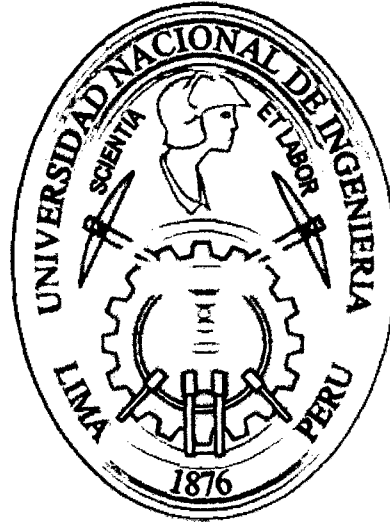


UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA

FACULTAD DE INGENIERÍA AMBIENTAL



**“USO DEL EXTRACTO DE LA SEMILLA DE MORINGA
OLEIFERA COMO COAGULANTE NATURAL PRIMARIO Y
AYUDANTE DE COAGULACIÓN EN EL TRATAMIENTO DE
AGUA PARA CONSUMO HUMANO”**

TESIS

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE
INGENIERO SANITARIO**

PRESENTADO POR:

ALDANA RIVERA EDGAR ALBERTO

LIMA, PERÚ

2012

Digitalizado por:

**Consortio Digital del
Conocimiento MebLatam,
Hemisferio y Dalse**

A nuestro **Padre Creador**,
por darme la vida,
por su gracia y justicia infinita.

A mi madre, por ser ejemplo
de fuerza, valentía y amor

AGRADECIMIENTO

Deseo expresar mis más sinceros muestras de agradecimiento:

A mi padre, quien con sus consejos me dio ánimos para continuar, por su cariño y comprensión.

A mi hermano Alfredo, por su apoyo invaluable, por estar conmigo en los momentos más importantes de mi vida.

A mis hermanos por creer y confiar en mí, apoyándome en las decisiones que he tomado en la vida.

A mis asesores el Magíster Ingeniero Víctor Maldonado Yactayo e Ingeniero Arturo Zapata Payco, quienes me orientaron y me dieron todas las facilidades para realizar esta investigación.

Al Ingeniero Jorge Chepote, ya que gracias a él pude contar con el extracto de la semilla de Moringa Oleifera.

A mi amigo y compañero Octavio Moreno, quien me apoyo en la parte experimental.

Al Laboratorio de la Facultad de Ingeniería Ambiental, por brindarme sus instalaciones y muy en especial al Sr. Ricardo Jara y Sra. Margarita Andreu por su apoyo en todo el desarrollo de la tesis.

RESUMEN

El presente estudio muestra los resultados del uso del extracto de moringa oleifera como coagulante primario y ayudante de coagulación en el tratamiento del agua para consumo humano, este estudio se realizó con el propósito de conocer una alternativa real en el contexto de los coagulantes naturales frente a los coagulantes sintéticos (químicos).

Para el desarrollo del presente estudio se realizaron pruebas de jarras, desarrollando los análisis de dosificación, floculación y sedimentación. Se utilizó el extracto de semilla de la moringa oleifera como coagulante primario y como ayudante de coagulación del sulfato de aluminio, también se realizaron pruebas con las mismas muestras de agua utilizando el sulfato de aluminio (alúmina) como coagulante primario, todo ello con la finalidad de poder comparar el poder coagulante de la moringa oleifera frente al sulfato de aluminio.

La investigación se realizó con muestras de agua del Río Rímac, cada una de ellas con las siguientes características:

- Muestra I. de 30 UNT, alcalinidad de 86 mg/lit CaCO₃ y una dureza total de 168 mg/lit de CaCO₃
- Muestra II. De 500 UNT, alcalinidad de 95 mg/lit CaCO₃ y una dureza total de 193 mg/lit de CaCO₃
- Muestra III de 110 UNT, alcalinidad de 91 mg/lit CaCO₃ y una dureza total de 184 mg/lit de CaCO₃

Los resultados obtenidos demuestran el alto poder coagulante que posee el extracto de semilla de moringa oleifera tanto como coagulante principal, así como ayudante de coagulación, esto debido a que remueve la turbiedad a valores aceptables por la normativa nacional.

Los resultados obtenidos indican que el extracto de semilla de la moringa oleifera utilizada como coagulante primario reduce la turbiedad a valores ≤ 2 UNT (límite de la normativa nacional) y con las siguientes tasas de sedimentación: Muestra I con una tasa de 17 m³/m²/d, Muestra II con una tasa de 20 m³/m²/d y

Muestra III con una tasa de $25 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{d}$, como ayudante de coagulación la tasa fue de $50 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{d}$ para todas las muestras.

Con respecto al valor del carbónico orgánico total, éste valor se incrementa desde 5 mg/l. en el agua sin tratar hasta 6 mg/l. en el agua tratada, esto en la Muestra II y desde 5 mg/l. en el agua sin tratar hasta 15 mg/l. en el agua tratada para la Muestra III.

El uso del extracto de semilla de moringa oleifera demostró tener poder bactericida, para la Muestra II se reduce la cantidad de coliformes fecales desde $15 \times 10^2 \text{ NMP}/100\text{ml}$ hasta $150 \text{ NMP}/100\text{ml}$ y la cantidad de coliformes totales desde $21 \times 10^2 \text{ NMP}/100\text{ml}$ hasta $200 \text{ NMP}/100\text{ml}$, para la Muestra III se reduce la cantidad de coliformes fecales desde $14 \text{ NMP}/100\text{ml}$ hasta $3 \text{ NMP}/100\text{ml}$ y la cantidad de coliformes totales desde $23 \text{ NMP}/100\text{ml}$ hasta $4 \text{ NMP}/100\text{ml}$,

Palabras claves: Moringa Oleifera, Coagulante natural, ayudante de coagulación

INDICE

	<i>Página</i>
INTRODUCCIÓN	
HIPÓTESIS	
OBJETIVOS	
ANTECEDENTES	
JUSTIFICACIÓN	
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	
CAPÍTULO 1: EL AGUA	2
1.1 DEFINICIÓN	2
1.2 CALIDAD DEL AGUA	2
1.2.1 CARACTERÍSTICAS DEL AGUA	3
1.2.1.1 CARACTERÍSTICAS FÍSICAS	3
1.2.1.2 CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS	3
1.2.1.3 CARACTERÍSTICAS BIOLÓGICAS	4
CAPÍTULO 2: COAGULACIÓN	6
2.1 COLOIDE	6
2.1.1 DEFINICIÓN	6
2.1.2 TIPOS DE COLOIDES DE ACUERDO CON SU COMPORTAMIENTO EN EL AGUA	7
2.1.3 PROPIEDADES DE LOS COLOIDES	8

2.1.3.1	PROPIEDAD CINÉTICA	8
2.1.3.2	PROPIEDAD ÓPTICA: EFECTO TYNDALL – FARADAY	10
2.1.3.3	PROPIEDAD DE SUPERFICIE: ADSORCIÓN	10
2.1.3.4	PROPIEDAD ELECTROKINETICA: ELECTROFORESIS	11
2.1.4	ESTABILIDAD E INESTABILIDAD DE COLOIDES	12
2.1.4.1	CARGA ELÉCTRICA DE LOS COLOIDES, FUERZA DE ESTABILIZACION	13
2.1.4.2	LA DOBLE CAPA ELECTRICA	13
2.2	MECANISMO DE COAGULACIÓN	14
2.2.1	COMPRESION DE LA DOBLE CAPA	14
2.2.2	ADSORCIÓN Y NEUTRALIZACIÓN DE LA CARGA	17
2.2.3	CAPTURA EN UN PRECIPITADO DE HIDROXIDO METALICO, CAPTURA POR BARRIDO	18
2.3	ADSORCION Y PUENTE INTERPARTICULAR	20
2.4	CINÉTICA O ETAPAS DE LA COAGULACIÓN	23
2.5	MECANISMO DE COAGULACIÓN PREDOMINANTES	24
2.5.1	COAGULACIÓN POR ADSORCIÓN	24
2.5.2	COAGULACIÓN POR BARRIDO	26
2.6	FACTORES QUE INFLUYEN EN EL PROCESO DE COAGULACIÓN	28
2.6.1	INFLUENCIA DE LA CONCENTRACION DEL COAGULANTE	28
2.6.2	LA CALIDAD DEL AGUA CRUDA	29
2.6.3	TEMPERATURA	30
2.6.4	VARIABLES QUÍMICAS	31
CAPÍTULO 3: FLOCULACIÓN		38
3.1	GENERALIDADES	38
3.2	MECÁNICA DE FLOCULACIÓN	38
3.3	FACTORES QUE INFLUYEN EN LA FLOCULACIÓN	39
3.3.1	NATURALEZA DEL AGUA	39

3.3.2 TIEMPO DE FLOCULACIÓN	40
3.3.3 GRADIENTE DE VELOCIDAD	42
3.3.4 INFLUENCIA DE LA VARIACIÓN DEL CAUDAL	43
CAPÍTULO 4: SEDIMENTACIÓN	45
4.1 GENERALIDADES	45
4.2 SEDIMENTACIÓN DE PARTÍCULAS DISCRETAS	46
4.3 SEDIMENTACIÓN DE PARTÍCULAS FLOCULENTAS	46
4.4 SEDIMENTACIÓN POR CAIDA LIBRE O INTERFERIDA	46
4.5 EXPRESIONES DE VELOCIDADES	47
4.5.1 SEDIMENTACIÓN DE PARTÍCULAS FLOCULENTAS	47
4.6 FACTORES QUE INFLUYEN EN EL PROCESO	51
4.6.1 CALIDAD DEL AGUA	51
4.6.2 FACTORES EXTERNOS	53
CAPÍTULO 5: POLÍMEROS Y ALMIDONES	55
5.1 DEFINICIÓN Y ESTRUCTURA DE LOS POLÍMEROS	55
5.2 CLASIFICACIÓN DE LOS POLÍMEROS	55
5.2.1 DE ACUERDO A SU CARGA ELÉCTRICA	56
5.2.2 DE ACUERDO A SU ORIGEN	57
5.3 ALMIDONES	59
5.3.1 COMPOSICION DE LOS ALMIDONES	59
5.3.2 ALMIDONES SOLUBLES EN AGUA	60
CAPÍTULO 6: LA MORINGA OLEIFERA	62
6.1 INTRODUCCIÓN	62
6.2 ORIGEN	63
6.3 DESCRIPCIÓN	63
6.4 UTILIDAD DE LA MORINGA OLEIFERA	66

6.4.1 BENEFICIOS NUTRICIONALES DE LA MORINGA OLEIFERA	69
6.4.2 PROPIEDADES MEDICINALES DE LA MORINGA OLEIFERA	70
6.4.3 UTILIZACION DE LA SEMILLA DE MORINGA OLEIFERA EN EL TRATAMIENTO DE AGUAS	70
6.5 LA MORINGA OLEIFERA EN EL PERÚ	71
CAPÍTULO 7: TRABAJO EXPERIMENTAL	74
7.1 MATERIALES, MÉTODO Y DESCRIPCIÓN DEL EQUIPO UTILIZADO	74
7.1.1 ANTECEDENTE	74
7.1.2 DESCRIPCIÓN DEL EQUIPO DE PRUEBA DE JARRAS	74
7.1.3 SISTEMA DE DOSIFICACIÓN	75
7.1.4 SISTEMA DE AGITACIÓN	77
7.1.4.1 DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA	77
7.1.4.1.1 DETERMINACIÓN DE LA GRADIENTE DE VELOCIDAD	78
7.1.5 DESCRIPCIÓN DE LAS JARRAS	80
7.1.6 SISTEMA DE TOMA DE MUESTRAS	81
7.1.7 EQUIPO AUXILIAR EN LAS PRUEBAS DE JARRAS	82
7.1.7.1 TURBIDÍMETRO	82
7.1.7.2 MEDIDOR DE Ph	82
7.1.7.3 VIDRIERÍA	83
7.1.8 PRECAUCIONES Y LIMITACIONES	83
7.2 METODOLOGÍA	84
7.2.1 OBTENCIÓN DEL PRODUCTO COAGULANTE A PARTIR DE LA SEMILLA DE MORINGA OLEIFERA	84
7.2.2 PREPARACIÓN DE LA SOLUCION DE MORINGA OLEIFERA COMO COAGULANTE PRIMARIO	86
7.2.3 PREPARACIÓN DE LA SOLUCION DE MORINGA OLEIFERA COMO AYUDANTE DE COAGULACIÓN	87
7.2.4 DETERMINACIÓN DE LA DOSIS ÓPTIMA	87
7.2.5 DETERMINACIÓN DE LA CONCENTRACIÓN ÓPTIMA	91
7.2.6 DETERMINACION DEL pH ÓPTIMO DE COAGULACION	92

7.2.7 DETERMINACION DE LOS PARÁMETROS DE FLOCULACIÓN	93
7.2.8 DETERMINACION DEL DE LA VELOCIDAD ÓPTIMA DE SEDIMENTACIÓN	95
7.2.9 PARÁMETROS A ESTUDIAR EN LOS ENSAYOS	97
CAPÍTULO 8: CÁLCULOS Y RESULTADOS	99
8.1 TURBIEDAD BAJA: MUESTRA N° 1, 30 UNT	99
8.1.1 CARACTERÍSTICAS DEL AGUA CRUDA	99
8.1.2 LA SOLUCION DE EXTRACTO DE SEMILLA DE MORINGA OLEIFERA COMO COAGULANTE PRIMARIO	99
8.1.3 SOLUCION DE SULFATO DE ALUMINIO COMO COAGULANTE PRIMARIO	108
8.1.4 SOLUCION DE SULFATO DE ALUMINIO COMO COAGULANTE PRIMARIO Y SOLUCION DE MORINGA OLEIFERA COMO AYUDANTE DE COAGULACIÓN	116
8.2 TURBIEDAD ALTA 1: MUESTRA N° 2, 500 UNT	123
8.2.1 CARACTERÍSTICAS DEL AGUA CRUDA	123
8.2.2 LA SOLUCION DE EXTRACTO DE SEMILLA DE MORINGA OLEIFERA COMO COAGULANTE PRIMARIO	123
8.2.3 SOLUCION DE SULFATO DE ALUMINIO COMO COAGULANTE PRIMARIO	132
8.2.4 SOLUCION DE SULFATO DE ALUMINIO COMO COAGULANTE PRIMARIO Y SOLUCION DE MORINGA OLEIFERA COMO AYUDANTE DE COAGULACIÓN	140
8.3 TURBIEDAD ALTA 2: MUESTRA N° 3, 110 UNT	148
8.3.1 CARACTERÍSTICAS DEL AGUA CRUDA	148
8.3.2 LA SOLUCION DE EXTRACTO DE SEMILLA DE MORINGA OLEIFERA COMO COAGULANTE PRIMARIO	148
8.3.3 SOLUCION DE SULFATO DE ALUMINIO COMO COAGULANTE PRIMARIO	157

8.3.4 SOLUCION DE SULFATO DE ALUMINIO COMO COAGULANTE PRIMARIO Y SOLUCION DE MORINGA OLEIFERA COMO AYUDANTE DE COAGULACIÓN	165
CAPÍTULO 9: ANÁLISIS COSTO TRATAMIENTO	174
9.1 DISCUSIÓN DE COSTOS- ANÁLISIS COMPARATIVO DE COSTOS DE COAGULANTES	174
9.1.1 PARA EL AGUA DE 30 UNT (MUESTRA I)	174
9.1.2 PARA EL AGUA DE 500 UNT (MUESTRA II)	176
9.1.3 PARA EL AGUA DE 110 UNT (MUESTRA III)	178
CAPÍTULO 10: CONCLUSIONES	182
CAPÍTULO 11: RECOMENDACIONES	185
CAPÍTULO 12: BIBLIOGRAFÍA	187
CAPÍTULO 13: REFERENCIAS	189
CAPÍTULO 14: ANEXO	192
14.1 MEDICION DE COLIFORMES FECALES Y TOTALES EN LA MUESTRA II Y MUESTRA III	192
14.2 MEDICION DE CARBONO ORGÁNICO TOTAL EN LA MUESTRA II Y MUESTRA III	194

RESUMEN DE FIGURAS

	Página
<i>Figura 1. Distribución de tamaños de las partículas en el agua</i>	6
<i>Figura 2: Configuración esquemática de la doble capa eléctrica</i>	14
<i>Figura 3. Curvas esquemáticas de coagulación para varios tipos de coagulantes</i>	16
<i>Figura 4. Representación esquemática para el modelo de puentes en la desestabilización de coloides mediante polímeros</i>	22
<i>Figura 5. Modelo esquemático del proceso de coagulación</i>	24
<i>Figura 6. Coagulación por adsorción</i>	25
<i>Figura 7. Potencial zeta en la coagulación por adsorción</i>	26
<i>Figura 8. Coagulación de barrido o arrastre de partículas</i>	27
<i>Figura 9. Potencial zeta en la coagulación por barrido</i>	28
<i>Figura 10. Representación esquemática de la coagulación observada en ensayos de jarras usando sales de aluminio (III) a un pH constante</i>	32
<i>Figura 11. Concentración de coloide, expresada como concentración de superficie</i>	33
<i>Figura 12. Efecto del ion sulfato sobre el tiempo de formación del flóculo de sulfato de aluminio</i>	40
<i>Figura 13. Efecto del periodo de floculación en la sedimentación</i>	41
<i>Figura 14. Índices de Willcomb para determinar el tamaño del flóculo</i>	48
<i>Figura 15. Curva de variación de eficiencia en función de la velocidad de sedimentación</i>	49
<i>Figura 16. Corrientes térmicas</i>	52
<i>Figura 17. Corrientes de densidad</i>	53
<i>Figura 18. Clasificación y ejemplo de algunos polímeros</i>	56
<i>Figura 19. Modo de acción de los polímeros</i>	58
<i>Figura 20. Diferencia esquemática entre la amilasa y la amilopectina</i>	59

<i>Figura 21. Usos importantes de diversas partes de la planta de Moringa Oleifera</i>	69
<i>Figura 22. Ábaco que relaciona el gradiente de velocidad con la revoluciones por minuto de un equipo de prueba de jarras con recipientes de 2 litros. Jarra de sección circular</i>	79

RESUMEN DE CUADROS

	Página
<i>Cuadro 1. Efecto al disminuir el tamaño de las esferas</i>	11
<i>Cuadro 2. Tabla comparativa del contenido nutritivo de las hojas de Moringa oleifera con otros alimentos (por cada 100 gramos de parte comestible)</i>	70
<i>Cuadro 3. Características de agitadores</i>	77
<i>Cuadro 4. Dosis óptima de moringa oleifera IA</i>	100
<i>Cuadro 5. Concentración óptima de moringa oleifera IA</i>	101
<i>Cuadro 6. pH óptimo IA</i>	102
<i>Cuadro 7. Resultados de ensayo de floculación IA</i>	103
<i>Cuadro 8. Resultados de ensayo de sedimentación IA</i>	106
<i>Cuadro 9. Selección de la tasa de sedimentación IA</i>	107
<i>Cuadro 10. Dosis óptima de sulfato de aluminio IB</i>	108
<i>Cuadro 11. Concentración óptima de sulfato de aluminio IB</i>	109
<i>Cuadro 12. pH óptimo IB</i>	110
<i>Cuadro 13. Resultados de ensayo de floculación IB</i>	111
<i>Cuadro 14. Resultados de ensayo de sedimentación IB</i>	114
<i>Cuadro 15. Selección de la tasa de sedimentación IB</i>	115
<i>Cuadro 16. Dosis óptima del ayudante IC</i>	116
<i>Cuadro 17. Dosis óptima del coagulante con ayudante IC</i>	117
<i>Cuadro 18. Resultados del ensayo de floculación IC</i>	118
<i>Cuadro 19. Resultados del ensayo de sedimentación IC</i>	121
<i>Cuadro 20. Selección de la tasa de sedimentación IC</i>	122
<i>Cuadro 21. Dosis óptima de moringa oleifera IIA</i>	123
<i>Cuadro 22. Concentración óptima de moringa oleifera IIA</i>	125
<i>Cuadro 23. pH óptimo IIA</i>	126
<i>Cuadro 24. Resultados de ensayo de floculación IIA</i>	127
<i>Cuadro 25. Resultados de ensayo de sedimentación IIA</i>	130
<i>Cuadro 26. Selección de la tasa de sedimentación IIA</i>	131
<i>Cuadro 27. Dosis óptima de sulfato de aluminio IIB</i>	132

