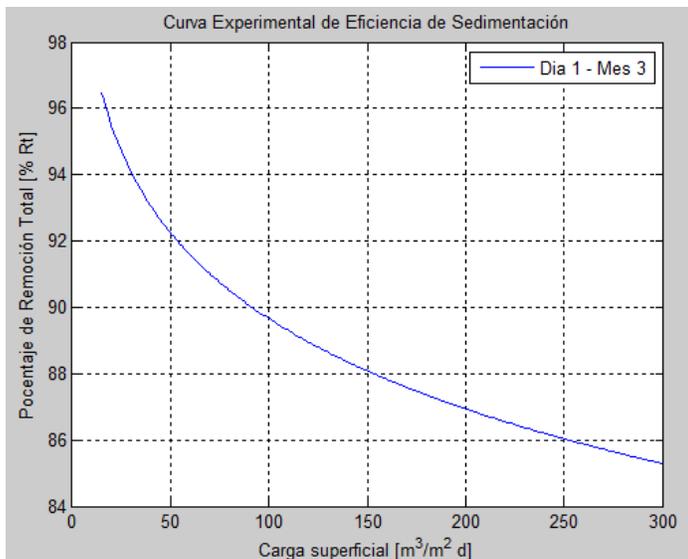


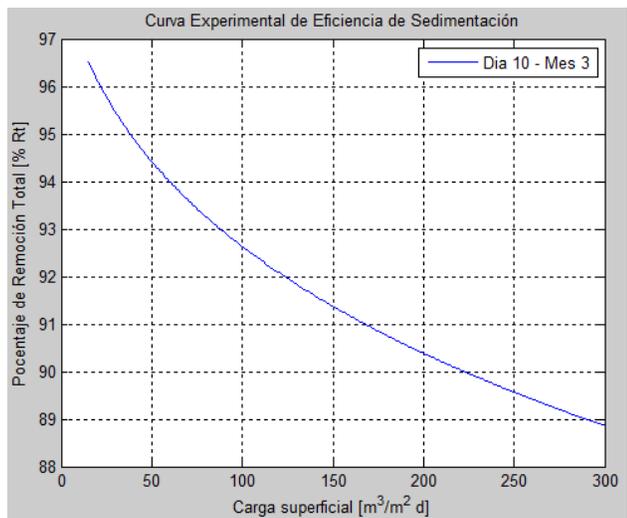
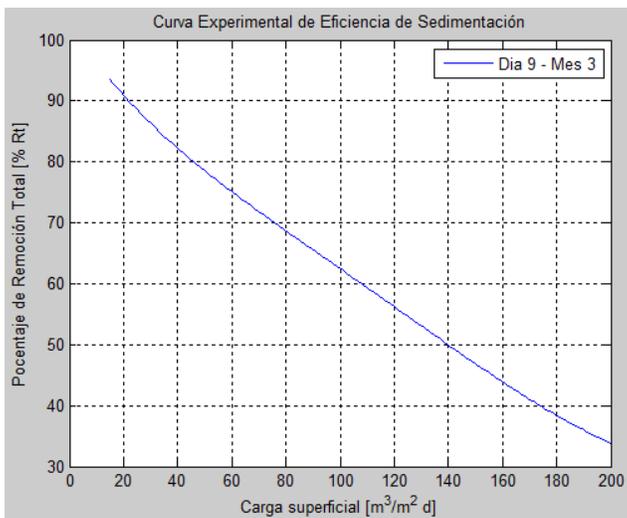
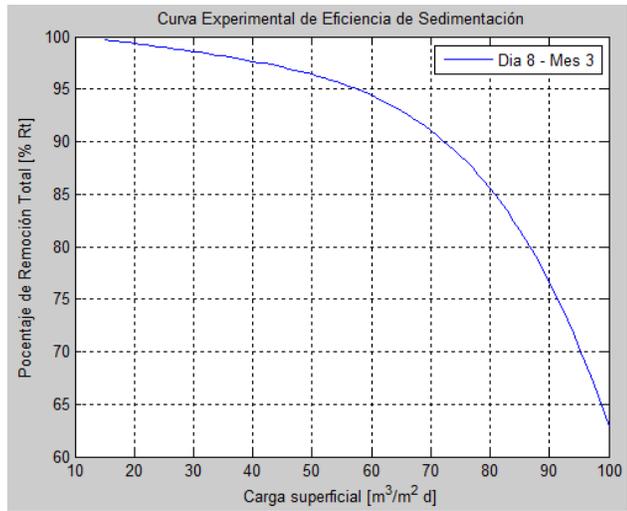
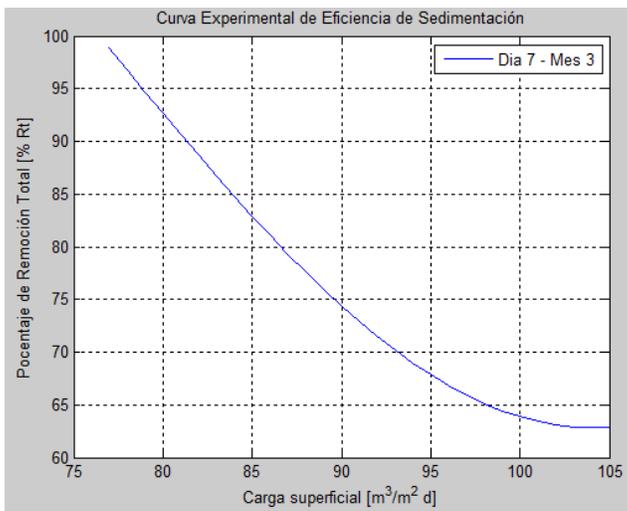
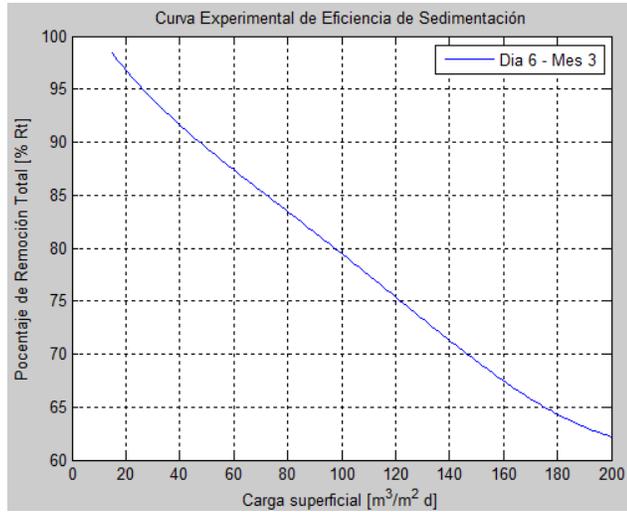
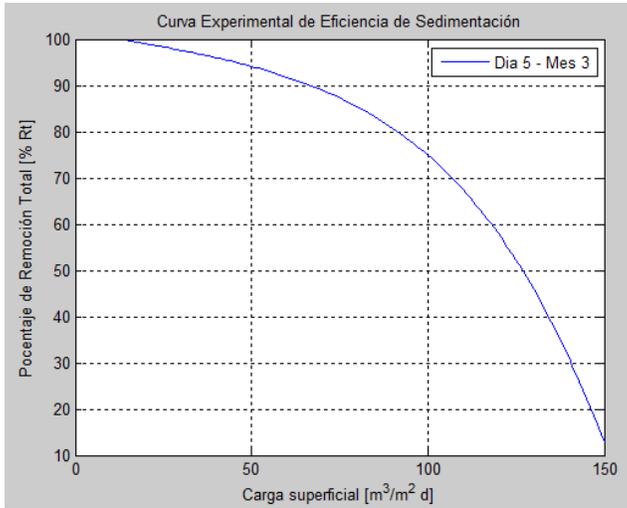