<i>Cuadro 28. Concentración óptima de sulfato de aluminio IIB</i>	133
<i>Cuadro 29. pH óptimo IIB</i>	134
<i>Cuadro 30. Resultados de ensayo de floculación IIB</i>	135
<i>Cuadro 31. Resultados de ensayo de sedimentación IIB</i>	138
<i>Cuadro 32. Selección de la tasa de sedimentación IIB</i>	139
<i>Cuadro 33. Dosis óptima del ayudante IIC</i>	140
<i>Cuadro 34. Dosis óptima del coagulante con ayudante IIC</i>	142
<i>Cuadro 35. Resultados del ensayo de floculación IIC</i>	143
<i>Cuadro 36. Resultados del ensayo de sedimentación IIC</i>	146
<i>Cuadro 37. Selección de la tasa de sedimentación IIC</i>	146
<i>Cuadro 38. Dosis óptima de moringa oleifera IIIA</i>	148
<i>Cuadro 39. Concentración óptima de moringa oleifera IIIA</i>	150
<i>Cuadro 40. pH óptimo IIIA</i>	151
<i>Cuadro 41. Resultados de ensayo de floculación IIIA</i>	152
<i>Cuadro 42. Resultados de ensayo de sedimentación IIIA</i>	155
<i>Cuadro 43. Selección de la tasa de sedimentación IIIA</i>	156
<i>Cuadro 44. Dosis óptima de sulfato de aluminio IIIB</i>	157
<i>Cuadro 45. Concentración óptima de sulfato de aluminio IIIB</i>	158
<i>Cuadro 46. pH óptimo IIIB</i>	159
<i>Cuadro 47. Resultados de ensayo de floculación IIIB</i>	160
<i>Cuadro 48. Resultados del ensayo de sedimentación IIIB</i>	163
<i>Cuadro 49. Selección de la tasa de sedimentación IIIB</i>	164
<i>Cuadro 50. Dosis óptima del ayudante IIIC</i>	165
<i>Cuadro 51. Dosis óptima del coagulante con ayudante IIIC</i>	167
<i>Cuadro 52. Resultados del ensayo de floculación IIIC</i>	168
<i>Cuadro 53. Resultados del ensayo de sedimentación IIIC</i>	171
<i>Cuadro 54. Selección de la tasa de sedimentación IIIC</i>	172
<i>Cuadro 55. Análisis costo tratamiento Muestra I, 30 UNT</i>	176
<i>Cuadro 56. Análisis costo tratamiento Muestra II, 500 UNT</i>	178
<i>Cuadro 57. Análisis costo tratamiento Muestra III, 110 UNT</i>	180

RESUMEN DE GRAFICOS

	Página
Gráfico 1. Dosis óptima de moringa oleifera IA	100
Gráfico 2. Concentración óptima de moringa oleifera IA	101
Gráfico 3. pH óptimo IA	102
Gráfico 4. Turbiedad residual vs Tiempo de retención IA	103
Gráfico 5. Turbiedad residual vs Gradiente de velocidad IA	104
Gráfico 6. Gradiente de velocidad vs Tiempo de retención IA	105
Gráfico 7. Curva de sedimentación IA	107
Gráfico 8. Dosis óptima de sulfato de aluminio IB	108
Gráfico 9. Concentración óptima de sulfato de aluminio IB	109
Gráfico 10. pH óptimo IB	110
Gráfico 11. Turbiedad residual vs Tiempo de retención IB	111
Gráfico 12. Turbiedad residual vs Gradiente de velocidad IB	112
Gráfico 13. Gradiente vs Tiempo de retención IB	113
Gráfico 14. Curva de sedimentación IB	115
Gráfico 15. Dosis óptima del ayudante IC	116
Gráfico 16. Dosis óptima del coagulante con ayudante IC	117
Gráfico 17. Turbiedad residual vs Tiempo de retención IC	118
Gráfico 18. Turbiedad residual vs Gradiente de velocidad IC	119
Gráfico 19. Gradiente de velocidad vs Tiempo de retención IC	120
Gráfico 20. Curva de sedimentación IC	122
Gráfico 21. Dosis óptima de moringa oleifera IIA	124
Gráfico 22. Concentración óptima de moringa oleifera IIA	125
Gráfico 23. pH óptimo IIA	126
Gráfico 24. Turbiedad residual vs Tiempo de retención IIA	127
Gráfico 25. Turbiedad residual vs Gradiente de velocidad IIA	128
Gráfico 26. Gradiente de velocidad vs Tiempo de retención IIA	129
Gráfico 27. Curva de sedimentación IIA	131
Gráfico 28. Dosis óptima de sulfato de aluminio IIB	132
Gráfico 29. Concentración óptima de sulfato de aluminio IIB	133
Gráfico 30. pH óptimo IIB	134

Gráfico 31. <i>Turbiedad residual vs Tiempo de retención IIB</i>	135
Gráfico 32. <i>Turbiedad residual vs Gradiente de velocidad IIB</i>	136
Gráfico 33. <i>Gradiente vs Tiempo de retención IIB</i>	137
Gráfico 34. <i>Curva de sedimentación IIB</i>	139
Gráfico 35. <i>Dosis óptima del ayudante IIC</i>	141
Gráfico 36. <i>Dosis óptima del coagulante con ayudante IIC</i>	142
Gráfico 37. <i>Turbiedad residual vs Tiempo de retención IIC</i>	143
Gráfico 38. <i>Turbiedad residual vs Gradiente de velocidad IIC</i>	144
Gráfico 39. <i>Gradiente de velocidad vs Tiempo de retención IIC</i>	145
Gráfico 40. <i>Curva de sedimentación IIC</i>	147
Gráfico 41. <i>Dosis óptima de moringa oleifera IIIA</i>	149
Gráfico 42. <i>Concentración óptima de moringa oleifera IIIA</i>	150
Gráfico 43. <i>pH óptimo IIIA</i>	151
Gráfico 44. <i>Turbiedad residual vs Tiempo de retención IIIA</i>	152
Gráfico 45. <i>Turbiedad residual vs Gradiente de velocidad IIIA</i>	153
Gráfico 46. <i>Gradiente de velocidad vs Tiempo de retención IIIA</i>	154
Gráfico 47. <i>Curva de sedimentación IIIA</i>	156
Gráfico 48. <i>Dosis óptima de sulfato de aluminio IIIB</i>	157
Gráfico 49. <i>Concentración óptima de sulfato de aluminio IIIB</i>	158
Gráfico 50. <i>pH óptimo IIIB</i>	159
Gráfico 51. <i>Turbiedad residual vs Tiempo de retención IIIB</i>	160
Gráfico 52. <i>Turbiedad residual vs Gradiente de velocidad IIIB</i>	161
Gráfico 53. <i>Gradiente vs Tiempo de retención IIIB</i>	162
Gráfico 54. <i>Curva de sedimentación</i>	164
Gráfico 55. <i>Dosis óptima del ayudante IIIC</i>	166
Gráfico 56. <i>Dosis óptima del coagulante con ayudante IIIC</i>	167
Gráfico 57. <i>Turbiedad residual vs Tiempo de retención IIIC</i>	168
Gráfico 58. <i>Turbiedad residual vs Gradiente de velocidad IIIC</i>	169
Gráfico 59. <i>Gradiente de velocidad vs Tiempo de retención IIIC</i>	170
Gráfico 60. <i>Curva de sedimentación IIIC</i>	172

RESUMEN DE IMÁGENES

	Página
<i>Imagen 1. Árbol de Moringa Oleifera</i>	64
<i>Imagen 2. Fruto del árbol de Moringa Oleifera</i>	65
<i>Imagen 3. Semilla de Moringa Oleifera</i>	65
<i>Imagen 4. Equipo de prueba de Jarras Phipps & Bird</i>	75
<i>Imagen 5. Deflectores dentro de los vasos de 2 litros</i>	78
<i>Imagen 6. Jarra de precipitación de 2 litros</i>	80
<i>Imagen 7. Tomadores de muestra en los vasos de 2 litros</i>	81
<i>Imagen 8. Polvo de semilla de moringa oleifera</i>	85

INTRODUCCION

Las plantas de tratamiento de agua para consumo humano involucran un proceso físico químico en donde se utiliza un coagulante capaz de eliminar partículas en suspensión, comúnmente este coagulante es el Sulfato de Aluminio (conocida comúnmente como alúmina) o sales de hierro, en estos tiempos existe en el país la necesidad de investigar las sustancias naturales que puedan ser empleadas eficientemente como coagulante primario y/o ayudante de coagulación y que no ofrezcan peligro a la salud de los consumidores, la toxicidad de los coagulantes naturales es por lo general nula, ya que en muchos casos son usados como comestibles (moringa oleifera, el haba, alginato de sodio, etc)

Actualmente en la ciudad de Lima la Empresa Prestadora del Servicio de Agua Potable y Alcantarillado (SEDAPAL) utiliza coagulantes sintéticos como el sulfato de aluminio en el proceso de tratamiento del agua, no se conoce en el Perú ninguna planta de tratamiento de agua potable que utilice ya sea de forma continua o alternada un coagulante natural.

No se puede conocer de antemano si un coagulante natural puede actuar mejor como coagulante primario o como ayudante de coagulación. La eficiencia de ellos solo podrá ser determinado mediante cuidadosos ensayos a nivel de laboratorio y de planta, trabajando con el agua que se va a tratar.

Dentro de los coagulantes naturales que hasta el momento se han investigado en el tratamiento de agua se encuentran: la harina de haba, los compuestos de celulosa, almidón y sus derivados polisacáridos, alginatos (extraído de algas marinas parda phaeophyceas), goma extraída de cactus opuntia ficus, gelatina común, etc.

En la presente investigación se utilizará el extracto de semilla de moringa oleifera como coagulante primario y como ayudante de coagulación, de debe de tener en cuenta que la moringa oleifera se encuentra en nuestro país recién a partir del

2009 y actualmente se encuentra en investigación y expansión a través del ministerio de agricultura.

Con la información disponible, la mayoría extranjera, este trabajo se orienta principalmente a conocer la máxima eficiencia técnico – económica del extracto de semilla de moringa oleifera utilizada como coagulante primario y como ayudante de coagulación.

Por todo lo resumido nos hemos visto en la necesidad de realizar esta investigación teniendo en cuenta que las referencias hablan del extracto de semilla de moringa oleifera como el coagulante natural de mayor eficiencia hasta ahora conocido.

El presente trabajo de tesis, no tiene como objetivo descubrir nuevas técnicas de tratamiento, si no el de utilizar las técnicas de tratamiento ya conocidos con un producto natural que ya existe en nuestro país, con la sola idea de aportar, en cierto modo, resultados que puedan contribuir al desarrollo de tecnologías adecuadas a nuestra realidad y por ende al desarrollo de la Ingeniería Sanitaria en el Perú.

HIPÓTESIS

Primera hipótesis: El extracto de la semilla de Moringa Oleifera es un efectivo coagulante natural primario para remover turbidez con respecto al Sulfato de Aluminio en el tratamiento de agua para consumo humano.

Segunda hipótesis: El extracto de la semilla de Moringa Oleifera es un efectivo ayudante de coagulación para remover turbidez con respecto al Sulfato de Aluminio en el tratamiento de agua para consumo humano.

OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

Evaluar la efectividad del extracto de la semilla de Moringa Oleífera como coagulante natural primario y como ayudante de coagulación, del agua cruda extraída del Río Rímac, en épocas de estiaje y avenidas, en la bocatoma de la PTAP de SEDAPAL destinada al consumo humano de Lima Metropolitana; frente a los resultados obtenidos al usar el Sulfato de Aluminio como coagulante químico.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Evaluar la eficiencia en la remoción de turbidez del extracto de la semilla de Moringa Oleífera, proveniente del Valle de Ica, como coagulante natural primario y como ayudante de coagulación.
- Comprobar un método de utilización del extracto del coagulante de la semilla de Moringa Oleífera extraída por prensado.
- Establecer los parámetros óptimos de tratamiento: Dosis óptima, Concentración óptima, PH óptimo, Gradiente de velocidad y Velocidad de sedimentación, como coagulante natural primario y como ayudante de coagulación.
- Evaluar la capacidad bactericida del extracto de la semilla de Moringa Oleífera utilizada como coagulante natural primario y ayudante de coagulación.
- Determinación del incremento del carbono orgánico disuelto en el agua tratada con el extracto de la semilla de Moringa Oleífera como coagulante natural primario y ayudante de coagulación.

ANTECEDENTES

El uso de plantas como coagulantes naturales es una costumbre de los pueblos de Asia y África, se tiene conocimiento que varios productos naturales han sido y son empleados como clarificadores de agua por pobladores rurales de diversas zonas del mundo sin conocer las propiedades químicas de estas, es decir utilizan estos productos de manera empírica, tales son los casos de las áreas rurales del Altiplano y los Valles de Bolivia, donde usan la harina de las habas secas (*Vicia Faba*) y Pepas de Durazno (*Pérsica Vulgaris*); en México y Perú (en la sierra de Cajamarca), utilizan la Penca de la Tuna; en la India es común el uso de semilla de Nirmali, en Sudan, Cuba, Venezuela y muchos países mas, se utilizan la semilla de la *Moringa Oleifera Lam.*

El Doctor, Samia Al Azharia Jahn, con el apoyo de la GTZ (Cooperación Técnica de la Republica Federal de Alemania), realizo la investigación "uso apropiado de coagulantes naturales africanos para el abastecimiento del Agua en el medio rural", publicada por el CEPIS, OPS y OMS en 1989, donde también se realizaron pruebas a nivel rural en los valles del Nilo, Sudan, con la semilla de la haba como ayudante de floculación obteniendo datos satisfactorios.

En Brasil los ingenieros José Campos y José Martiniano D Acevedo Netto, efectuaron el estudio del empleo del Almidón de Papa como auxiliar de floculación de agua para abastecimiento (1980), logrando resultados muy positivos en el mejoramiento de la calidad del agua, esta investigación sirvió de base al Ingeniero José Campos y otros investigadores para estudiar comparativamente la eficiencia de almidones de diversas fuentes naturales, cuando son empleadas como auxiliar de floculación de agua para abastecimiento humano (1984).

En Perú el Ingeniero Fausto Roncal y la Ingeniero Rosario Siu Chirinos realizaron la investigación de la Utilización del Almidón de Papa como ayudante de floculación en el tratamiento de agua para consumo humano (1990), obteniéndose resultados positivos y el cual esta sirviendo de base para las

investigaciones en el tema de tratamiento de agua con coagulantes naturales que se están realizando actualmente en el país.

Con respecto a estudios del uso de la moringa oleifera en nuestra región se puede citar al país de Cuba en donde se obtuvo un producto coagulante a partir de las semillas de Moringa Oleifera Lam tropicalizada en ese país, en este trabajo también se obtiene la dosis optima y tiempo de agitación rápida para lograr minimizar la turbiedad, color y la demanda bioquímica de oxígeno, maximizando el índice de Wilcomb para la calidad de agua estudiada.

Recientemente en diversos países de América Latina (Venezuela, Cuba, Brasil, México, Honduras) se han realizado investigaciones y el año 2009 en Brasil, en la Universidad Federal de Rio Grande del Norte¹, y en México, en el Congreso Nacional de Biotecnología y Bioingeniería, realizado en Acapulco en Junio del 2009², se viene confirmando la potencialidad de la semilla de Moringa Oleifera como coagulante natural del agua.

JUSTIFICACIÓN

En el Perú se utiliza tradicionalmente como coagulante primario el Sulfato de Aluminio y en menor proporción el Cloruro Férrico para el tratamiento de agua potable (remoción de turbiedad). No se conoce la utilización de un coagulante natural en las instalaciones de una Planta de Tratamiento de Agua Potable en el Perú, esto debido a que solo se tiene conocimientos empíricos, aplicado por los pobladores de las zonas rurales del Perú.

El extracto de semilla de moringa oleífera es un coagulante natural, en nuestro país no se ha realizado una determinación técnica científica de su eficiencia como coagulante primario y/o ayudante de coagulación en nuestro país, motivo que impulsa a realizar la Tesis de Investigación "USO DEL EXTRACTO DE LA SEMILLA DE MORINGA OLEIFERA COMO COAGULANTE NATURAL PRIMARIO Y AYUDANTE DE COAGULACIÓN EN EL TRATAMIENTO DE AGUA PARA CONSUMO HUMANO" y así ampliar la investigación realizada en Brasil y México del uso del extracto de la semilla de moringa oleífera como coagulante natural usando muestras de agua cruda del Río Rímac de la ciudad de Lima.

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

ASPECTO ECONÓMICO

Actualmente se usa el Sulfato de Aluminio ($Al_2(SO_4)_3$) como coagulante químico, el cual es comprado por la mayoría de plantas de tratamiento de agua potable; SEDAPAL estimó el gasto de S/. 107 700.00 soles por 100 toneladas de Sulfato de Aluminio granulado tipo B en su última adquisición por un año³, por lo que el suministro de ésta sustancia le genera a las empresas potabilizadoras un fuerte desembolso de dinero.

SALUD

El aluminio residual en el agua de consumo humano puede ser peligroso para la salud ya que puede afectar gravemente el sistema nervioso central^{4,5}. Estudios realizados indican que existe relación entre los agentes etiológicos del mal de Alzheimer y la concentración de aluminio en el organismo humano, afirmando además, que ocasiona envejecimiento prematuro^{4,5}.

INVESTIGACIÓN

En nuestro país el uso de coagulantes naturales en Plantas de Tratamiento es nulo. En la Universidad Nacional de Ingeniería, Facultad de Ingeniería Ambiental, se ha realizado investigaciones sobre el uso de coagulantes y ayudantes de coagulación; * sin embargo, no se tienen estudio alguno sobre el uso del extracto de semilla de la moringa oleífera como coagulante natural primario y ayudante de coagulación del agua cruda. Siendo considerado éste último como el mejor coagulante natural primario hasta ahora conocido⁶.

CAPÍTULO 1: EL AGUA

CAPÍTULO 1

EL AGUA

1.1 DEFINICIÓN

El agua es el constituyente más importante del organismo humano y del mundo en el que vivimos. Tiene una gran influencia en los procesos bioquímicos que ocurren en la naturaleza. Esta influencia no sólo se debe a sus propiedades fisicoquímicas como la molécula bipolar sino también a los constituyentes orgánicos e inorgánicos que se encuentran en ella.

Se considera que el agua es un solvente universal, debido a que es capaz de disolver o dispersar la mayoría de sustancias con las que entra en contacto, sean estas sólidas, líquidas o gaseosas, y de formar con ellas iones, complejos solubles o insolubles, coloides o simplemente partículas dispersas de diferente tamaño y peso.

1.2 CALIDAD DEL AGUA

El término calidad de agua es relativo y solo tiene importancia universal si está relacionado con el uso del recurso. Esto quiere decir que una fuente de agua suficientemente limpia que permita la vida de los peces puede no ser apta para la natación y un agua útil para el consumo humano puede resultar inadecuada para la industria.

Para decir si un agua califica para un propósito particular, su calidad debe especificarse en función del uso que se le va a dar. Bajo estas condiciones, se dice que un agua está contaminada cuando sufre cambios que afectan su uso real o potencial.