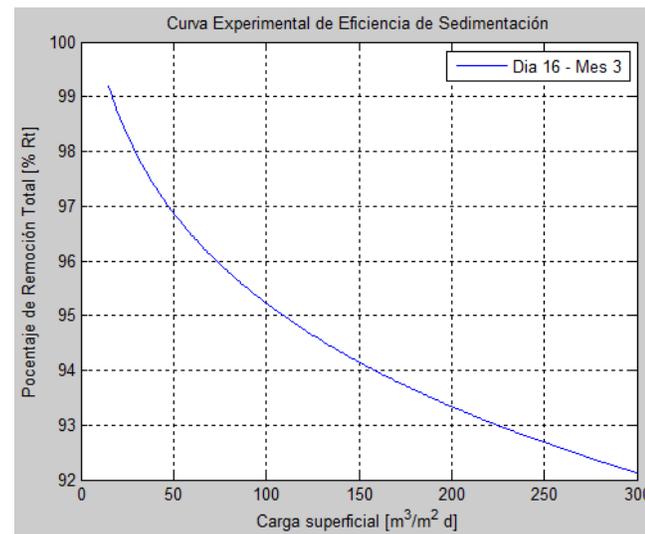
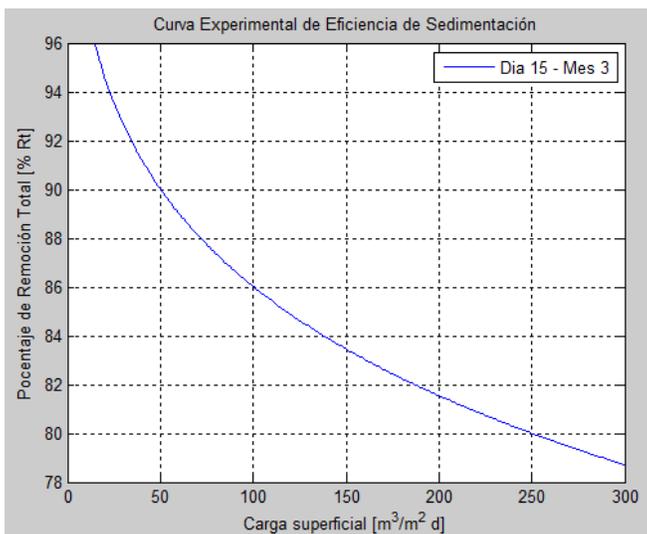
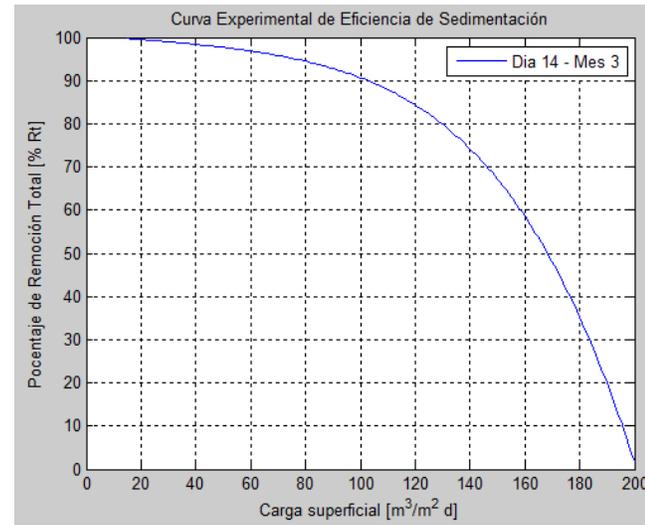
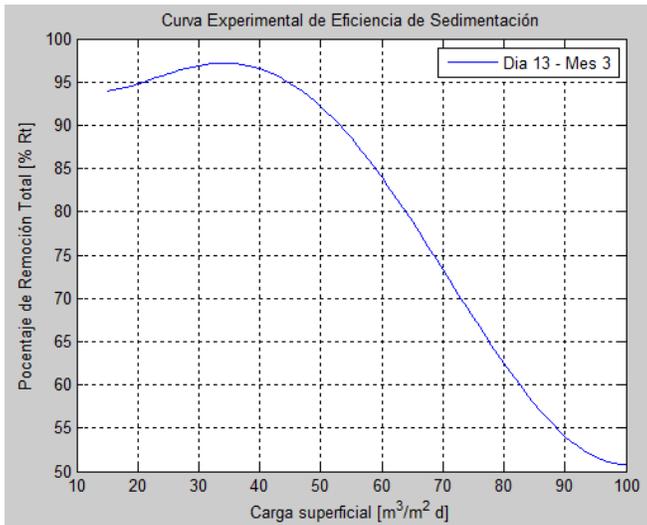
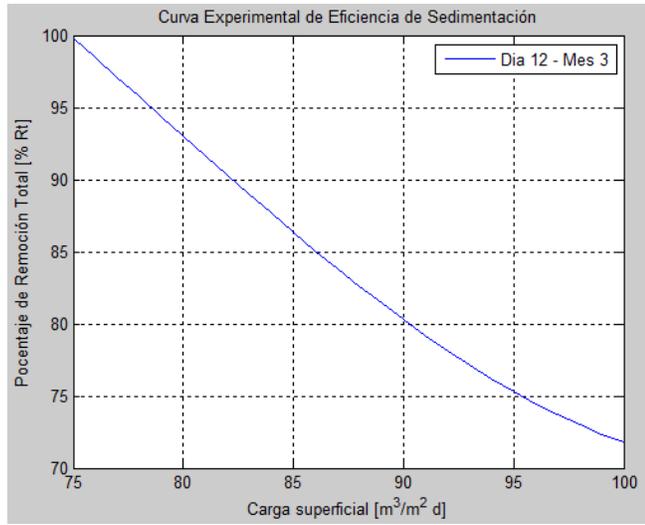
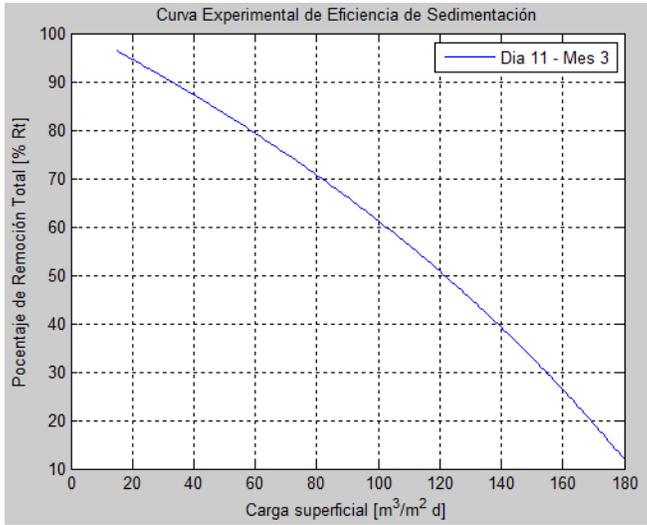