1.2.1 CARACTERISTICAS DEL AGUA

1.1.2.1 CARACTERISTICAS FISICAS

Las características físicas del agua, llamadas a sí por que pueden impresionar a los sentidos (vista, olfato, etc), tienen incidencia directa sobre las condiciones estéticas y de aceptabilidad del agua.

Se considera importante las siguientes:

- Turbiedad
- Sólidos solubles e insolubles
- Color
- Olor y sabor
- Temperatura
- pH

1.1.2.2 CARACTERISTICAS QUIMICAS

El agua como solvente universal, puede contener cualquier elemento de la tabla periódica. Sin embargo, pocos son los elementos significativos para el tratamiento del agua cruda con fines de consumo o los que tienen efectos en la salud del consumidor.

Las características e importancia de los principales parámetros químicos relacionados con las fuentes de abastecimiento, así como las recomendaciones de criterios de calidad se han publicado en la EPA en el año 2000 en Estados Unidos, así como las Guías de Calidad para Aguas de Bebida del Canadá – 1978 y las Guías de Calidad para Aguas de Consumo Humano de la OMS (Segunda Edición Ginebra 1996.)

1.1.2.3 CARACTERISTICAS BIOLÓGICAS

Los organismos propios de las aguas superficiales están en permanente actividad y ninguno vive aislado. Su existencia depende del medio que lo rodea.

Se entiende por medio tanto al ambiente físico como los organismos con los cuales se convive. Todos forman parte de un sistema.

En un sistema acuático, la luz solar regula la fotosíntesis y los organismos que tienen la clorofila, como las algas, acumulan energía que utilizan para su sostenimiento, crecimiento y reproducción. Este grupo de organismos son los productores primarios, su energía es transmitida a los animales herbívoros, como los Cladóceros, los Copépodos y los Rotíferos, que se alimentan de las algas, estos a su vez sirven de alimento para los consumidores de los órdenes sucesivos.

Los microorganismos causantes de las enfermedades hídricas más comunes en nuestro medio son los siguientes.

- El bacilo *Salmonella typhi* (bacteria). Causante de la enfermedad infecciosa de la fiebre tifoidea.
- El *Vibrio Cholerae* (bacteria), causante de la enfermedad infecciosa del cólera.
- *Shigella* (bacteria), causante de la disentería bacilar.
- *Entamoeba Histolytica* (parasito), causante de la disentería amebiana.

CAPÍTULO 2: COAGULACIÓN

CAPÍTULO 2

COAGULACIÓN

2.1 COLOIDE

2.1.1 DEFINICION

Las partículas coloidales en el agua por lo general presentan un diámetro entre 1 y 1.000 mil micrómetros y su comportamiento depende de su naturaleza y origen. Estas partículas presentes en el agua son las principales responsables de la turbiedad.

En términos generales, los denominados coloides presentan un tamaño intermedio entre las partículas en solución verdadera y las partículas en suspensión. La figura 1 ilustra sobre el tamaño aproximado de las partículas y su distribución. Es necesario hacer notar, sin embargo, que en el caso de los coloides, sus dimensiones las define la naturaleza de los mismos.

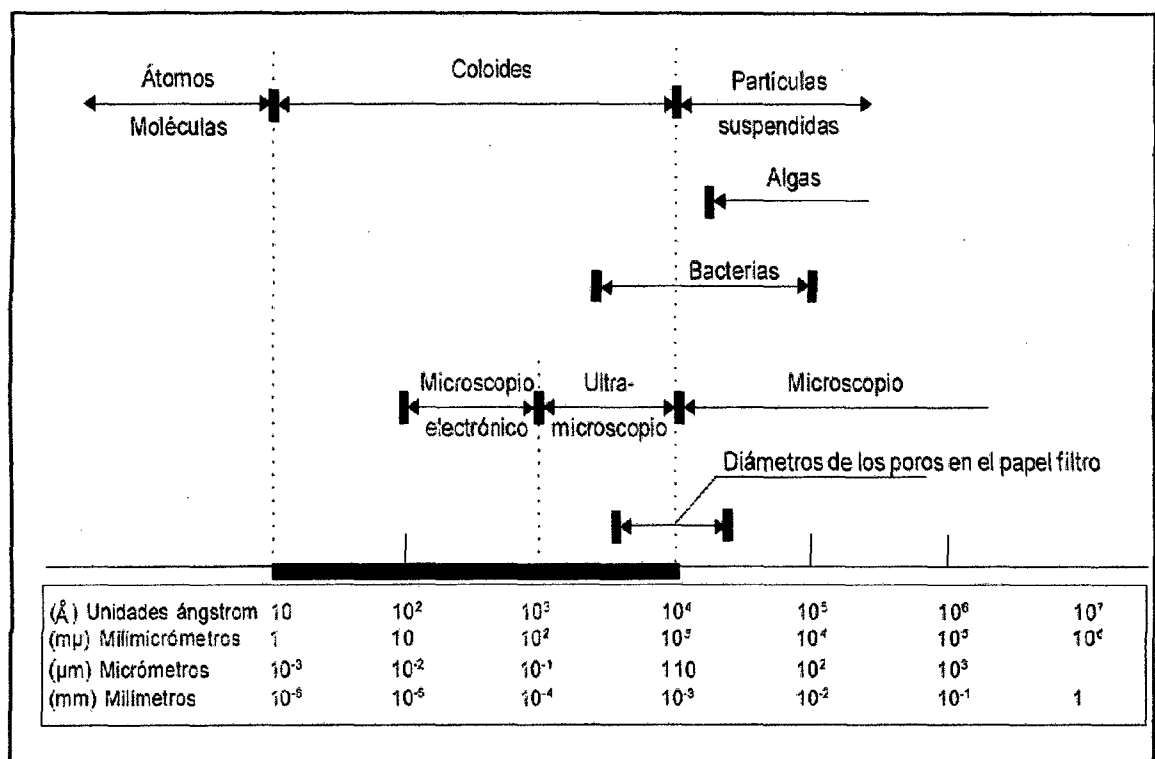


Figura 1. Distribución de tamaños de las partículas en el agua

2.1.2 TIPOS DE COLOIDES DE ACUERDO CON SU COMPORTAMIENTO EN EL AGUA

En el tratamiento del agua, es común referirse a los sistemas coloidales como hidrófobos o suspensiones cuando repelen el agua, e hidrófilos o emulsores cuando presentan afinidad con ella.

Obviamente los coloides hidrófobos no repelen completamente al agua, pues una película de ella es absorbida por los mismos. En los sistemas coloidales hidrófobos, las propiedades de la superficie de las partículas son muy importantes, principalmente en las aguas naturales, que pueden contener varios tipos de arcillas.

Las arcillas y algunos óxidos metálicos son coloides hidrófobos muy importantes en el tratamiento del agua. Se caracterizan por ser termodinámicamente inestables con respecto a la formación de grandes cristales no coloidales.

Los coloidales hidrofílicos comprenden soluciones verdaderas, ya sea de moléculas grandes o de agregados de moléculas pequeñas (llamados micelas), cuyas dimensiones están dentro de los límites coloidales, abarcan varios polímeros tanto sintéticos como naturales y numerosas sustancias de significación biológica como proteínas, ácidos nucleicos, almidones y otras macromoléculas. Las diferencias de opinión entre los investigadores sobre la naturaleza si consideramos que el color orgánico es un coloide hidrofílico compuesto de moléculas grandes en solución. Las soluciones de coloides hidrofílicos y las de moléculas más pequeñas difieren únicamente en que, por su tamaño, las moléculas pequeñas o micelas tienen diferentes propiedades y suponen distintas técnicas de estudio.

2.1.3 PROPIEDADES DE LOS COLOIDES

Desde el punto de vista físico, las arcillas son cristales con una estructura atómica reticular. La mayoría de ellas pueden caracterizarse por dos clases de estructuras.

Las principales propiedades que definen el comportamiento de los coloides en el agua son las cinéticas, ópticas, de superficie y electrocinéticas.

2.1.3.1 PROPIEDAD CINÉTICA

Las cinéticas con las propiedades que definen el comportamiento de las partículas coloidales referidas a su movimiento en el agua.

a) MOVIMIENTO BROWNIANO.

Las partículas coloidales, dentro de la fase líquida, presentan un movimiento constante e irregular, que se ha denominado movimiento browniano. Su nombre proviene de su descubridor el botánico escocés Robert Brown (1773 – 1858), quien observó por primera vez bajo el microscopio este movimiento constante en las partículas provenientes del polen.

La teoría cinética explica este fenómeno como resultado del bombardeo desigual y casual de las partículas en suspensión por las moléculas del líquido. Al elevarse la temperatura del líquido, las moléculas adquieren mayor energía cinética y aumenta el movimiento browniano.

El promedio de velocidad de las partículas puede expresarse con la fórmula siguiente:

$$V = \frac{R}{N} \quad T/m$$

Donde:

R = constante molar de los gases = PV/T

N = número de Avogadro ($6,02 \times 10^{23}$)

T = temperatura absoluta ($^{\circ}\text{K}$)

m = masa de la partícula

El valor $R/N = K$ es comúnmente llamado constante de Boltzman

Es importante recordar que el movimiento browniano solo puede explicar la estabilidad de las dispersiones coloidales más pequeñas. Para tamaños de partículas mayores, los factores más importantes son las corrientes de convección termal y las velocidades bajas de sedimentación.

b) DIFUSIÓN

Debido al movimiento browniano es decir, al movimiento constante de las moléculas o partículas en el agua, las partículas coloidales tienden a dispersarse por todas partes en el sistema hídrico. A este fenómeno se le llama difusión.

Como es de esperarse, la velocidad de difusión es menor que la velocidad media de las partículas en el movimiento browniano.

c) PRESION OSMOTICA

La osmosis es el flujo espontaneo que se produce cuando un disolvente (agua) atraviesa una membrana que la separa de un sistema coloidal (agua + coloides). Esta membrana es permeable al solvente pero no a los coloides por tanto, la dilución puede ocurrir únicamente con el movimiento del solvente hacia el sistema coloidal a través de la membrana.

Este fenómeno ocurre en forma espontanea. Al transporte del solvente hacia la solución se le denomina flujo osmótico.

A la presión hidrostática necesaria para detener el flujo osmótico, que alcanza así un estado de equilibrio, se le denomina presión osmótica.

En la práctica es posible calcular el número de partículas y el peso promedio de ellas en sistemas coloidales mediante la determinación experimental de la presión osmótica

2.1.3.2 PROPIEDAD ÓPTICA: EFECTO TYNDALL – FARADAY

El efecto Tyndall – Faraday es un fenómeno por el cual las partículas coloidales producen la dispersión de la luz cuando esta pasa a través de una suspensión coloidal. Esta dispersión es directamente proporcional al tamaño de las partículas.

La determinación nefelométrica de la turbiedad utiliza el efecto de Tyndall – Faraday para su medición. Cabe destacar, sin embargo, que por la naturaleza de la medición, la turbiedad no se relaciona con el número de partículas que la provocan, ni siquiera con la masa total.

2.1.3.3 PROPIEDAD DE SUPERFICIE: ADSORCIÓN

Como se puede comprobar en el cuadro 1, las partículas coloidales se caracterizan por tener una gran superficie específica, definida como la relación entre el área superficial y la masa. Nótese el efecto de la disminución del tamaño de las esferas sobre el área total superficial y el tiempo de sedimentación requerido. La gran superficie específica da a los coloides una gran capacidad de adsorción y por tanto, no resulta práctico sedimentar las partículas coloidales sin tratamiento químico previo.

Cuadro 1. Efecto al disminuir el tamaño de las esferas

Diámetro de la partícula (mm)	Escala de tamaños	Área superficial (cm) ²	Tiempo requerido para sedimentación
10	Grava Arena	3,15 cm ²	0,3 s
1	Gruesa Arena fina	31,50 cm ²	3,0 m/s
0,1	Sedimento	315,00 cm ²	38,0 s
0,01	Bacteria	3,150,00 cm ²	33,0 min
0,001	Partícula coloidal	3,15 m ²	55,0 horas
0,0001	Partícula coloidal	31,50 m ²	230,0 días
0,00001	Partícula coloidal	0,283 ha	6,3 años
0,000001		2,83 ha	63,0 años

a = Área de partículas del tamaño indicado producido a partir de una partícula de 100 mm de diámetro y gravedad específica de 2,65

b = Cálculos basados en esfera con gravedad específica de 2,85 que sedimentan 30 cm.

2.1.3.4 PROPIEDAD ELECTROKINETICA: ELECTROFORESIS.

La electroforesis es un fenómeno que permite demostrar que las partículas coloidales tienen carga eléctrica. Consiste en hacer pasar una corriente directa a través de una solución coloidal experimento que permite observar que las partículas son atraídas por el electrodo positivo o por el negativo, lo que demuestra que poseen carga eléctrica. Este fenómeno es muy importante porque permite comprender la estabilidad de las dispersiones coloidales. Por lo general, los coloides presentan carga negativa; es decir, en la electroforesis son atraídos por el electrodo positivo.

Una celda de electroforesis permite calcular el potencial zeta de un sistema coloidal, que es una función de la densidad de las cargas absorbidas, y se mide en mil voltios. Frecuentemente, el potencial zeta se encuentra entre 30 y

40 mil voltios, cuando un coloide es estable. Cuando cae a menos de 15 o 20 mil voltios, es posible la coagulación y el coloide tiende a sedimentar.

2.1.4 ESTABILIDAD E INESTABILIDAD DE COLOIDES

Las suspensiones coloidales están sujetas o ser estabilizadas y desestabilizadas.

Entre las fuerzas de estabilización o repulsión podemos mencionar las siguientes:

- a) La carga de las partículas
- b) La hidratación que generalmente es importante para los coloides hidrofílicos, aunque tienen menor importancia en este caso.

Los factores de atracción o desestabilización son los siguientes:

- a) La gravedad. Es insignificante en la desestabilización de las partículas coloidales y por lo tanto, no se trata con mayor detalle.
- b) El movimiento browniano. Permite que las partículas entren en contacto, lo que constituye un requerimiento para la desestabilización.
- c) La fuerza de Van der Waals. Una fuerza débil de origen eléctrico, postulada por primera vez por el químico holandés Johannes Diderick van der Waals. Es un factor muy importante, pues constituye la principal fuerza atractiva entre las partículas coloidales.

Estas fuerzas siempre atractivas, que decrecen rápidamente con la distancia, se deben a la interacción de dipolos permanentes o inducidos en las partículas.

2.1.4.1 CARGA ELÉCTRICA DE LOS COLOIDES, FUERZA DE ESTABILIZACION

En el agua, la mayor parte de las partículas y moléculas de sustancias húmicas poseen superficie cargada eléctricamente, usualmente negativa y dependiente de tres procesos.

2.1.4.2 LA DOBLE CAPA ELECTRICA

El sistema coloidal no presenta carga eléctrica "liquida" debido a que la carga de superficie negativa es balanceada con los iones de carga contraria presentes en el agua. La figura 2 muestra una representación esquemática de una partícula coloidal negativa con una nube de iones alrededor de la misma como la superficie de la superficie es negativa, hay un cumulo de iones positivos en la región de interfaz (solido – liquido) que forman, junto con la carga negativa de la partícula, la doble capa eléctrica, también denominada capa compacta. Los iones negativos se aproximan a la capa compacta y atraen iones positivos, a si se forma la capa difusa, que engloba a la primera.

En realidad, la capa difusa resulta de la atracción de iones positivo, de la repulsión electrostática de iones negativos (con la misma carga de la partícula) y la difusión térmica.

Se tiene, por tanto, una concentración elevada de iones positivos próximos a la superficie del coloide, también denomina capa de Stern, a partir de la cual se forma la capa difusa, en la cual la concentración de iones es menor.

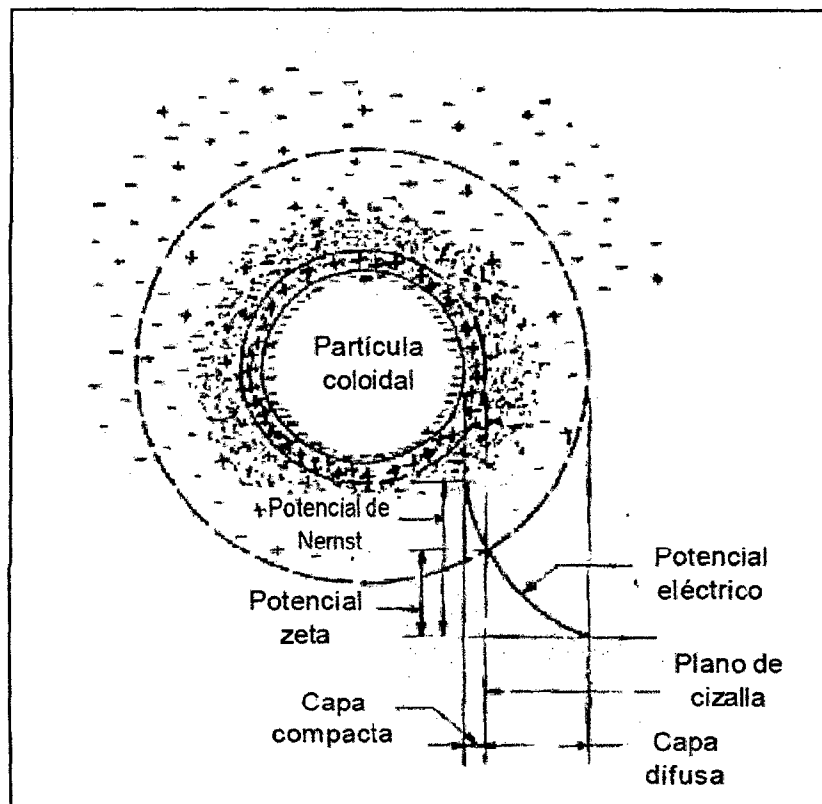


Figura 2: Configuración esquemática de la doble capa eléctrica

2.2 MECANISMO DE COAGULACION

Como se ha visto anteriormente, las partículas coloidales, las sustancias húmicas y algunos microorganismos presentan una carga negativa en el agua, lo cual impide la aproximación de las mismas. En el tratamiento del agua será necesario alterar esta fuerza iónica mediante la adición de sales de aluminio o de hierro o de polímeros sintéticos que provoquen el fenómeno de la coagulación.

2.2.1 COMPRESION DE LA DOBLE CAPA.

Este modelo físico de doble capa puede explicar el fenómeno de la desestabilización de un coloide por un coagulante y la figura 2 ayuda a explicar el fenómeno de desestabilización, la curva de atracción de Van der Waals es fija mientras que la de repulsión eléctrica disminuye si se incrementa en la solución los iones de carga opuesta. En consecuencia, si se reduce el potencial repulsivo, decrece también la curva resultante de interacción. Por lo tanto, las

partículas pueden acercarse suficientemente para ser desestabilizadas por la energía atractiva de Van der Waals.

La introducción de un electrolito indiferente en un sistema coloidal causa un incremento de la densidad de cargas en la capa difusa y disminución de la "esfera" de influencia de las partículas, y ocurre la coagulación por compresión de la capa difusa. Concentraciones elevadas de iones positivos y negativos (fuerza iónica grande) en el agua acarrearán un incremento del número de iones en la capa difusa que para mantenerse eléctricamente neutra, necesariamente tiende a reducir su volumen, de modo tal que las fuerzas de Van der Waals sean dominantes y se elimine la estabilización electrostática. Un ejemplo típico de este mecanismo ocurre cuando aguas dulces con fuerza iónica pequeña se mezclan con agua de mar, lo que promueve la formación de depósitos en las desembocaduras. Cabe destacar dos aspectos interesantes sobre ese mecanismo de coagulación.

- a) La concentración del electrolito que causa la coagulación es prácticamente independiente de la concentración de coloides en el agua.
- b) Es imposible causar la reestabilización de las partículas coloidales con la adición de mayores cantidades de electrolitos debido a que ha ocurrido una reversión de la carga de las mismas, que pasa a ser positiva.

Schultze – Hardy han demostrado que la desestabilización de un coloide por un electrolito indiferente (que no reacciona en el agua) ocurre debido a interacciones electrostáticas: iones de misma carga son repelidos y los de carga contraria son atraídos por los coloides. Por lo general la mayor carga de un ion positivo está en relación directa con la coagulación. A los electrolitos responsables de la desestabilización se les denomina contraponos. Las concentraciones de Na^+ , Ca^{++} y Al^{+++} que se requieren para desestabilizar un coloide con carga negativa varían aproximadamente en la proporción de 900:30:1. La figura 3 muestra la relación de la turbiedad residual y la dosis de coagulante para un agua natural tratada con soluciones que contienen iones Na^+ , Ca^{++} y Al^{+++} .

Cabe destacar que si bien este mecanismo puede explicar la acción de iones de sodio y calcio, que son iones indiferentes, no es válido para la acción del aluminio, porque este último no es un electrolito indiferente, sino que reacciona tanto con el agua como con la alcalinidad.

Por tanto el modelo físico de doble capa presenta limitaciones para explicar el fenómeno de coagulación.

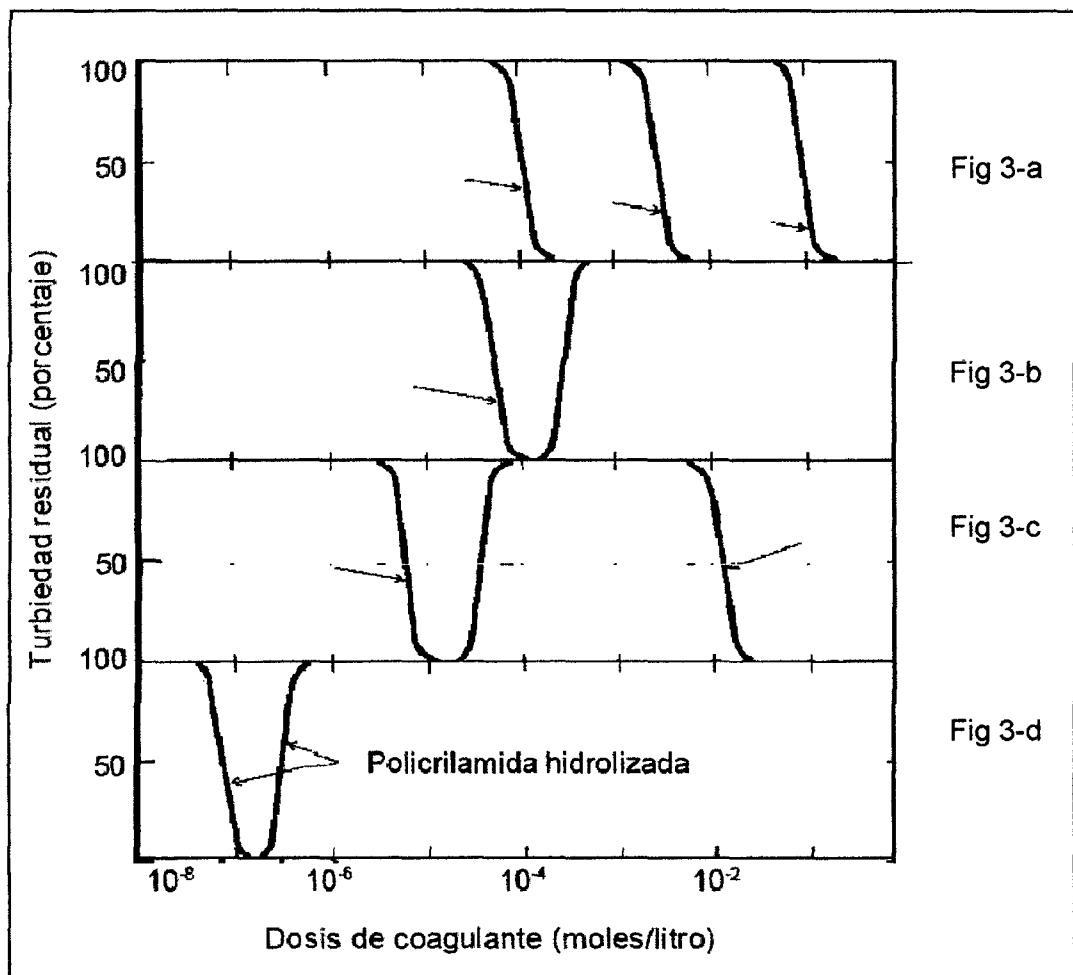


Figura 3. Curvas esquemáticas de coagulación para varios tipos de coagulantes

2.2.2 ADSORCION Y NEUTRALIZACIÓN DE LA CARGA.

La desestabilización de una dispersión coloidal constante en las interacciones entre coagulante – coloide, coagulante – solvente y coloide – solvente.

El efecto de adsorción y neutralización de la carga se encuentra estrechamente ligado al de compresión de la doble capa.

La figura 3 muestra las curvas esquemáticas turbiedad residual versus dosis de coagulante para diversos coagulantes.

Un ejemplo de desestabilización por medio de la adsorción y neutralización de la carga es la coagulación del yoduro de plata con carga negativa por medio de iones orgánicos de dodecilamonio ($C_{12}H_{25}NH_3$). La curva que se presenta en la figura 3 (b) se basa en un trabajo experimental.

Se podría deducir que los iones dodecilamonio por tener carga +1, deberían ser capaces de inducir una coagulación similar a la del Na^+ (figura 3(a)). Sin embargo, existen dos diferencias muy importantes: mientras los iones de sodio producen la coagulación únicamente en concentraciones muy altas y no practicas (mayores a 10^{-1} moles/l), los iones de dodecilamonio producen la desestabilización en concentraciones tan bajas como 6×10^{-5} moles por litro y la reestabilización con dosis de coagulante mayores de 4×10^{-4} moles por litro. El comportamiento de los iones de dodecilamonio (figura 3[b]) puede explicarse si se considera que esta amina orgánica $C_{12}H_{25}NH_3$. Es una sustancia activa en la superficie de los coloides, que se acumulan en las interfaces y los grupos $-CH_2$

En las cadenas alifáticas de la molécula no interactúan con el agua y, por lo tanto, son llevados fuera de la solución y dentro de las partículas coloidales lo que causa su desestabilización. En cambio, los iones sodio tienen interacción con el agua y, por lo tanto, no tienen superficie activa.

La figura 3 (c) ilustra los efectos de la adsorción en la estabilidad de los coloides se ha trazado una curva de la turbiedad residual después de la

sedimentación como función de la dosis de sales de aluminio con pH constante (pH = 5). Esta curva se basa, en parte, en los experimentos de Matjevic y otros. Se puede ver que la coagulación con sales de aluminio puede realizarse con dosis bajas (6×10^{-6} moles) o 4 mg/l de alumbre.

También se realiza con dosis mayores (4×10^{-5} moles/l) ó 25 mg/l de alumbre), y es acompañada por reversión de carga. Finalmente se observa nuevamente coagulación con dosis aun mas altas.

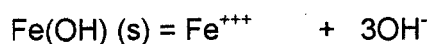
Este fenómeno se explica claramente si se toman en cuenta las reacciones que ocurren al agregar sal de aluminio al agua. Los complejos hidrolizados (Monoceros, dímeros, polímeros), formados con dosis bajas de Al (III). Pueden ser absorbidos por los coloides, lo que provoca la desestabilización. Si se agrega mas Al(III) al agua, los coloides pueden reestabilizarse con carga positiva.

En resumen, en la figura 3 (b), es probable que las interacciones coagulante – solvente (amina – agua) sean responsables de la adsorción del coagulante en la interfaz coloide-agua. En el caso de las especies hidrolizadas de aluminio y fierro o de polímeros sintéticos catiónicos, es común que ocurra la adsorción específica, causada por la interacción entre coagulante y coloide. En las curvas de la figura 3 (b, c, d) el fenómeno de adsorción es dominante.

2.2.3 CAPTURA EN UN PRECIPITADO DE HIDROXIDO METALICO CAPTURA POR BARRIDO.

Cuando la dosis de un coagulante de sales metálicas en solución como el $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ y FeCl_3 excede el producto de solubilidad de sus hidróxidos metálicos como el $\text{Al}(\text{OH})_3$ y el $\text{Fe}(\text{OH})_3$, se produce una precipitación rápida de los hidróxidos gelatinosos que explica el fenómeno de remoción de turbiedad en la figura 3 (c). En este caso, las partículas coloidales son envueltas por los precipitados y como este mecanismo no depende de la neutralización de la carga de los coloides, la condición óptima de la coagulación puede no corresponder a aquella donde es mínimo el potencial zeta.

Si se toma como ejemplo la sal de hierro, el producto de solubilidad del hidróxidoférrico puede expresarse de la siguiente manera:



$$(\text{Fe}^{+++}) (\text{OH}^-)^3 = K = 10^{-38}$$

Donde:

(Fe^{+++}) y (OH^-) = concentración molar de iones hidróxidos y férricos en solución. K_{ps} = producto de solubilidad de $\text{Fe(OH)}_3 (\text{s})$ amorfo

En consecuencia cuanto menor sea el K_{ps} , la precipitación será mas rápida. La velocidad de precipitación de un hidróxidometálico depende del grado de sobresaturación. El grado de sobresaturación puede describirse con la razón $(\text{Fe}^{+++}) (\text{OH}^-)^3 / 10^{-38}$. Para que ocurra una precipitación rápida, esta relación debe ser mayor de 100.

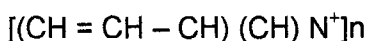
El mecanismo de barrido, definido por Stumm y O'Melia como sweep coagulation, es ampliamente utilizado en las estaciones de tratamiento donde la floculación y la sedimentación anteceden a la filtración pues los flóculos resultantes son de mayor tamaño y presentan velocidades de sedimentación relativamente altas en comparación con los que se obtienen con la coagulación por adsorción – neutralización.

En este caso, la presencia de otros aniones, aparte de los hidróxidos, particularmente el sulfato es efectiva para aumentar la velocidad de precipitación. Por otro lado, puesto que las partículas coloidales pueden servir como núcleos para formar precipitados, un aumento en la concentración de partículas coloidales puede favorecer la precipitación.

2.3 ADSORCION Y PUENTE INTERPARTICULAR

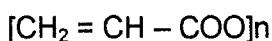
a) Catiónicos: presentan sitios ionizables positivo

Ejemplo poliacrílico – dimetil amonio



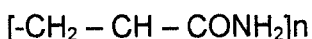
b) Aniónicos: presentan sitios ionizables negativos

Ejemplo: ácido poliacrílico



c) No iónicos: no presentan sitios ionizables

Ejemplo: Poliacrimida



d) Anfóliticos: presentan sitios ionizables positivos y negativos

Se ha observado que muchas veces los polímeros con carga negativa son efectivos para coagular coloides con carga negativa, fenómeno que lo puede ser explicado de acuerdo con modelos basados en la neutralización de cargas. Se ha desarrollado la teoría del “puente” que, al menos, explica cualitativamente este fenómeno (La Mer y Healy, 1963; Smelle y La Mar, 1958).

La figura 4 describe gráficamente la teoría de La Mer:

Reacción 1. Un polímero tiene ciertos grupos que interaccionan con la superficie de las partículas coloidales y se deja que el resto de la molécula se extienda hacia la solución.

Reacción 2. Si una segunda partícula con algunos sitios de adsorción vacíos entra en contacto con los segmentos extendidos, puede realizarse una unión. El polímero sirve de puente en el complejo partícula – polímero – partícula.

Reacción 3. Si no se dispone de una segunda partícula, los segmentos dispersos del polímero pueden eventualmente adsorberse en otros lados de la

partícula original, lo que hace imposible que el polímero sirva de puente y se produce la reestabilización de las partículas.

Si se comparan las figuras 3(b) y 3(d), se puede notar que la poliacrilamida hidrolizada induce la coagulación con concentraciones más bajas que el Al^{+++} y también que ocurre la reestabilización por exceso de coagulante. Debido a que tanto el coloide como el polímero tienen la misma carga, no se puede atribuir la reestabilización a la reversión de cargas, como en el caso de iones dodecilamonio (figura 3[b])

Reacción 4. El modelo de puente puede explicar cualitativamente la reestabilización como resultado de la saturación de las superficies coloidales por el polímero, sin dejar lugar para la formación de puentes interparticulares.

Reacciones 5 y 6. En algunos casos, los sistemas coloidales desestabilizados pueden ser reestabilizados por medio de agitación intensa debido a que se rompen las uñas polímero – superficie, y ocurre una adsorción secundaria de los fragmentos de los flocúlos.

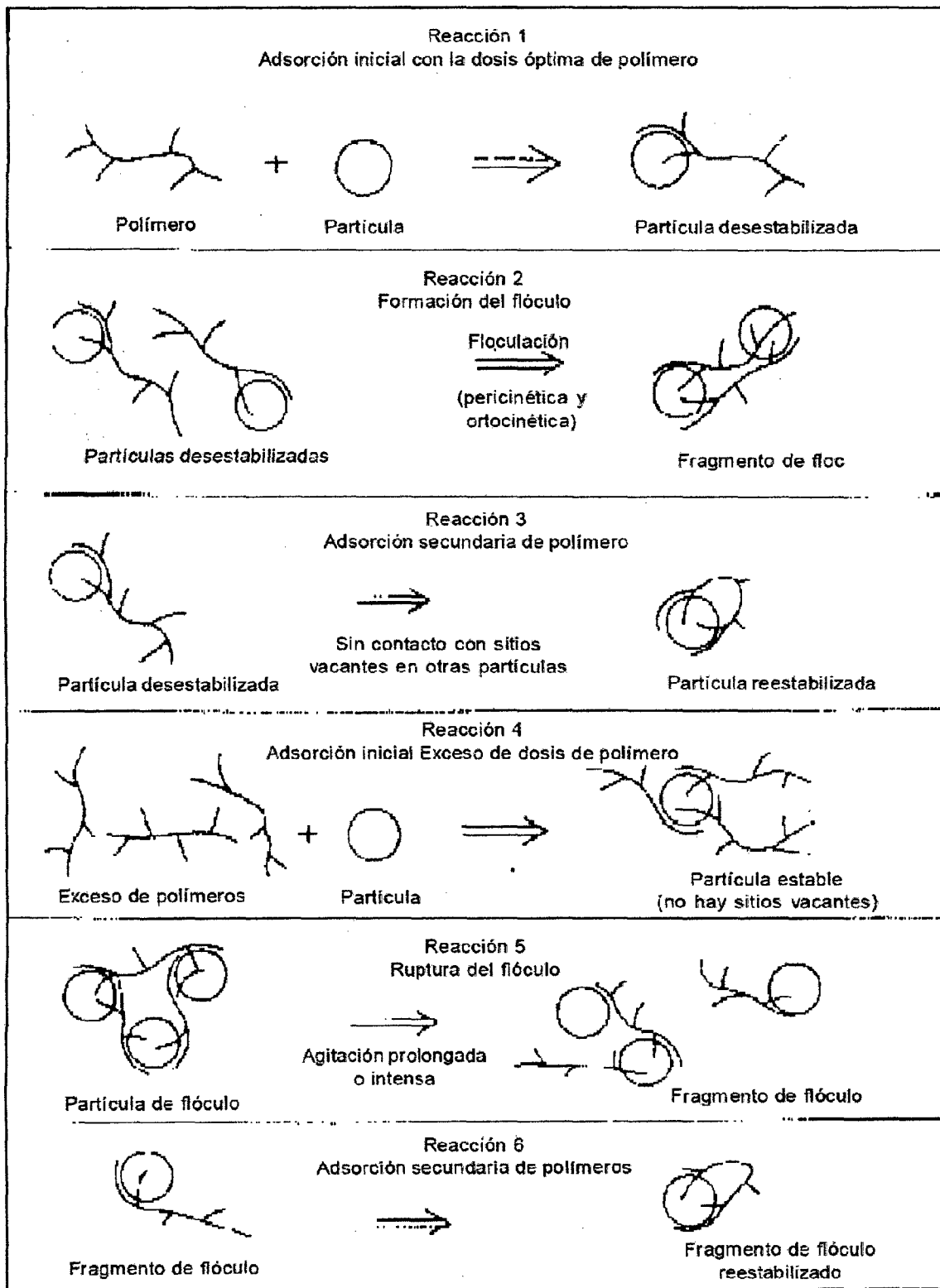


Figura 4. Representación esquemática para el modelo de puentes en la desestabilización de coloides mediante polímeros

2.4 CINÉTICA O ETAPAS DE LA COAGULACIÓN

Considerando la discusión teórica que antecede, Stumm y O'Melia identificaron varias etapas en el proceso de coagulación.

- a) Hidrólisis de los iones metálicos multivalentes y su consecuente polimerización hasta llegar a especies hidrolíticas multinucleadas.
- b) Adsorción de las especies hidrolíticas en la interfaz de la solución sólida para lograr la desestabilización del coloide.
- c) Aglomeración de las partículas desestabilizadas mediante un puente entre las partículas que involucra el transporte de estas y las interacciones químicas.
- d) Aglomeración de las partículas desestabilizadas mediante el transporte de las mismas y las fuerzas de Van der Waals.
- e) Formación de los flóculos
- f) Precipitación del hidróxidometálico

Algunas de estas etapas ocurren secuencialmente. Otras coinciden parcialmente y otras incluso pueden ocurrir simultáneamente. Se puede suponer que las diferentes etapas de la reacción pueden resultar controlables en un cierto porcentaje, bajo diversas condiciones químicas (figura 5).

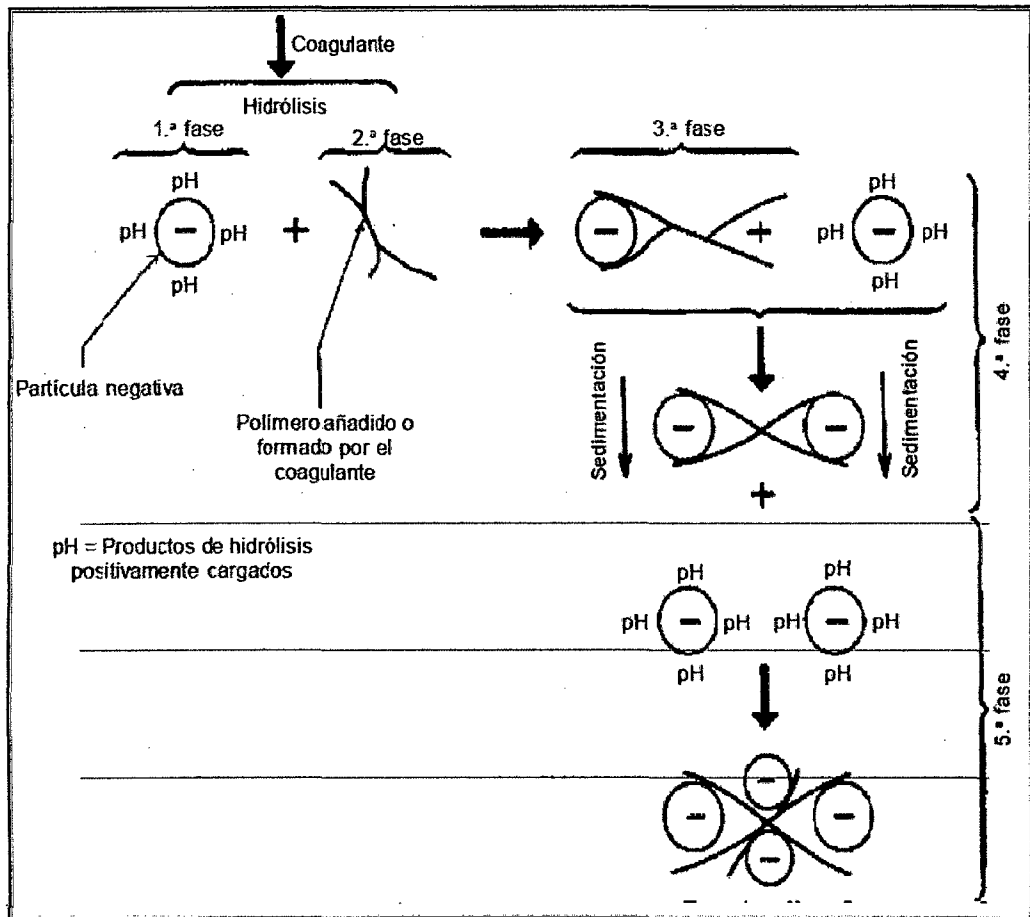


Figura 5. Modelo esquemático del proceso de coagulación

2.5 MECANISMO DE COAGULACION PREDOMINANTES

La coagulación mediante sales inorgánicas se produce predominantemente por medio de dos mecanismos:

- Adsorción de las especies hidrolíticas y por el coloide, lo que provoca la neutralización de la carga, y
- Coagulación de barrido, en la que se producen las interacciones entre el coloide y el hidróxido precipitado.