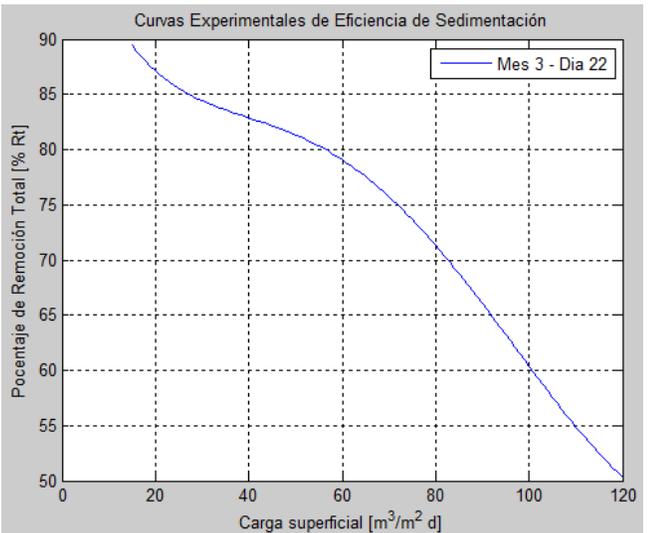
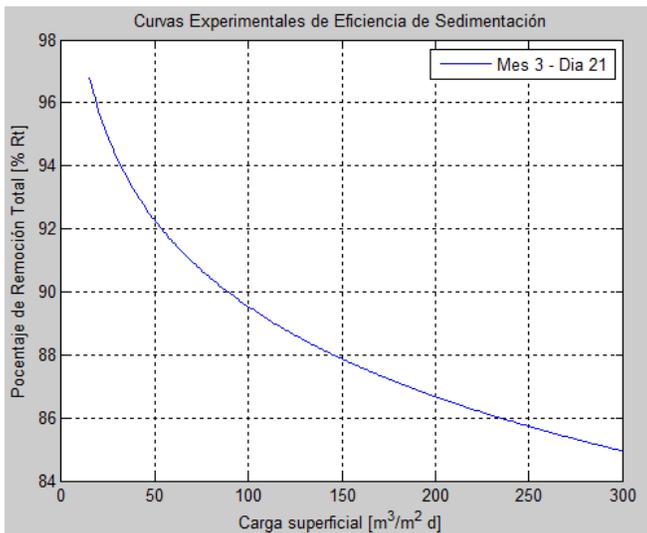
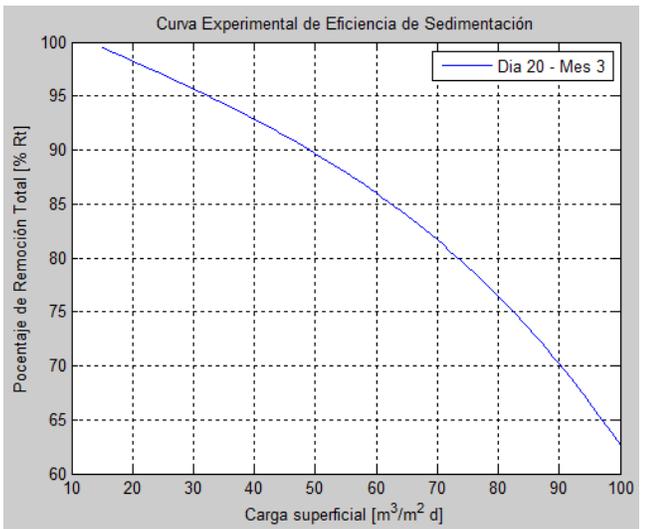
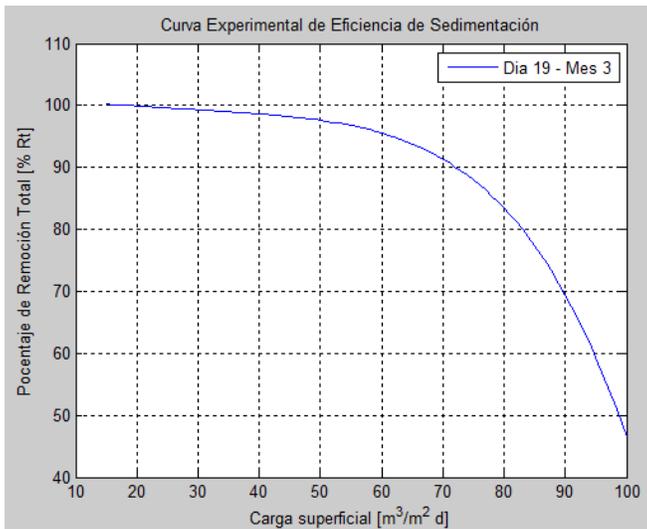
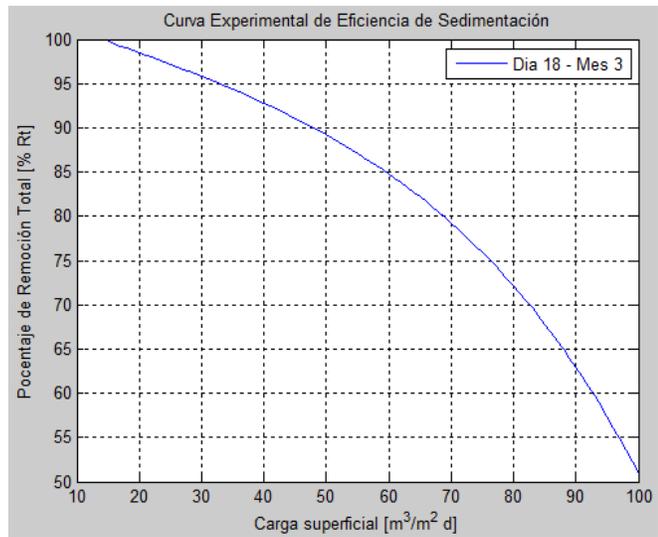
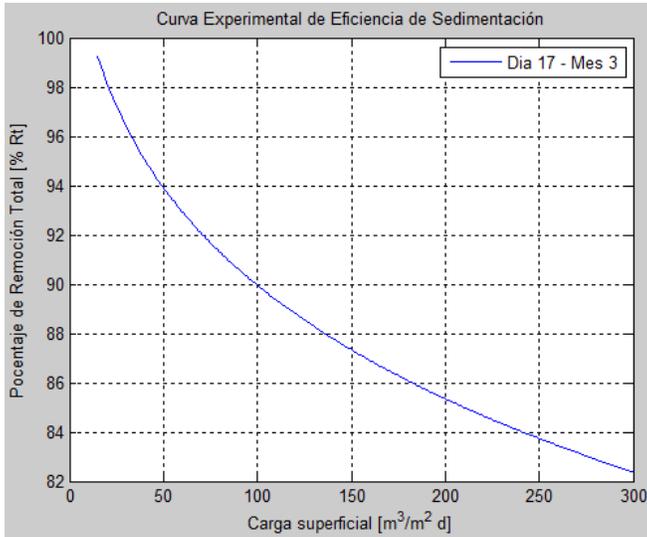