2.5.1 COAGULACION POR ADSORCIÓN

Cuando se agrega sulfato de aluminio o sales de hierro el agua en condiciones especiales de dosis de coagulante y pH, se forma una serie de especies solubles hidrolizadas.

En el caso del sulfato de aluminio, las especies hidrolizadas que se forma son: Al_3^+ , $\text{Al}(\text{OH})_2^+$, $\text{Al}(\text{OH})_4^+$ y $\text{Al}(\text{OH})_3$, los cuales son tomadas a menudo para representar todo el sistema. Estas especies hidrolizadas se adhieren o forman complejos superficiales con los grupos Silanol ($=\text{SiOH}$) y el coloide y lo desestabilizan, lo que permite la formación de floculos (figura 6)

Este mecanismo es denominada neutralización de carga (también se lo llama desestabilización – absorción)

Cuando la cantidad de coloides presentes en el agua es grande, la distancia entre ellos es grande. Por lo tanto es mayor la fuerza de atracción y la energía requerida para su desestabilización menor, a si como el potencial zeta resultante (figura 7).

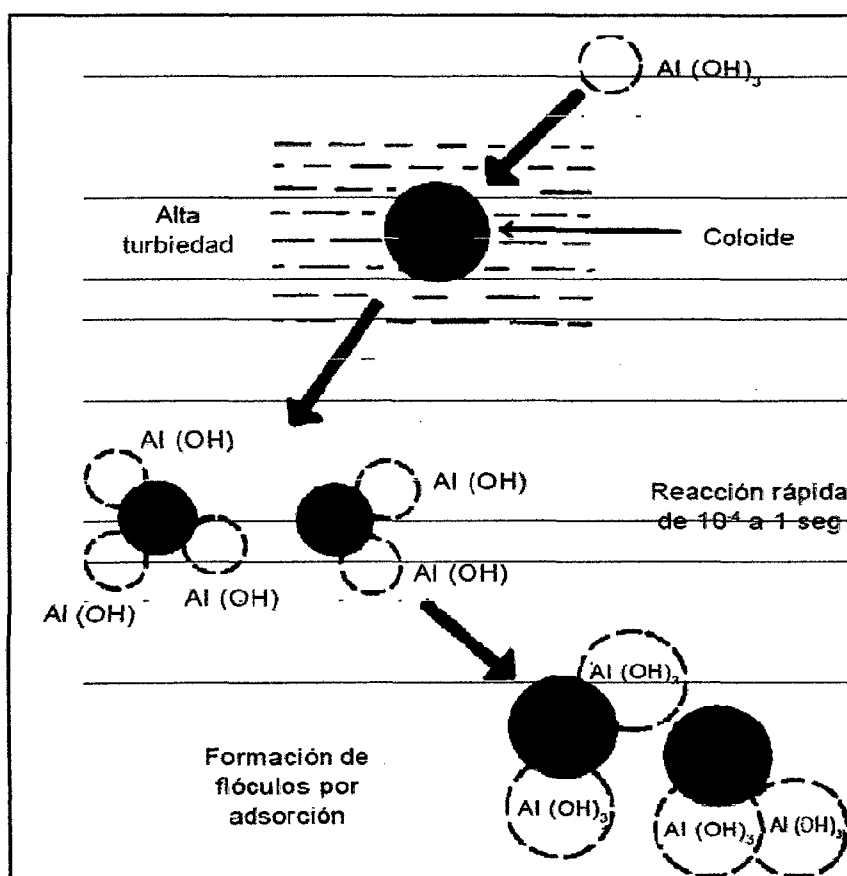


Figura 6. Coagulación por adsorción

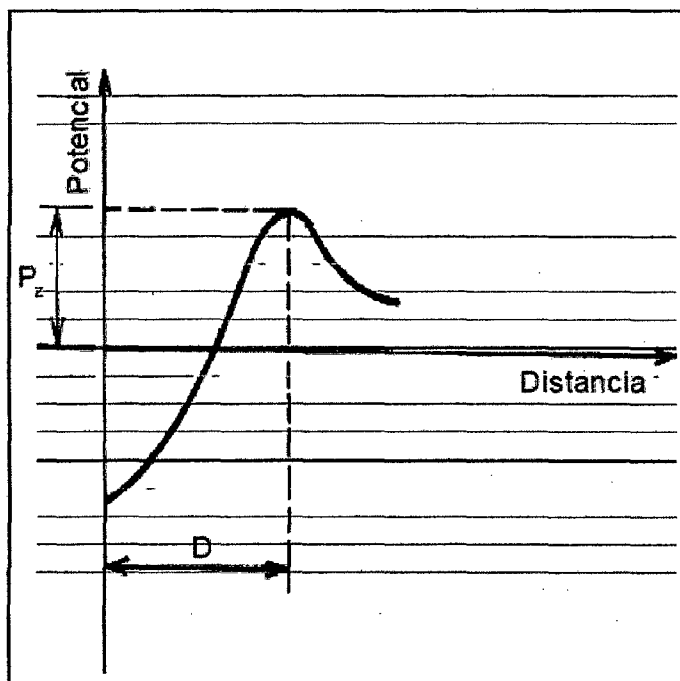


Figura 7. Potencial zeta en la coagulación por adsorción

2.5.2 COAGULACION POR BARRIDO

Con dosis de alúmina suficientemente altas, se forma un precipitado de hidróxido de aluminio que físicamente arrastra de la suspensión a las partículas coloidales, por lo que se denomina coagulación por barrido. Este mecanismo se muestra esquemáticamente en la (figura 8), donde se evidencia que la coagulación de las partículas coloidales en el tratamiento del agua es controlada principalmente por la química del hidróxido del aluminio y sus especies hidrolíticas precursoras.

Este tipo de coagulación se presente normalmente cuando el agua es clara y el porcentaje de partículas coloidales es pequeño. En este caso, las partículas son atrapadas al producirse una sobre saturación de precipitado de hidróxido de aluminio.

Debido a que las distancias entre las partículas es mayor, las fuerzas de atracción son menores y se requiere mayor cantidad de coagulante y

energía para desestabilizarse, lo que aumenta el potencial zeta y el tiempo de reacción, que puede llegar hasta 7 segundos (figura 9)

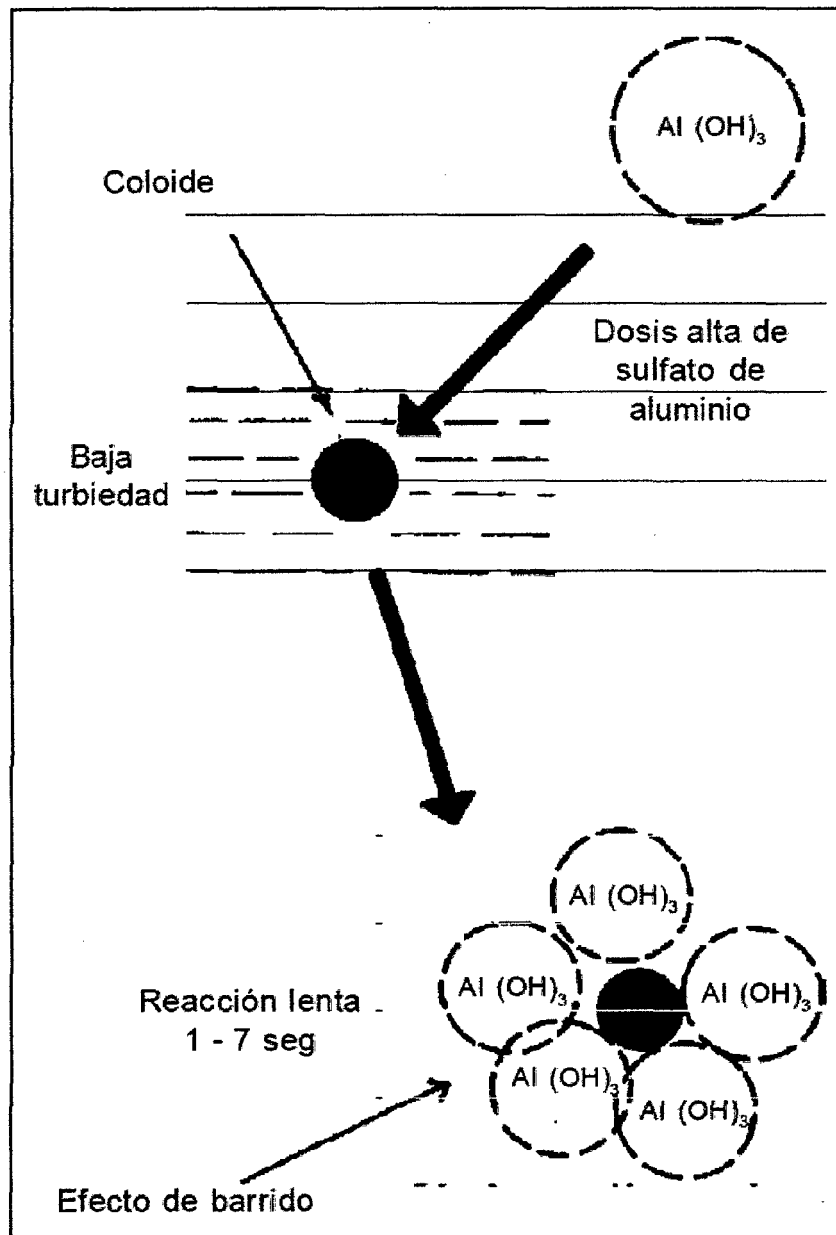


Figura 8. Coagulación de barrido o arrastre de partículas

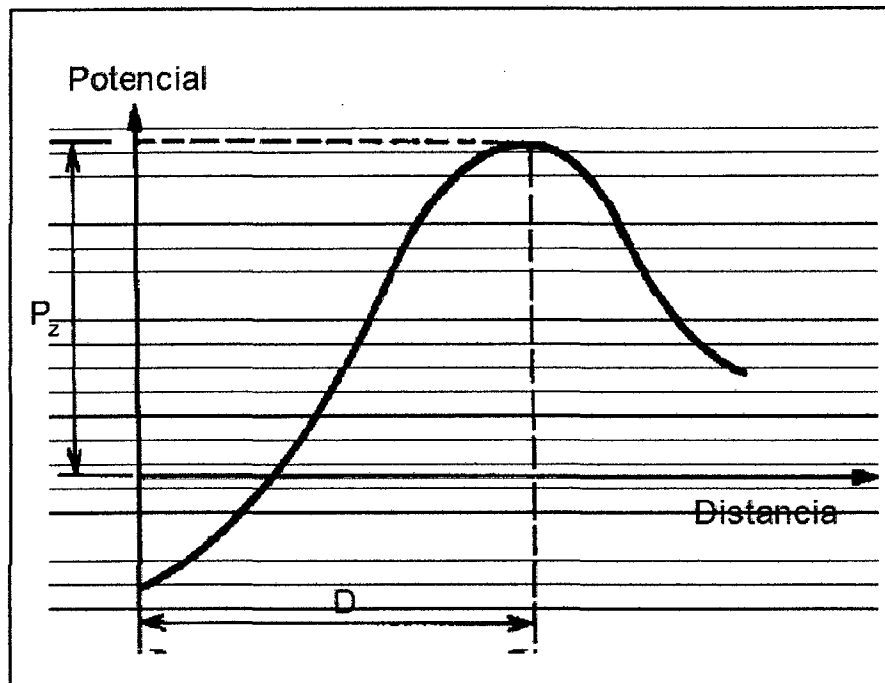


Figura 9. Potencial zeta en la coagulación por barrido

2.6 FACTORES QUE INFLUYEN EN EL PROCESO DE COAGULACIÓN

2.6.1 INFLUENCIA DE LA CONCENTRACIÓN DEL COAGULANTE

Existe mucha especulación respecto a la influencia de la concentración de solución de coagulante en la eficiencia del proceso de tratamiento; incluso se ha sugerido limitar la concentración mínima a valores del orden de 0,5% en las estaciones de tratamiento. Pero tal sugerencia contradice el procedimiento usual en la realización de ensayos de laboratorio que generalmente usan la solución de coagulante con una concentración de 0,1 y 0,2%, dependiendo del volumen de los frascos de los equipamientos de floculación (1 o 2 litros) y de las dosis previstas para los ensayos (Fuente: Tratamiento de Agua para Consumo Humano Plantas de Filtración Rápida, Manual I teoría, Tomo I Cap.4 – Coagulación. Pág.213)

2.6.2 LA CALIDAD DEL AGUA CRUDA

Las características del agua cruda que más influyen en la eficiencia del proceso son la concentración de coloides (medida normalmente mediante la cantidad de turbiedad o color presente en el agua), la alcalinidad y el pH, el tamaño de las partículas y la temperatura.

Se presentan cuatro soluciones diferentes dependiendo de las variaciones de coloides en el agua.

- a) Alta concentración de coloides y alcalinidad baja.
Es el sistema más fácil de tratar, ya que solo se debe determinar un parámetro químico la dosis óptima de coagulante. La desestabilización se realiza por medio de la adsorción de especies hidrolíticas con carga positiva que se producen instantáneamente con niveles de pH ácidos (pH 4 a 6, dependiendo del coagulante).
- b) Alta concentración de coloides y alcalinidad alta.
En este caso, la desestabilización se realiza nuevamente por medio de adsorción y neutralización de la carga con niveles de pH neutros o ácidos. La neutralización de la carga es más fácil, debido a que el pH permanece generalmente en la región neutral, donde los polímeros de hidróxidos metálicos no tienen carga muy alta.
- c) Baja concentración de coloides y alcalinidad alta.
La coagulación se realiza en este caso con una dosis de coagulantes relativamente alta para capturar las partículas coloidales como alternativa, se puede agregar arcilla o ventosa, para aumentar la concentración coloidal y el contacto interparticular. La desestabilización se realizaría en este caso, mediante la adsorción y la neutralización de la carga.

d) Baja concentración coloidal y alcalinidad baja

En estos sistemas la coagulación es más difícil. La coagulación por medio de captura se dificulta ya que el pH disminuye al agregar el coagulante y no permite la formación de hidróxidos. Asimismo, la coagulación por medio de adsorción también es difícil, ya que la concentración coloidal es demasiado baja para permitir el contacto interparticular. Para realizar una coagulación efectiva, deberá agregarse alcalinidad adicional y/o bentonita o preferentemente arcilla.

2.6.3 TEMPERATURA

Es importante en zonas de climas muy marcados principalmente cuando se alcanzan temperaturas de congelación.

Cahill y Fitz Patrick analizaron la influencia de este factor en un grupo de plantas de Chicago y establecieron dos regiones de variaciones muy marcadas, una entre 0 y 10°C y la segunda entre 10 y 40°C.

En la primera zona se encontró que los mecanismos dominantes eran la viscosidad del agua y el pH y que a medida que la temperatura del agua se acercaba a los 0°C la remoción de turbiedad se dificulta. Se desconocen las razones especificadas de este comportamiento. Se sabe que al aproximarse el agua a las temperatura de congelación se produce un efecto de ordenamiento de su estructura o de incremento de sus límites de hidrogeno, previo a su solidificación o formación de hielo. Este fenómeno podría estar impidiendo el acercamiento de las partículas para su desestabilización al anularse el movimiento browniano.

Adicionalmente la viscosidad del agua se incrementa al disminuir la temperatura y como esta es inversamente proporcional a la agitación pericinética de las partículas al fenómeno de transporte también disminuye las partículas con un tamaño menor de un micrómetro necesitan agitación pericinética para conseguir aglomeración inicial hasta alcanzar el diámetro de un micrómetro, antes de llegar a este tamaño la floculación homocinética es totalmente

ineficiente, puesto que el transporte se anula. El porcentaje de remoción disminuye porque la floculación ortocinética sola (agitación exterior de la masa de agua) no es capaz de conseguir la aglomeración de las partículas pequeñas.

También el rango de pH óptimo varía con la temperatura, y decrece al disminuir esta.

En el rango de 10-40°C se encontró que la eficiencia era cada vez mejor al aumentar la temperatura porque se incrementaba la tasa de colisiones entre las partículas. Dentro de este rango, son importantes la turbiedad y la alcalinidad.

2.6.4 VARIABLES QUIMICAS

a) DOSIS ÓPTIMA

La influencia de este factor en la eficiencia del proceso se encuentra claramente definida en la figura 10, en la cual se presentan cuatro curvas de variación de la turbiedad residual en función de la dosificación de coagulante con pH constantes. Estas curvas están basadas en aguas naturales tratadas con sales de aluminio o hierro (III), que contiene grandes concentraciones de materia coloidal.

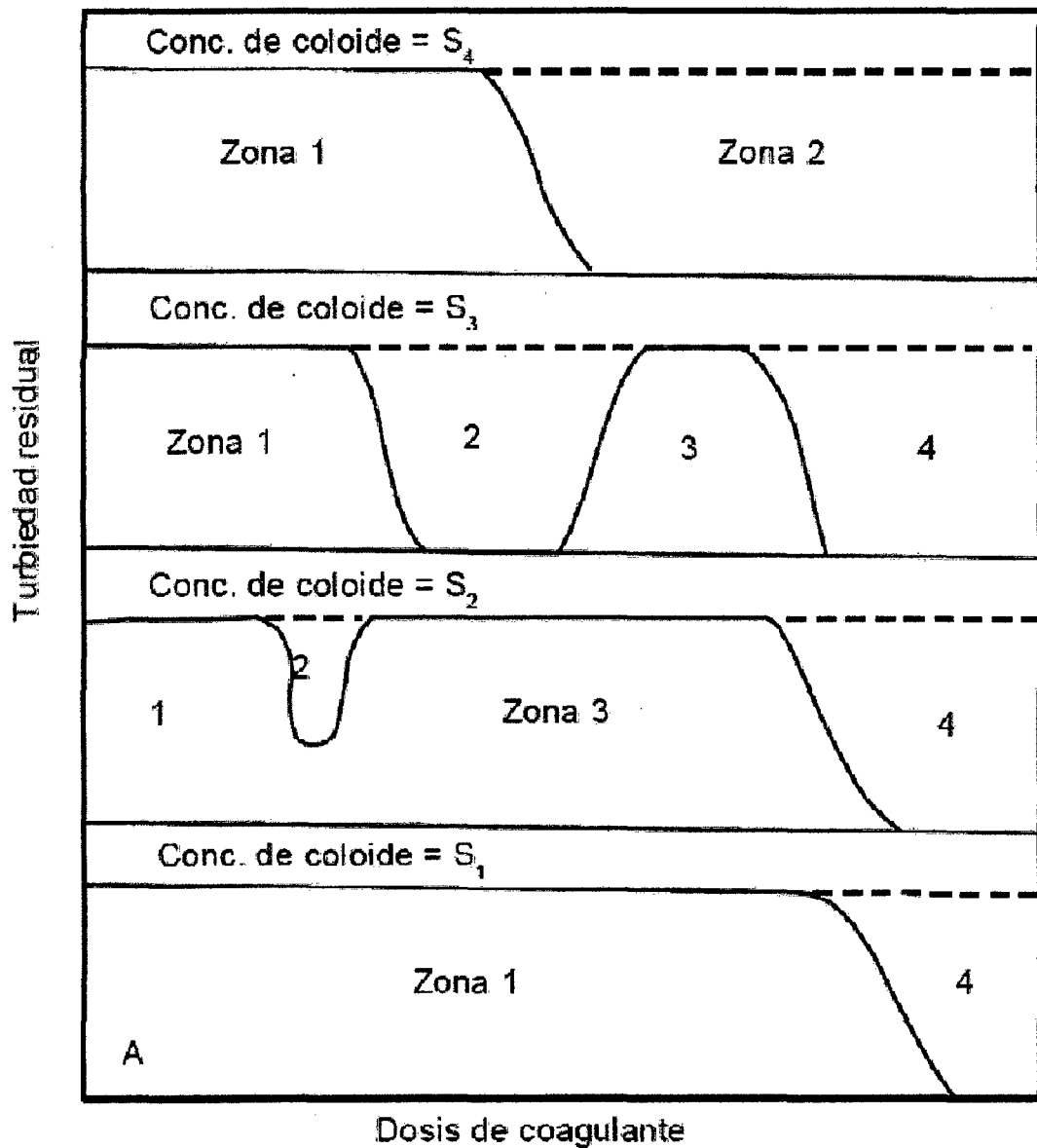


Figura10. Representación esquemática de la coagulación observada en ensayos de jarras usando sales de aluminio (III) a un pH constante

Las curvas de coagulación pueden dividirse en cuatro zonas:

La zona 1 corresponde a dosis bajas, donde se ha agregado coagulante en cantidad insuficiente para realizar la desestabilización.

La zona 2 corresponde a dosis un poco más altas, donde se realiza la desestabilización y el floculo precipita.

La zona 3, donde dosis aún más altas pueden reestabilizar la dispersiones con ciertos valores de pH.

La zona 4, que tiene gran cantidad de hidróxido de aluminio (o hierro), actual de tal forma que captura las partículas coloidales (coagulación por barrido)

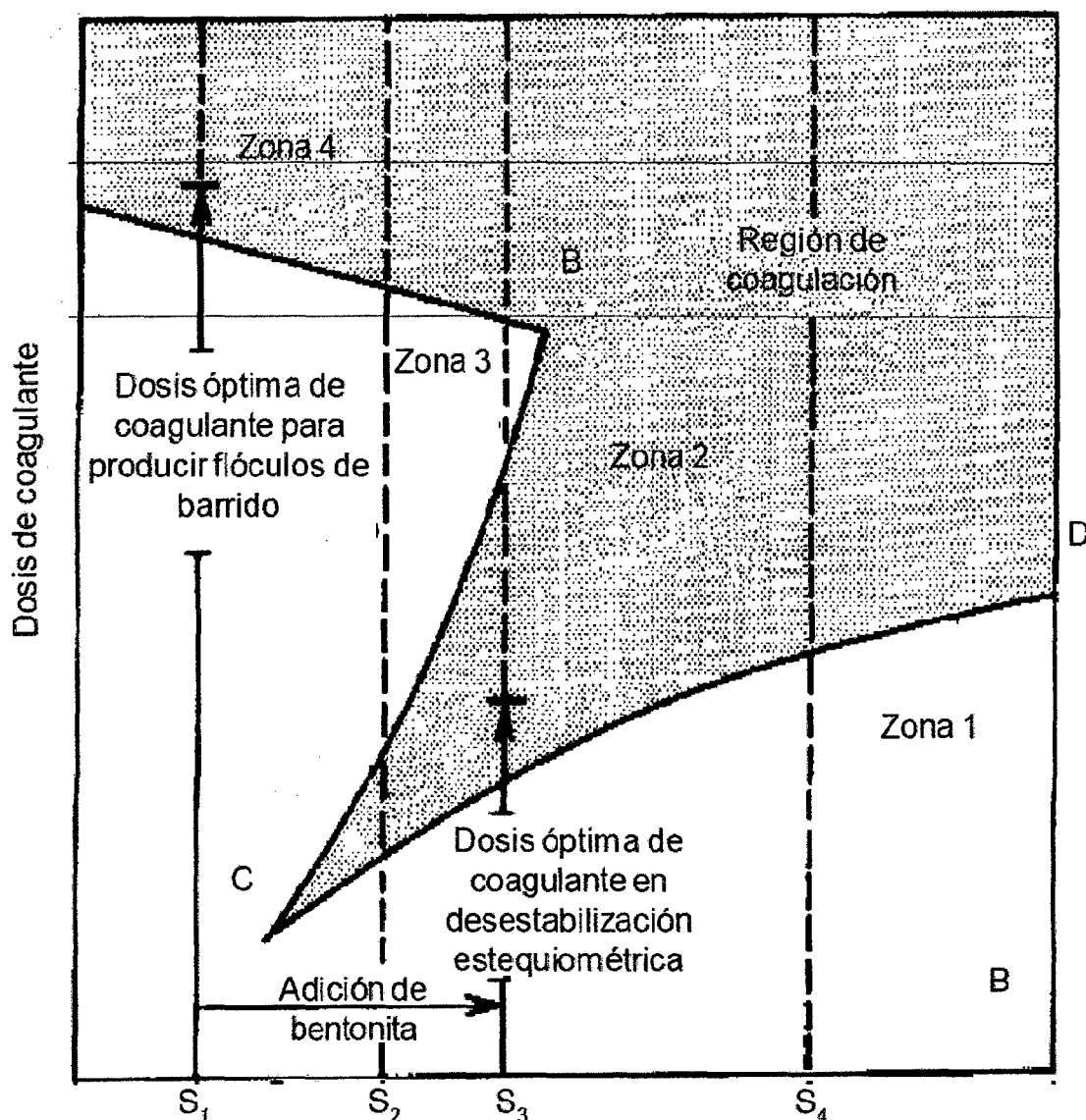


Figura 11. Concentración de coloide, expresada como concentración de superficie

La figura 11 presenta la reacción entre la dosis de coagulante y la concentración coloidal (m^2/l) con pH constantes. Las concentraciones bajas de coloide (S_1 en la figura 11) requieren la producción de grandes cantidades de precipitado de hidróxido amorfo. En tales casos, cuando la turbiedad del agua es baja, no hay suficientes películas en suspensión para producir el contacto necesario en la formación de flóculos.

Para mayores concentraciones de coloide ($S_2 + S_3$ en la figura 4-40). se necesitan menores dosis de coagulante que en caso S_1 .

En $S_2 + S_3$ las partículas coloidales proveen núcleos para la precipitación, mientras que en 5, el mismo hidróxido debe proveer los núcleos.

En el transcurso de S_2 a S_4 se puede notar que al aumentar las concentraciones de coloides se requiere también aumentar las de coagulante.

En general, la dosis química requerida depende del mecanismo de desestabilización. En los casos de baja turbiedad, cuando se necesita un floculo de hidróxido voluminoso, la dosis requerida tiende a disminuir a medida que la concentración de coloide aumenta.

Cuando la desestabilización se realiza por medio de la adsorción, la dosis requerida es generalmente más baja y aumenta con la concentración de coloides.

Las aguas de baja turbiedad pueden ser coaguladas mediante otra técnica muy conocida adición de partículas de arcilla por ejemplo, bentonita, para aumentar la turbiedad antes de inyectar el coagulante. La ventaja de este proceso se ilustra en la figura 11. Al aumentar la turbiedad, se logra realizar la coagulación en la zona 2. De este modo, se necesitan menores dosis de coagulante debido a la existencia de un mecanismo de adsorción en vez de uno de captura.

La zona 3, de reestabilización, disminuye al aumentar la concentración de coloides. Dicha concentración se alcanza cuando es importante realizar la reestabilización con sobredosis.

b) pH ÓPTIMO

El pH es un factor muy importante en la coagulación. En general el pH óptimo para la coagulación de aguas con color es mas bajo (4-6), que para aguas con mayor turbiedad (6,5-8,5). Generalmente las sales férricas son efectivas, en un rango más amplio de valores de pH que las sales de aluminio.

c) CONCENTRACIÓN ÓPTIMA

La aplicación uniforme del coagulante al agua es la principal dificultad para la realización de una coagulación eficiente. El problema reside en que las cantidades de coagulante son muy pequeñas comparadas con el volumen de la masa de agua, esto es, la dosis es muy pequeña comparada con el volumen de agua que se va a tratar. Una dosis media de sulfato de aluminio de 30mg/l a una concentración de 10% representa dispersar un volumen de solución de apenas 300 ml, equivalente a un cubo de 7cm de arista en un metro cubico de agua. Con la condición de que haya suficiente turbulencia, la dispersión será mas efectiva cuando mayor sea el volumen de solución o mas diluida sea esta, lo que resultara en una mejor remoción de la turbiedad porque el coagulante entrara mas rápido y mas fácilmente en contacto con el mayor numero de partículas coloidales.

Estudios realizados por Jeffcoal y Single en 1975 demostraron que las mejores condiciones para la remoción de turbiedad se producen cuando se utilizan soluciones de sulfato bastante diluidas; sin embargo, con concentraciones inferiores a 0.1% la eficiencia en la remoción de turbiedad se reduce acentuadamente, debido a que el sulfato de aluminio puede hidrolizarse antes de su aplicación. Se sugieren valores del orden de 1 a 2% como ideales para adoptar en el proyecto o en la operación de la planta de tratamiento.

Estudios de coagulación, floculación y sedimentación realizados por Méndez en la Escuela de San Carlos en 1989 como parte de su tesis de doctorado con aguas de varias calidades con color y turbiedad verdaderos, permiten concluir que, dependiendo de la calidad del agua, puede haber influencia de la concentración de la solución de sulfato de aluminio en la eficiencia de la remoción de flóculos, principalmente en el mecanismo de

coagulación por barrido. Por ende, tal influencia resulta mayor para velocidades de sedimentación relativamente bajas (< 1 cm./min.). No se ha observado influencia significativa para velocidades de sedimentación entre 1.5 y 7.0 cm./min. En el mecanismo de coagulación por adsorción y neutralización de carga, la concentración de la solución de sulfato de aluminio parece no influir en la remoción de flóculos por sedimentación.

Evidentemente, en función de la concentración de la solución de coagulante, el aluminio y el hierro se podrán encontrar en mayor o menor porcentaje en la forma $\text{Al}(\text{H}_2\text{O})_3^{-\text{S}}$ ó $\text{Fe}(\text{H}_2\text{O})_3^{+\text{S}}$ o en forma de hidrocomplejos y en algunas situaciones podrán influir en la eficiencia de la coagulación.

Únicamente la realización de ensayos de prueba de jarras con el agua que se va a tratar podrá indicar la mejor concentración que se debe utilizar en cada caso, puesto que la concentración de la solución de coagulante puede fácilmente variarse en las estaciones de tratamiento de agua.

CAPÍTULO 3: FLOCULACIÓN

CAPÍTULO 3

FLOCULACIÓN

3.1 GENERALIDADES

El objetivo principal de la floculación es reunir las partículas desestabilizadas para formar aglomeraciones de mayor peso y tamaño que sedimenten con mayor eficiencia.

3.2 MECANICA DE FLOCULACION

Normalmente, la floculación se analiza como un proceso causado por la colisión entre partículas.

En el proceso de floculación intervienen de forma secuencial, tres mecanismos de transporte:

- La floculación pericinetica o browniana, que se debe a la energía térmica del fluido.
- La floculación ortocinetica o gradiente de velocidad, que se produce en la masa del fluido en movimiento.
- La sedimentación diferencial, que se debe a las partículas grandes, que al precipitarse colisionan con las más pequeñas que van descendiendo lentamente y ambas se aglomeran.

Como ya se explicó, en el proceso de floculación se realizan mecanismos secuenciales de transporte de tal forma que al dispersarse el coagulante en la masa de agua y desestabilizar a las partículas, se precisa de la floculación pericinetica para que las partículas coloidales de tamaño menor de un micrómetro empiecen a aglutinarse. El movimiento browniano actúa dentro de este rango de tamaño de partículas y forma el micro floculo inicial.

Recién cuando este alcanza el tamaño de un micrómetro empieza a actuar la floculación ortocinetica, promoviendo un desarrollo mayor del micro floculo. Este mecanismo ha sido estudiado en lugares donde la temperatura baja alrededor de

cero grados, rango dentro del cual el movimiento browniano se anula y, por consiguiente, también lo hace la floculación pericinetica. En este caso, se comprobó que la floculación ortocinetica es totalmente ineficiente y no tiene importancia alguna sobre partículas tan pequeñas.

Bratby encontró que si los gradientes de velocidad en el agua son mayores de 5 s^{-1} y las partículas tienen un diámetro mayor de un micrómetro, el efecto de la floculación pericinetica es despreciable.

Por otro lado, el proceso de floculación pericinetica solo es sumamente lento. Se precisan alrededor de 200 días para reducir a la mitad un contenido de 10,000 virus/ml en una muestra de agua.

Por lo tanto, la aglomeración de las partículas es el resultado de la actuación de los tres mecanismos de transporte mencionados más arriba.

3.3 FACTORES QUE INFLUYEN EN LA FLOCULACIÓN

3.3.1 NATURALEZA DEL AGUA

La coagulación y, por consiguiente, la floculación son extremadamente sensibles a las características fisicoquímicas del agua cruda tales como la alcalinidad, el pH y la turbiedad.

Algunos iones presentes en el agua pueden influir en el equilibrio fisicoquímico del sistema, en la generación de cadenas poliméricas de los hidróxidos que se forman o en la interacción de estos polímeros con las partículas coloidales, lo que afectara el tiempo de floculación.

La presencia de iones SO_4^{2-} , por ejemplo tiene marcada influencia en el tiempo de formación de los flóculos en función del pH (véase la figura 12)

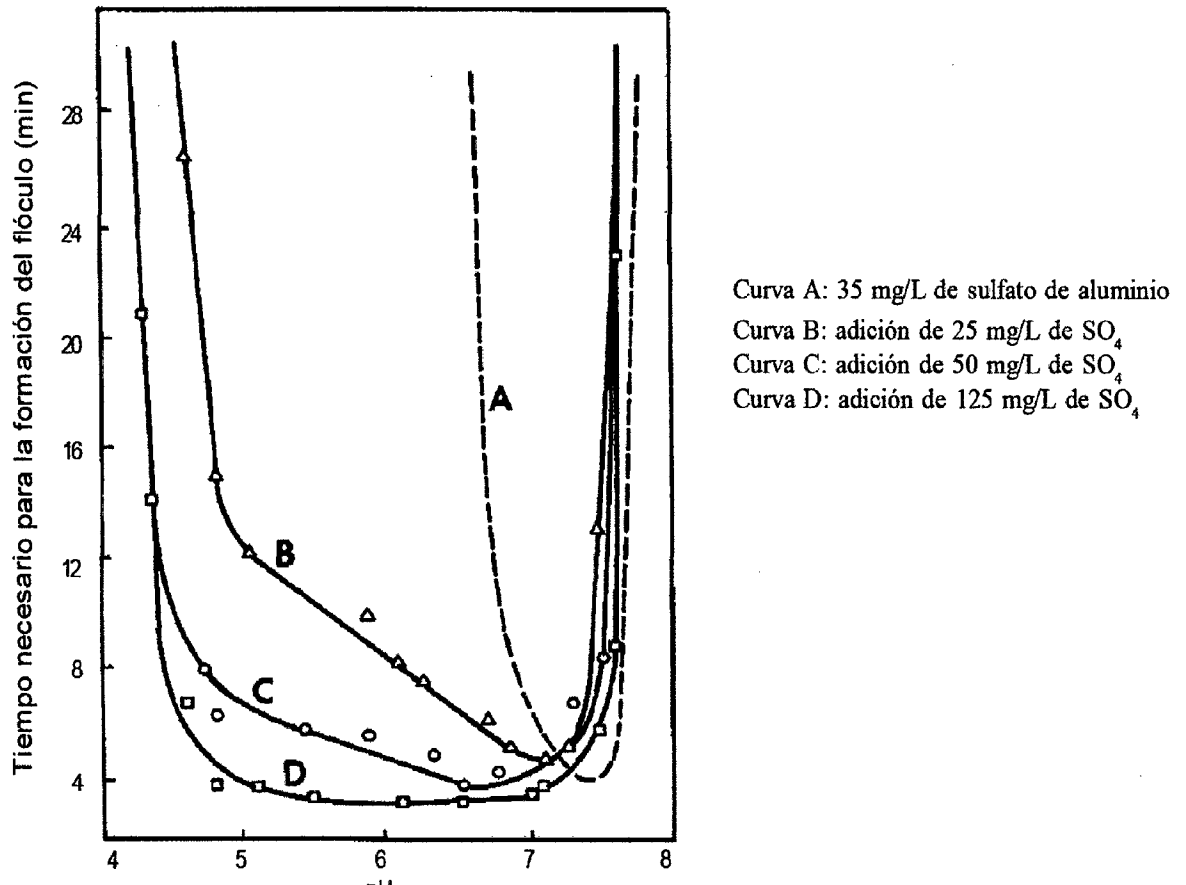


Figura 12. Efecto del ion sulfato sobre el tiempo de formación del floculo de sulfato de aluminio

3.3.2 TIEMPO DE FLOCULACIÓN

En todos los modelos propuestos para la floculación, la velocidad de aglomeración de las partículas es proporcional al tiempo. Bajo determinadas condiciones existe un tiempo óptimo para la floculación normalmente entre 20 y 40 minutos. Mediante ensayos de prueba de jarras (*jar tests*), se puede determinar este tiempo que en la figura 13 resulto ser de alrededor de 37 minutos.

La permanencia del agua en el floculador durante un tiempo inferior o superior al optimo produce resultados inferiores, tanto más acentuados cuanto más se aleje este del tiempo optimo de floculación.

Es necesario, por lo tanto, que se adopten medidas para aproximar al tiempo real de retención en el tanque de floculación al tiempo nominal escogido. Esto se puede obtener si se compartimentaliza el tanque de floculación con pantallas deflectoras. Cuanto mayor sea el número de compartimientos menores serán los cortocircuitos del agua.

Con la compartimentalización y la elección de valores adecuados para los gradientes de velocidad, se aumenta la eficiencia del proceso o se reduce el tiempo necesario de floculación (o ambos), según demostraron Harris y colaboradores. Gradientes elevados en los primeros compartimientos promueven una aglomeración más acelerada de los flóculos; gradientes mas bajos en las ultimas cámaras reducen la fragmentación.

Por razones de orden práctico y económico, el numero de cámaras de los floculadores mecánicos no es muy grande, generalmente, no supera las seis unidades. Las recomendaciones de proyecto estipulan un mínimo de tres unidades.