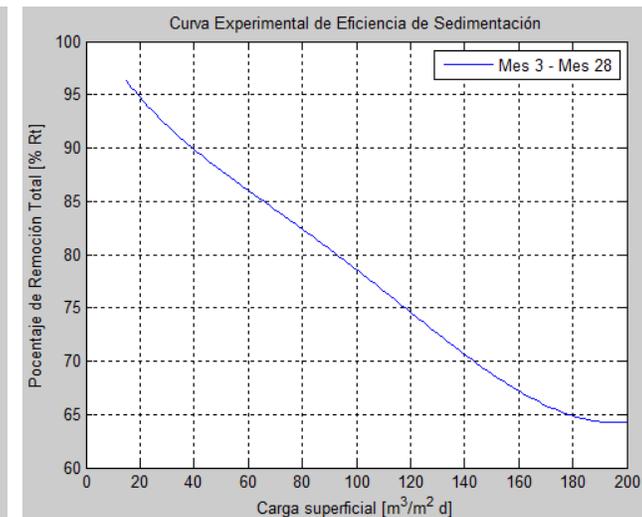
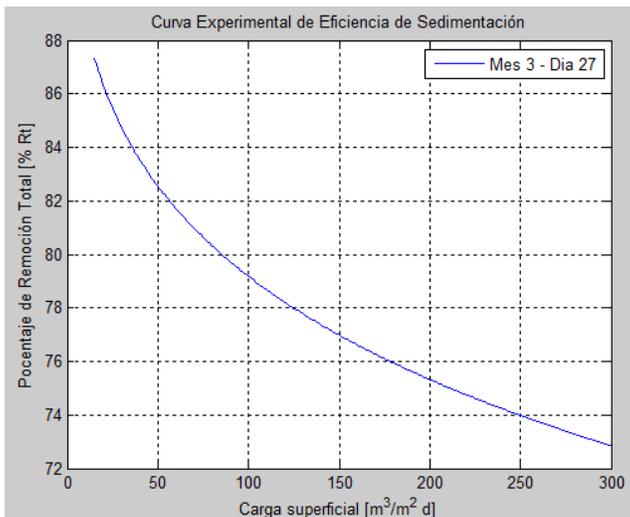
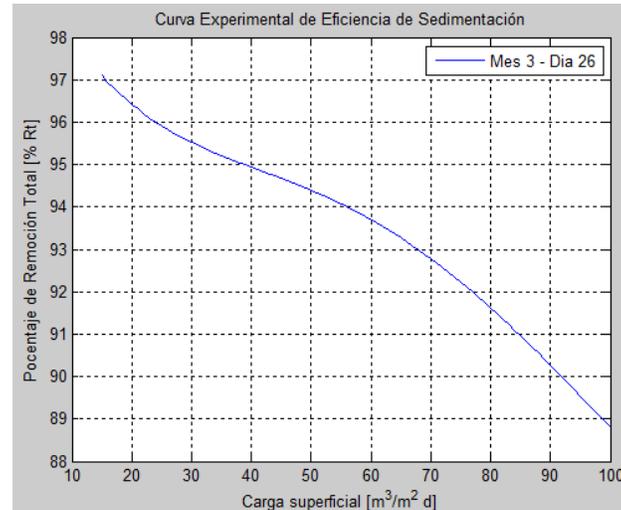
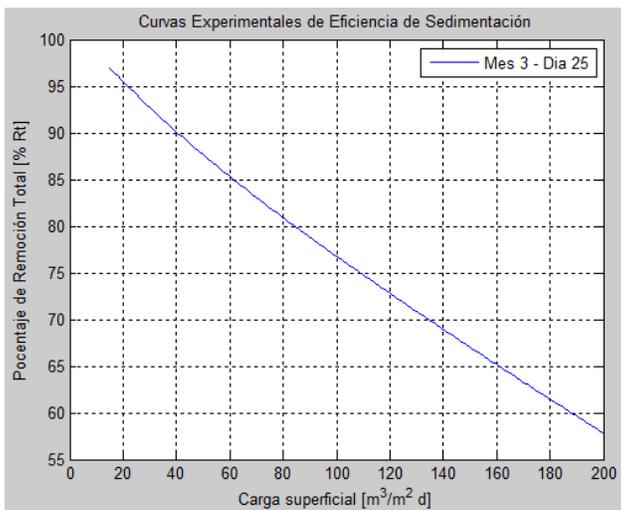
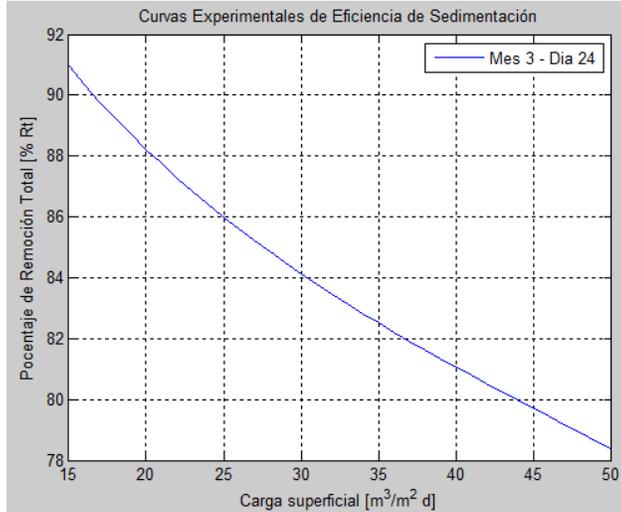
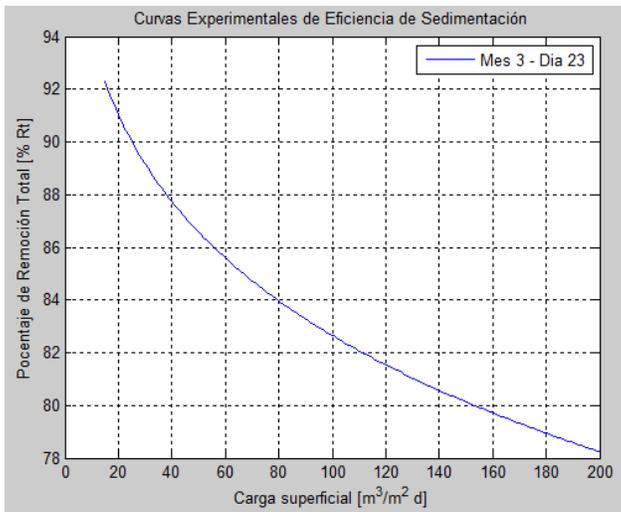
**MES 3.**