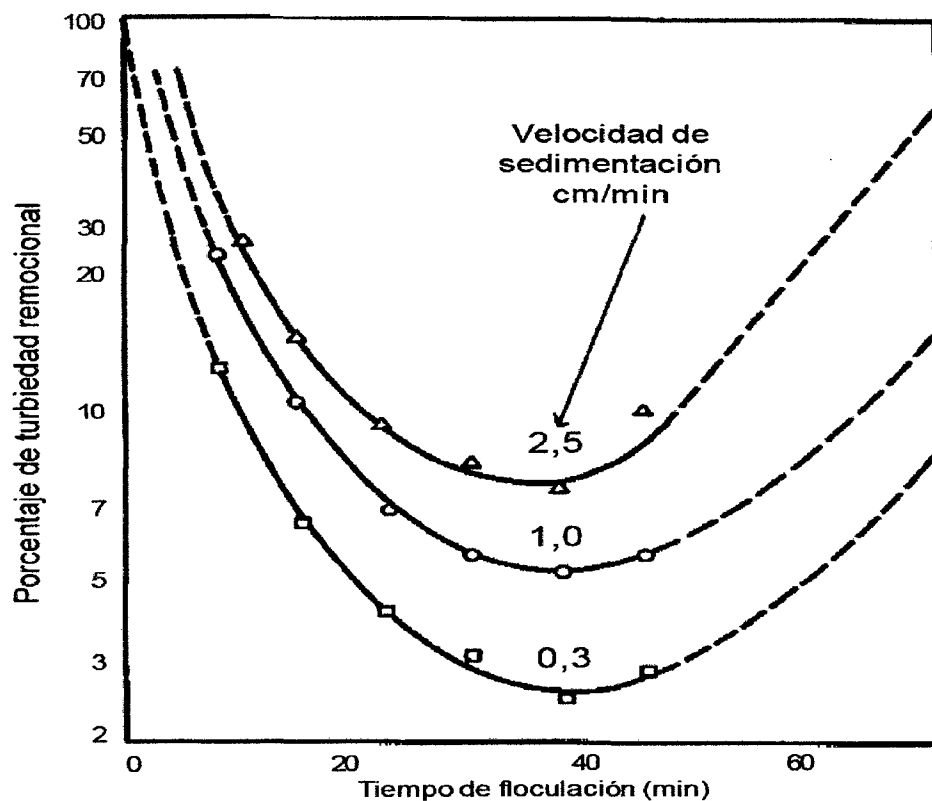


Figura 13. Efecto del periodo defloculación en la sedimentación

3.3.3 GRADIENTE DE VELOCIDAD

El parámetro de la gradiente de velocidad es un factor de proporcionalidad que caracteriza a la velocidad de aglomeración de las partículas en la floculación ortocinética. Cuanto mayor es el gradiente de velocidad, mas rápida es la velocidad de aglomeración de las partículas. Mientras tanto, a medida que los flóculos aumentan de tamaño, crecen también las fuerzas de cizallamiento hidrodinámico, inducidas por el gradiente de velocidad. Los flóculos crecerán hasta un tamaño máximo, por encima del cual las fuerzas de cizallamiento alcanzan una intensidad que los rompe en partículas menores.

La resistencia de los flóculos depende de una serie de factores:

- a) De su tamaño, forma y compactación
- b) Del tamaño, forma y naturaleza de las macropartículas
- c) Del numero y forma de los ligamentos que unen a las partículas

Tekippe y Ham realizaron un estudio teórico-práctico para determinar la influencia de la variación del gradiente de velocidad en los diversos compartimientos de un floculador.

Los datos de estos ensayos permitan concluir que es necesario graduar el gradiente de velocidad en forma decreciente, evitando tramos intermedios con altos gradientes que es el caso más desfavorable.

Los valores recomendados de gradientes de velocidad para floculación se encuentran dentro de un rango de 100 a 20 s^{-1} . Naturalmente, conviene realizar una compartimentalización con gradientes escalonados en forma decreciente. Por ejemplo, se pueden disponer cuatro cámaras de floculación en serie, a las que se les aplican gradientes de 90, 50, 30 y 20 s^{-1} ., respectivamente en la primera, segunda, tercera y cuarta cámaras.

Después de formados los flóculos en la ultima cámara de floculación, debe tenerse gran cuidado en la conducción del agua floculada hasta los

decantadores. Los gradientes de velocidad en los canales, compuertas o cualquier otra estructura de paso del agua floculada no deben ser mayores de 20 s^{-1} .

3.3.4 INFLUENCIA DE LA VARIACIÓN DEL CAUDAL

Es conocido que al variarse el caudal de operación de la planta, se modifican los tiempos de residencia y gradientes de velocidad en los reactores.

El floculador hidráulico es algo flexible a estas variaciones. Al disminuir el caudal, aumenta el tiempo de retención y disminuye el gradiente de velocidad. Al aumentar el caudal el tiempo de retención disminuye, el gradiente de velocidad se incrementa y viceversa, el número de Camp (N_c) varía en aproximadamente 20% cuando la variación del caudal es de 50%.

En el floculador mecánico, el efecto es más perjudicial debido a su poca flexibilidad, ya que la velocidad permanece constante y el tiempo de residencia aumenta o disminuye de acuerdo con la variación del caudal.

CAPÍTULO 4: SEDIMENTACIÓN

CAPÍTULO 4

SEDIMENTACIÓN

4.1 GENERALIDADES

Se entiende por sedimentación la remoción por efecto gravitacional de las partículas en suspensión presentes en el agua. Estas partículas deberán tener un peso específico mayor que el fluido.

La remoción de partículas en suspensión en el agua puede conseguirse por sedimentación o filtración. De allí que ambos procesos se consideren como complementarios.

La sedimentación es, en esencia, un fenómeno netamente físico y constituye uno de los procesos utilizados en el tratamiento del agua para conseguir su clarificación. Esta relacionada exclusivamente con las propiedades de caída de las partículas en el agua. Cuando se produce sedimentación de una suspensión de partículas el resultado final será siempre un fluido clarificado y una suspensión mas concentrada. A menudo se utilizan para designar la sedimentación los términos de clarificación y espesamiento.

Se habla de clarificación cuando hay un especial interés en el fluido clarificado, y de espesamiento cuando el interés esta puesto en la suspensión concentrada.

Las partículas en suspensión sedimentan en diferente forma, dependiendo de las características de las partículas, así como de su concentración. Es así que podemos referirnos a la sedimentación de partículas discretas, sedimentación de partículas floculentas y sedimentación de partículas por caída libre e interferida.

4.2 SEDIMENTACIÓN DE PARTICULAS DISCRETAS

Se llama partículas discretas a aquellas partículas que no cambian de características (forma, tamaño, densidad) durante la caída.

Se denomina sedimentación o sedimentación simple al proceso de depósito de partículas discretas. Este tipo de partículas y esta forma de sedimentación se presentan en los desarenadores, en los sedimentadores y en los presedimentadores como paso previo a la coagulación en las plantas de filtración rápida y también en sedimentadores como paso previo a la filtración lenta.

4.3 SEDIMENTACIÓN DE PARTICULAS FLOCULENTAS

Partículas floculentas son aquellas producidas por la aglomeración de partículas coloides desestabilizadas a consecuencia de la aplicación de agentes químicos. A diferencia de las partículas discretas, las características de este tipo de partículas – forma, tamaño, densidad – si cambian durante la caída.

Se denomina sedimentación floculenta o decantación al proceso de depósito de partículas floculentas. Este tipo de sedimentación se presenta en la clarificación de aguas como proceso intermedio entre la coagulación-floculación y la filtración rápida.

4.4 SEDIMENTACIÓN POR CAIDA LIBRE O INTERFERIDA

Cuando existe una baja concentración de partículas en el agua, estas se depositan sin interferir. Se denomina a este fenómeno caída libre. En cambio cuando hay altas concentraciones de partículas, se producen colisiones que las mantienen en una posición fija y ocurre un depósito masivo en lugar de individual. A este proceso de sedimentación se le denomina depósito o caída interferida o sedimentación zonal.

Cuando las partículas ya en contacto forman una masa compacta que inhibe una mayor consolidación se produce una compresión o zona de

compresión. Este tipo de sedimentación se presenta en los concentradores o lodos de las unidades de decantación con manto de lodos.

4.5 EXPRESIONES DE VELOCIDADES

4.5.1 SEDIMENTACIÓN DE PARTICULAS FLOCULENTAS

Las partículas que se remueven en una planta de tratamiento de agua son sólidos inorgánicos y orgánicos. Los factores primordiales que influyen en la velocidad de sedimentación son su tamaño, forma y densidad.

La materia en suspensión que origina la turbiedad consiste principalmente en sílice finalmente dividida, arcilla y limo. La densidad original de las partículas es cercana a 2,60. El color, en cambio, es producido principalmente por ácidos orgánicos (fulvico, humitos, etc.) de origen vegetal con densidades variables de 1 a 1,5 dependiendo de su concentración. Las partículas se presentan principalmente en estado coloidal y es necesario añadirles coagulantes químicos y someterlas a procesos de coagulación y floculación para incrementar su tamaño o densidad antes del proceso de sedimentación.

Las partículas en suspensión de aguas tratadas con coagulantes, consisten en flóculos formados por óxidos metálicos (Al_2O_3 o Fe_2O_3), agua en 85 a 95% y turbiedad y/o color con densidades variables entre 1,002 cuando predomina el color y 1,03 cuando predomina la turbiedad. En procesos de ablandamiento los flóculos tienen densidades cercanas a 1,20.

El diámetro de los flóculos es variable desde menos de 0,001 mm hasta más de 5 mm, dependiendo de las condiciones de mezcla y floculación (gradientes de velocidad y tiempo de retención). Willcomb clasifica los flóculos por su tamaño tal como se indica en la figura 14.

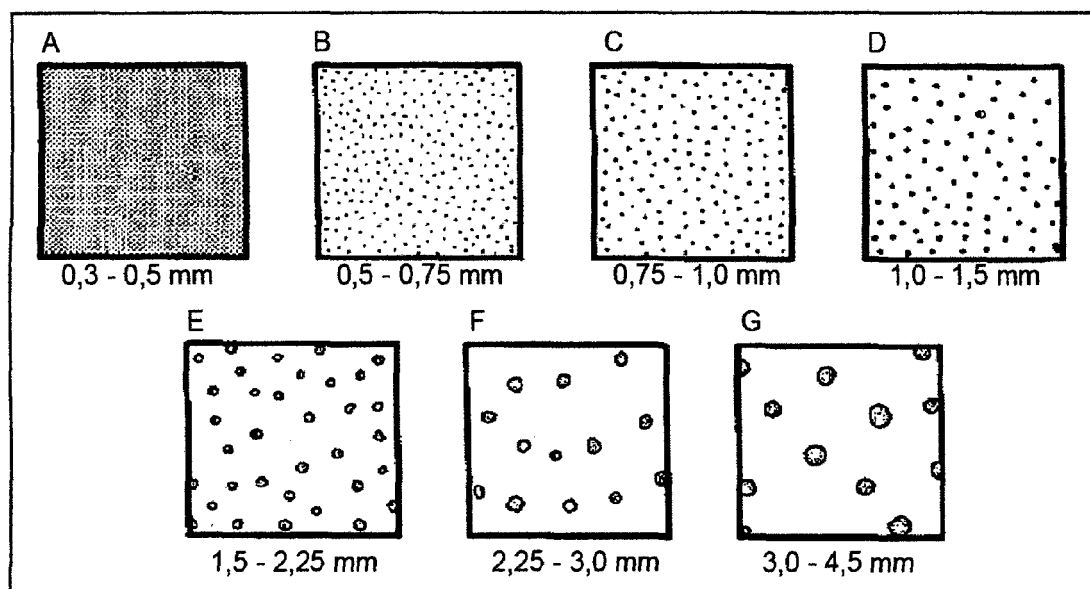


Figura 14. Índices de Willcomb para determinar el tamaño del flóculo

La velocidad de sedimentación de suspensiones floculentas depende de las características de las suspensiones, así como de las características hidráulicas de los sedimentadores y de la presentación de procesos concomitantes: floculación por diferencia de velocidades de sedimentación que los flóculos, influencia de turbulencia y variación de gradientes de velocidad, factores que imposibilitan la preparación de un modelo matemático general. Por este motivo se recurre a ensayos en laboratorio o plantas piloto con el propósito de predecir las eficiencias teóricas remocionales en función de cargas superficiales o velocidades de sedimentación preseleccionadas. En ellos se deben tomar las siguientes precauciones:

Que la muestra de la suspensión sea representativa y que se mantenga a igual temperatura.

Sedimentación de partículas floculentas con caída libre. Si en una suspensión tenemos una concentración (1-C) de partículas que tienen una velocidad de sedimentación V_S , la proporción adicional de partículas removidas que tiene una velocidad de sedimentación V_S será:

$$R = \frac{1}{VS} \int_0^c Vdc \quad (\alpha)$$

$$\text{Remoción total } Rt \quad Rt = (1-C) + \frac{1}{VS} \int_0^c Vdc \quad (\beta)$$

Al graficar estos parámetros, se establece la curva teórica de velocidad de sedimentación versus ineficiencia (figura 15).

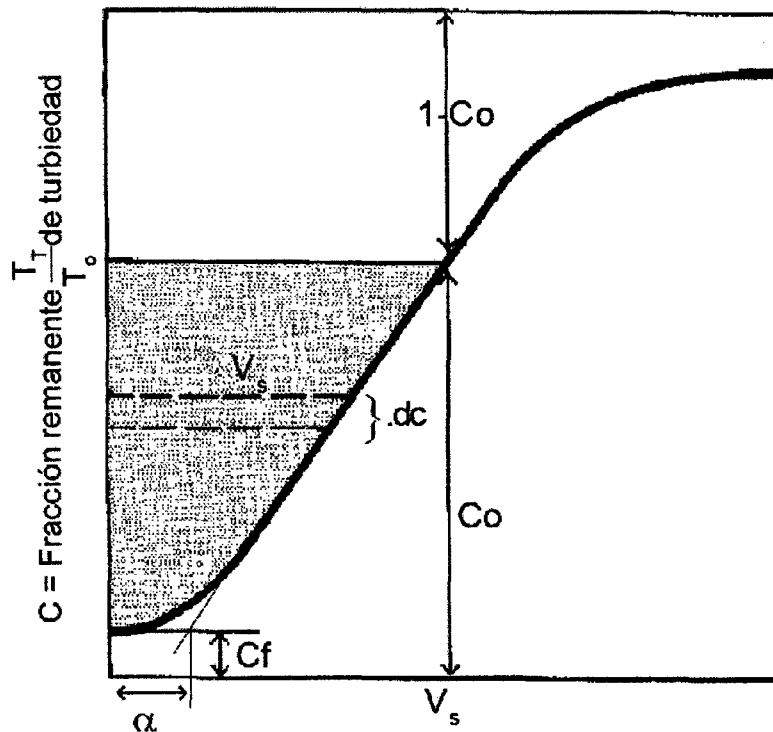


Figura 15. Curva de variación de eficiencia en función de la velocidad de sedimentación

En la figura anterior, es importante observar lo siguiente:

La curva no pasa por el origen. Esto implica que siempre se tendrá una fracción C_f de partículas que no serán removidas por el sedimentador aun cuando se apliquen velocidades muy bajas de sedimentación. Esto implica, en la práctica, la necesidad de contar con una unidad posterior al sedimentador que

sea capaz de remover estas partículas. En la planta de tratamiento de agua esta unidad es el filtro.

Otra característica de esta curva es la tendencia asintótica cuando esta se aproxima al eje de las ordenadas. Esta tendencia permite definir una velocidad de sedimentación mínima para aplicaciones prácticas de diseño. No tendrán ningún sentido práctico seleccionar velocidades de sedimentación menores a este valor mínimo ya que se incrementaría el área de la unidad y no se conseguiría mayor eficiencia de remoción.

Entonces, si se tiene en cuenta que no todos los sólidos serán removidos en esta unidad, la curva no pasa por el origen y el primer término de la ecuación β es igual a:

$$(1 - C) = [1 - (C - Cf)]$$

El segundo término, a su vez es igual al área sombreada de la figura 15

$$\frac{1}{V_s} \int_0^c V dc = \frac{a + V_s}{2V_s} (C_o - Cf)$$

Por lo tanto, la remoción total será:

$$R = [1 - (C_o - Cf)] + \frac{a + V_s}{2V_s} (C_o - Cf)$$

Conocido el porcentaje de remoción total alcanzada para cierta velocidad de sedimentación, es posible encontrar una velocidad de sedimentación que permita conseguir una remoción total para lograr una determinada calidad de agua efluente del decantador.

4.6 FACTORES QUE INFLUYEN EN EL PROCESO

4.6.1 CALIDAD DEL AGUA

Las variaciones de concentración de materiales en suspensión modifican en primer lugar, la forma de sedimentación de las partículas (con caída libre o interferida), así como las propiedades de las partículas modifican la forma del depósito (sedimentación para partículas discretas y decantación para partículas floculentas)

Adicionalmente, variaciones de concentración de partículas o de temperatura producen variaciones de densidad del agua y originan corrientes cinéticas o térmicas que, a su vez, generan cortocircuitos hidráulicos en las unidades.

Al entrar agua más fría al sedimentador, la masa de agua se desplaza por el fondo de este y produce el tipo de corriente indicada en la figura 15(a).

En cambio, con agua más caliente, se produce el fenómeno inverso, que aparece indicado en la figura 15 (b)

En el caso de variar la concentración, se producen corrientes de densidad por diferencias en las distintas masas de agua, que suelen crear fuerzas más importantes que las térmicas. En la figura 16 se indican las densidades del floculo producido con distintas concentraciones de suspensión de caolín. Haciendo la misma consideración anterior, un volumen de agua de 100.000 m^3 con 20 gm/l de caolín pesaría 100.560 t y con 80 mg/l , 102.250 t , lo que da una diferencia de 960 t ó $6,9 \text{ kg/m}^3$.

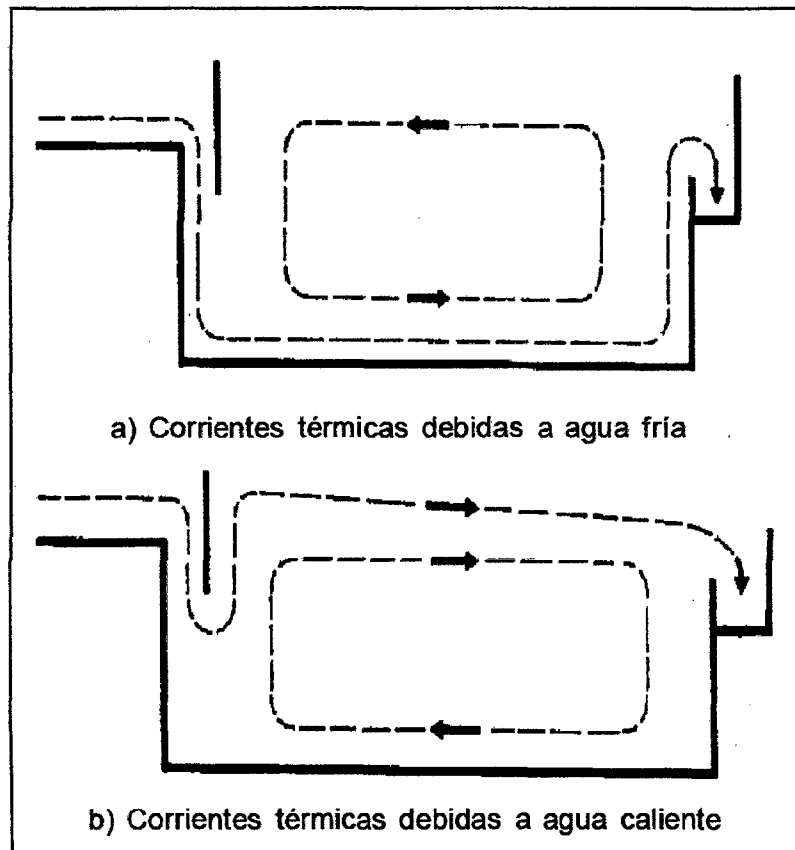


Figura 16. Corrientes térmicas

Afortunadamente la mayor concentración de partículas suele estar en el fondo, pero cualquier perturbación en el flujo, ya sea por temperatura, construcciones, alta velocidad de las paletas de floculador, etcétera, puede alterar el equilibrio y producir un flujo sinuoso o envolvente sobre si mismo, muy diferente del teórico calculado, que es el que con frecuencia aparece en los sedimentadores horizontales, incluso en los bien diseñados (véase la figura 17)

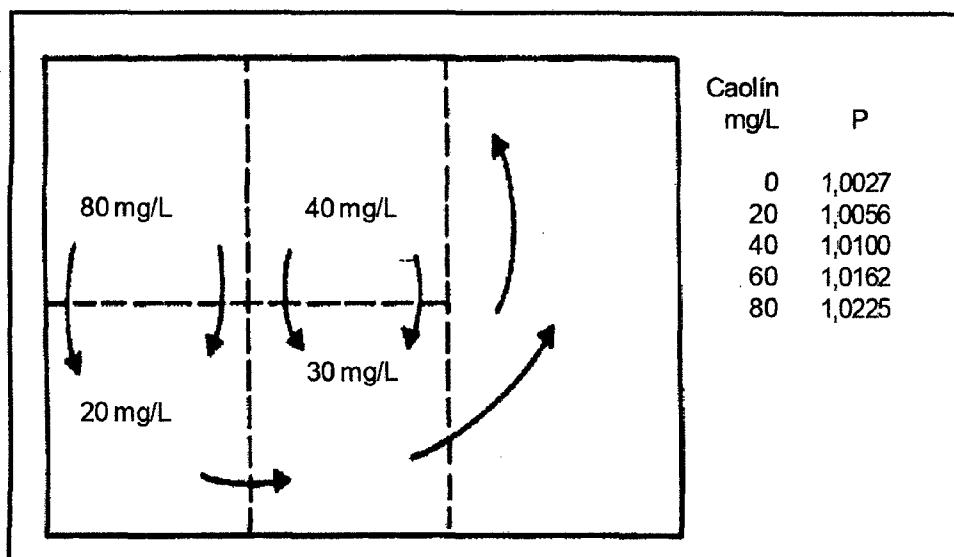


Figura 17. Corrientes de densidad

4.6.2 FACTORES EXTERNOS

Paradójicamente, los factores externos al proceso de sedimentación, acondicionamiento previo (procesos previos a la sedimentación), prácticas operativas y factores ambientales son los que tienen más influencia en la eficiencia de un sedimentador o decantador.