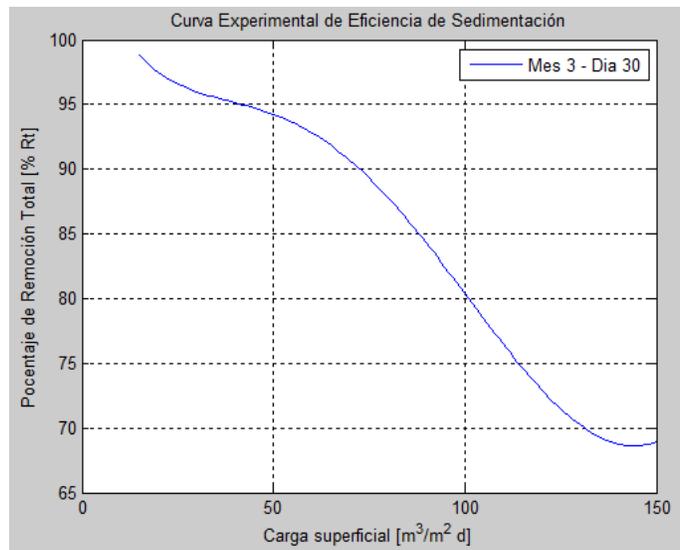
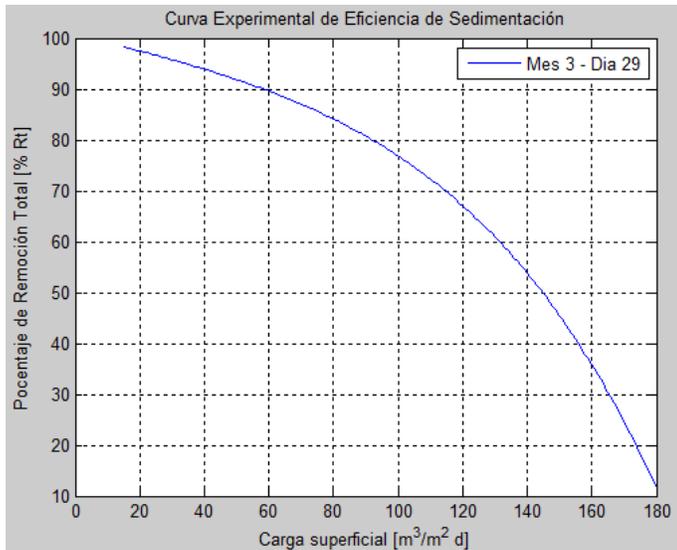












### CALCULO DE LA VELOCIDAD DE SEDIMENTACIÓN CRÍTICA (Vsc) DE DISEÑO.

Para un porcentaje de remoción de turbiedad deseado se encuentra un valor de Carga Superficial en las curvas experimentales de Eficiencia de Sedimentación, el cual al ser dividido por 864 se obtiene la velocidad de sedimentación crítica (Vsc) en [cm/s]. El valor de Vsc debe dividirse por un factor de seguridad igual a 1.3 para tener en cuenta el hecho de que el ensayo es efectuado en condiciones ideales [3] (página 176). La velocidad de sedimentación crítica de diseño es entonces:

$$V_{sc} \text{ [cm/s]} = \frac{\text{Carga Superficial [m}^3\text{/m}^2\text{ d]} / 864}{1.3}$$

**Nota:** El factor de seguridad puede variar entre 1.3 y 2.2, dependiendo de las características hidráulicas de las estructuras de entrada y salida, de la capacidad de la planta y de la mayor o menor eficiencia esperada en la operación [3] (página 176).

### RECOMENDACIÓN.

1. Posterior a este estudio se recomienda realizar pruebas de Ensayos de planta piloto para simular los procesos de una manera más cercana a la realidad, utilizando la fuente de abastecimiento seleccionada con un flujo continuo de entrada a la planta piloto. Además de efectuar las pruebas de tratabilidad por un año, para comprender varios

periodos de tiempo invernal y de verano, ya que en este estudio el tiempo climático fue predominantemente seco aunque se tuvieron lluvias aisladas.

2. De acuerdo a lo encontrado en el laboratorio, se determino que existe una alta variabilidad en turbiedad, color y pH con un promedio de temperatura de 15 °C, en la fuente analizada (Rio Oro) (ver tablas resumen de la pagina 8 a la 19). Así que para estas condiciones se sugiere el uso de floculadores mecánicos, además en la determinación del tiempo óptimo de floculación para los tres meses, se determino un valor de 32 minutos en promedio; tiempo que se encuentra dentro del rango del RAS para floculadores Mecánicos y Alabama. Obviamente se debe considerar factores de infraestructura como disponibilidad energética para el uso de este de floculadores mecánicos al momento de diseñar la planta.
3. Para el caso de la determinación de gradiente óptimo se determinó que este se encontraba entre 15 a 30 s<sup>-1</sup> con un promedio de 18 s<sup>-1</sup> para los tres meses de estudio, sin embargo se observo que el valor de 20s<sup>-1</sup> funciono bien para las turbiedades analizadas (ver tablas resumen de la pagina 8 a la 19), pero se debe destacar el hecho que durante el estudio no se tuvieron valores de turbiedad significativamente altas, razón por la cual no se pudo verificar si este gradiente funciona bien para valores altos de turbiedad y color, por lo que se sugiere continuar este estudio en periodos de tiempo invernal y de verano, ya que en este trabajo el tiempo climático fue predominantemente seco aunque se tuvieron algunas lluvias aisladas. Si se considera el valor promedio de 18 s<sup>-1</sup> se sugiere el uso de floculadores mecánicos considerando las restricciones ya antes mencionadas.
4. En la pruebas de tratabilidad se pudo determinar que las cargas superficiales tienen buenos porcentajes de remoción (por lo general superiores al 85%) para el rango comprendido entre 15 y 40 [m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup> d], tal y como lo sugiere el RAS, pero se recomienda delimitar mas el rango a valores comprendidos entre 20 [m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup> d] y 30 [m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup> d], dado que como lo sugiere Pérez Parra para valores por debajo de 20 [m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup> d] los sedimentadores resultan muy grandes y para valores por encima de 30 [m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup> d] se recargan mucho los filtros. Además se sugiere que al momento de determinar la velocidad Critica de diseño a través de la lectura de las graficas experimentales se use el factor de seguridad de 1.3 tal y como se explico anteriormente, así por ejemplo, para una carga superficial de 25 [m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup> d] leída en la curva experimental de eficiencia de sedimentación se obtiene una carga superficial de diseño de aproximadamente 17 [m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup> d] al aplicar el factor de seguridad equivalente a una velocidad critica de diseño de 0.019676 [cm/s].
5. En la pruebas de pH óptimo se pudo comprobar que no se requiere de ajustes de pH si se usa policloruro de aluminio como coagulante, dado que este funcionó bien para un amplio rango de pH de agua cruda (de 6.4 a 8.7). Con valores por fuera de este rango no se tiene una buena coagulación-floculación.
6. Para la dosificación del CAL para la remoción de color y turbiedad se recomienda efectuar una prueba de jarras con una solución de cal conocida, preferiblemente al 2%, igual a como se efectúa con la dosificación de coagulante. En la mayor parte de los experimentos se pudo determinar que la cal favorece el proceso de floculación para una dosis optima determinada, aunque en alguno casos no se requiere el uso de ella, por lo cual se sugiere siempre realizar pruebas de jarras con Cal y Coagulante (PAC).

7. Respecto a las dosis óptimas se sugiere siempre realizar pruebas de jarras para todas las condiciones del agua cruda con el fin de evitar malas dosificaciones y malos gastos de coagulante que conllevarían a pérdidas económicas y por supuesto a problemas en el cumplimiento de la 2115. Así por ejemplo se puede observar en la graficas de control (páginas 45 y 46) que con una correcta dosificación nunca se sobrepasaron los valores permitidos de concentración de aluminio residual, además el corazón del tratamiento del agua está en la Coagulación-Floculación la cual depende de una correcta dosificación de coagulante. También se propone usar las tablas resúmenes que están entre la pagina 8 y 19 de este informe, como guía para la dosificación en planta, ya que se pudo verificar en campo la eficacia de los datos para la fuente analizada (Rio Oro). Por último se recomienda usar el Color, la Turbiedad e índice de Wilcomb como parámetros para la determinación de las dosis óptimas.

### CONSIDERACIONES Y COMENTARIOS GENERALES.

A continuación se muestran algunas consideraciones propuestas por Casas Reyes [4] al momento de escalar los resultados de las pruebas de jarras a la planta de tratamiento. Dicha prueba puede presentar algunas deficiencias debido a:

- *“El pequeño volumen de los vasos comparado con el volumen real de los floculadores, no permite una proporción de escala de la turbulencia que se produce en el ensayo y en la planta de tratamiento”.*
- *“La dosificación de los coagulantes y la agitación se puede controlar mejor en la prueba de jarras que en la planta de tratamiento”.*
- *“En la planta de tratamiento hay flujo de agua, mientras que el ensayo de jarras no hay flujo. En la planta puede presentarse corto circuitos, mientras que en el ensayo prácticamente no existen”.*

A pesar de tales deficiencias el ensayo de jarras sigue siendo el método más usado para determinar y evaluar los procesos de coagulación y de floculación.

### Bibliografía.

1. Teoría y práctica de la purificación del agua. Arboleda Valencia Jorge. Tercera edición, 2008. Editorial Mc Graw Hill.
2. Coagulación-Floculación. Casas Reyes José Vicente. Primera edición, 1992. Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Ingeniería, Sede Bogotá.

3. Manual de Potabilización del Agua. Pérez Parra Jorge Arturo. Tercera Edición. Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Minas, Sede Medellín.
4. Ingeniería y ciencias ambientales. Mackenzie L. Davis y otros. Primera edición, 2005. Editorial Mc Graw Hill.
5. Métodos analíticos para la evaluación de la calidad fisicoquímica del agua. Londoño Carvajal Adela. Primera edición, 2010. Universidad Nacional de Colombia Sede Manizales, Facultad de ingeniería y arquitectura.
6. Ingeniería Ambiental, Fundamentos, entornos, tecnología y sistemas de gestión. Primera edición, 1999. Editorial Mc Graw Hill



**IVÁN FERNANDO MACÍAS QUIROGA**  
C.C 1053.777.983

**INGENIERO QUÍMICO.**  
T.P.No 14406

**ESPECIALISTA EN INGENIERA AMBIENTAL ÁREA SANITARIA.**  
**ESPECIALISTA EN DIRECCIÓN DE PRODUCCIÓN Y OPERACIONES.**