Buena o inadecuada coagulación y floculación ocasionan respectivamente, altas o bajas eficiencias en los decantadores idénticos. Cabe realizar un comentario acerca de la operación y el estado de la unidad, así como sobre los programas de mantenimiento que puede producirse corrientes de suficiente intensidad como para inducir cambios en la dirección del flujo y alterar el precario equilibrio de las masas de agua.

En unidades grandes el viento puede crear oleajes de cierta magnitud, lo que interfiere el proceso o desequilibra la distribución del flujo en las canaletas de salida.

**CAPÍTULO 5:
POLÍMEROS
Y ALMIDONES**

CAPÍTULO 5

POLÍMEROS Y ALMIDONES

5.1 DEFINICION Y ESTRUCTURA DE LOS POLIMEROS

Un polímero puede definirse como una sustancia química compuesta de una cierta cantidad de unidades básicas que se repiten, llamados Monoceros, unidades consecutivamente por enlace covalentes. El grado de polimerización esta dado por el numero de Monoceros que conforman la cadena polimérica y pueden variar en un amplio rango hasta llegar a 10^4 o 10^6 unidades en su estructura molecular. Un compuesto polimérico puede contener diversos tipos de unidades monoméricas en su cadena.

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

5.2 CLASIFICACION DE LOS POLÍMEROS

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

5.2.1 DE ACUERDO A SU CARGA ELECTRICA

Los polímeros pueden o no tener carga eléctrica. Los que no la tienen se denominan no iónicos. Los demás pueden ser catiónicos (carga positiva) o aniónicos (carga negativa). La figura 18 muestra ejemplos de cada una de las clases de polímeros discutidos.

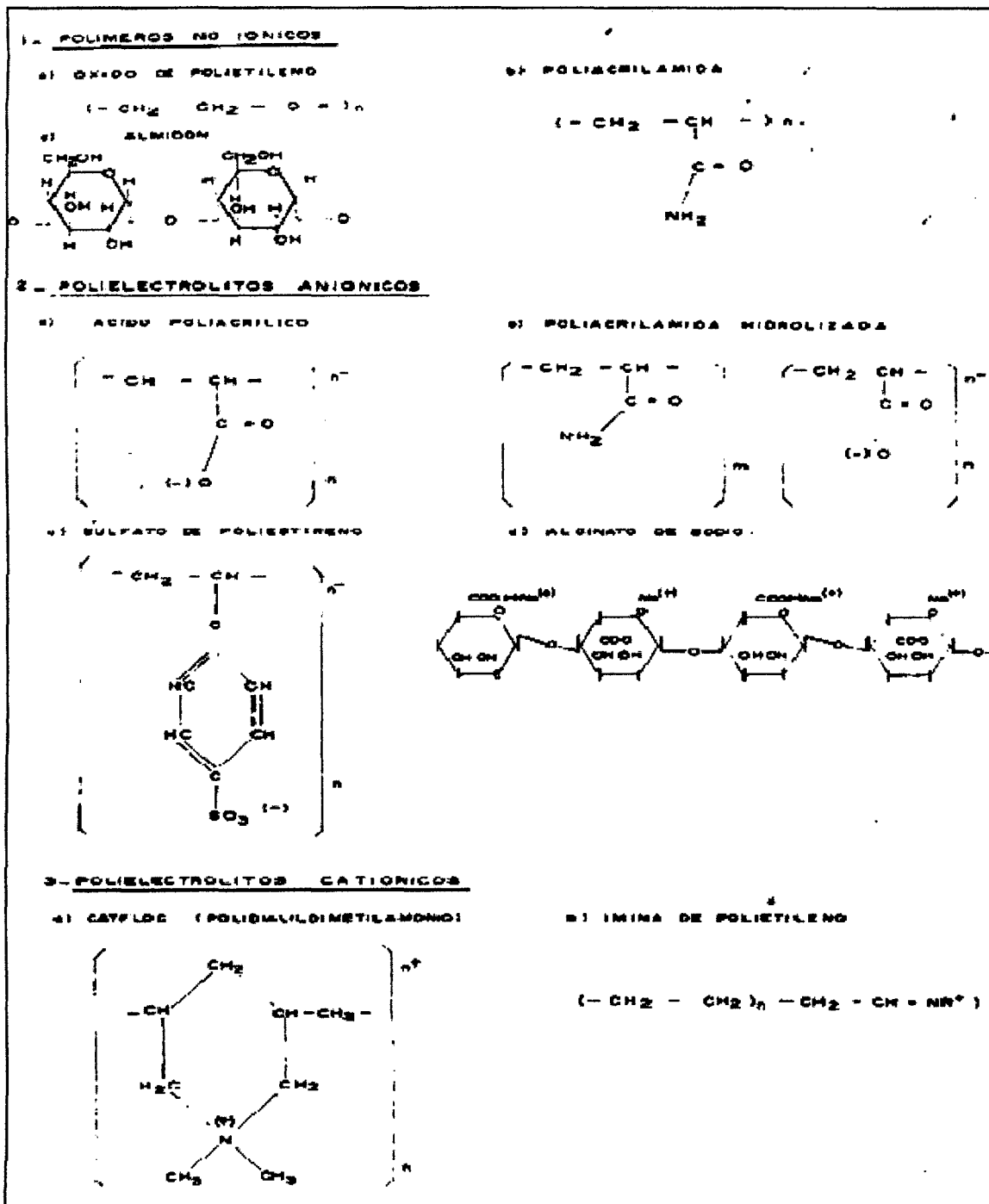


Figura 18. Clasificación y ejemplo de algunos polímeros

5.2.2 DE ACUERDO A SU ORIGEN

a) POLIMEROS NATURALES

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

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

b) POLIMEROS SINTÉTICOS

Son los compuestos orgánicos producidos mediante transformación química del carbón y del petróleo, e incluyen a la mayoría de los polímeros de manufactura industrial que comúnmente se expenden en el comercio. Muchos se encuentran en forma de polvo seco, generalmente constituido por poliacrilamida (no iónico) o poliacrilamida hidrolizada (aniónicos). Los polímeros catiónicos son derivados de bases de amonio cuaternario o de imina de polietileno que generalmente se expanden en solución acuosa en concentraciones del 10 al 60% (Lo Sasso, 1972).

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

c) MODO DE ACCION DE LOS POLÍMEROS

La coagulación ha sido definida como la desestabilización eléctrica de las partículas y la floculación, como la unión de las mismas para formar el floculo o grumo (La Mar 1963). Teniendo en cuenta esta definición, los polímeros pueden ser añadidos al agua de tres maneras distintas como coagulantes primario, y como ayudante de coagulación.

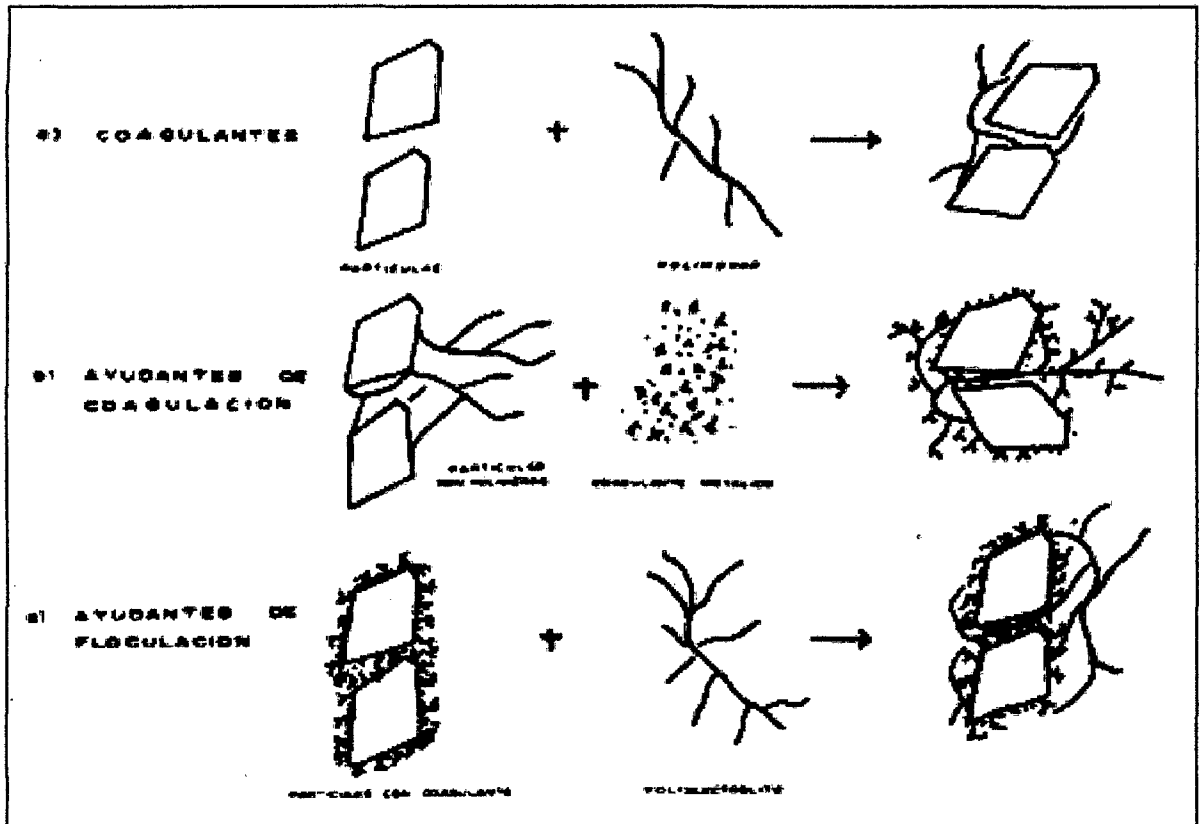


Figura 19. Modo de acción de los polímeros

5.3 ALMIDONES

5.3.1 COMPOSICIÓN DE LOS ALMIDONES

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

La diferencia entre amilasa y amilopectina se muestra esquemáticamente en la figura 20.

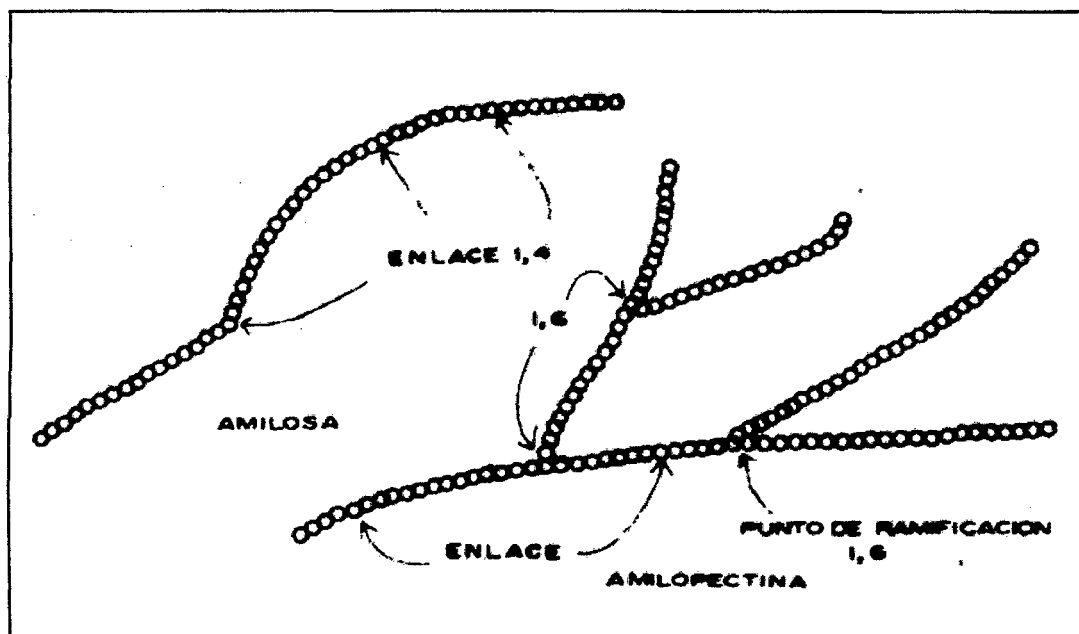


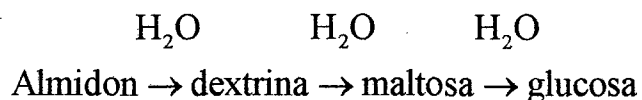
Figura 20. Diferencia esquemática entre la amilasa y la amilopectina

Los almidones pueden obtenerse de una variedad grande de productos vegetales como la papa, el maíz, la yuca y el trigo y su composición varía según el caso. En agua caliente, los almidones se separan en sus dos fracciones principales: la soluble (10-20%) que es amilasa y la insoluble (80-90%) que es

amilopectina. El peso molecular de la amilasa es del orden de 10000 a 50000 (60 a 300 unidades de glucosa), pero la longitud de la cadena varía solamente de 24 a 30 unidades de glucosa.

Los granos de almidón se hinchan en presencia de agua caliente y forman una masa gelatinosa llamada engrudo. La temperatura de formación de engrudos varía según el caso, entre 55 y 80°C. Se puede obtener hidrólisis parcial de los almidones calentándolos a 200-250°C para transformarlos en dextrinas. Estas son polisacáridos de menor peso molecular que los almidones.

La posterior hidrólisis del almidón produce maltosa y finalmente glucosa, así:



5.3.2 ALMIDONES SOLUBLES EN AGUA

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

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

Existe una gran variedad de métodos y patentes para producir almidones de este tipo. Es sin embargo difícil de producir un almidón completamente soluble, por tostadura o tratándolo con ácido.

**CAPÍTULO 6:
LA MORINGA
OLEIFERA**

CAPÍTULO 6

LA MORINGA OLEIFERA

6.1 INTRODUCCION:

El árbol de Moringa es una planta muy generosa, casi todas sus partes se pueden utilizar como alimento o medicamento. Las raíces se utilizan para producir extracto de bueno para muchos usos medicinales. Entre estos usos está el combatir seis tipos de cáncer. Las hojas tienen altas cantidades de componentes anti-inflamatorios y contiene antitoxinas y principios antioxidantes. Además, las hojas son muy ricas en vitaminas, minerales y aminoácidos cruciales para nuestro cuerpo. Esto hace de las hojas de Moringa un tratamiento ideal, seguro y natural, con un amplio uso medicinal, como la limpieza del cuerpo de toxinas, fortalecimiento del sistema inmunológico, suplemento para madres lactantes, tratamiento de apoyo contra la gota y la artritis y mucho más. Las hojas de Moringa son perfectas como complemento de la alimentación natural, por aportar vitaminas, minerales y energía a nuestro cuerpo. La semilla puede ser utilizada como coagulante para purificar de agua.

Este es un árbol que soporta períodos prolongados de sequía, por lo que crece bien en todo tipo de zonas áridas o semiáridas, incluso en arena. En zonas de cultivos se utiliza comocerca viva o cortina rompevientos, también evita la erosión de suelo en zonas de con períodos fuertes de sequía y vientos fuertes. Crecen muy rápido, ya que en tan sólo un año pueden llegar a los 4 metros de altura, y ya dar frutos.

La Organización Mundial de la Salud (OMS), la Unión Europea (UE), UNICEF y muchas otras organizaciones y organizaciones no gubernamentales, decidieron plantar y cosechar Moringa oleifera en lugares como África, con el fin de combatir la desnutrición. Gente en todo el mundo también se refieren a la Moringa como El Árbol Milagroso.

6.2 ORIGEN

La *Moringa Oleifera*, pertenece a la familia Moringaceae; es una planta nativa de norte de la India pero actualmente crece muy bien en los trópicos. En África la introducción data desde hace más de 1,000 años y se encuentra ampliamente distribuida en los países de la costa de África, en Australia, en Arabia y en el Caribe; también ha sido introducida en general en América Latina y Centroamérica donde se conoce con distintos nombres y naturalizada en los años 20 del siglo XX como árbol ornamental, cerca viva y cortina rompe vientos.⁷

6.3 DESCRIPCIÓN

- Reino: Plantae
- División: Embryophyta
- Sub-división: Diploidalia
- Clase: Dicotyledonae
- Sub-clase: Archichlamydeae
- Orden: Rhoeadales
- Familia: Moringaceae
- Género: *Moringa*
- Especie: *Moringa Oleifera*

La *Moringa oleifera* es un árbol de crecimiento muy rápido, en el primer año se puede desarrollar varios metros, hasta tres o incluso cinco en condiciones ideales de cultivo. Resistente a la sequía, aunque con tendencia a perder las hojas en periodos de estrés hídrico, se beneficia de algún riego esporádico. También se beneficia de algún pequeño aporte de fertilizante (no es un árbol fijador de nitrógeno).

No alcanza gran altura, hasta unos 10 - 12 metros. La copa es poco densa, de forma abierta, tirando a sombrilla (tipo acacia), el tronco puede ser único o múltiple (más común único). El sistema radicular es muy poderoso.

Las otras especies del género presentan una gran variedad de formas y características.

Las flores son de color crema y aparecen principalmente en las épocas de sequía, cuando el árbol suele perder las hojas.

Fruto: Es una vaina, parecido a una legumbre, pero de sección triangular, de unos 30 - 45 cms de longitud. Las semillas son negruzcas, redondeadas y con un tejido a modo de "alas".



Imagen 1. Árbol de Moringa Oleifera



Imagen 2. Fruto del árbol de Moringa Oleifera



Imagen 3. Semilla de Moringa Oleifera

6.4 UTILIDAD DE LA MORINGA OLEIFERA

La moringa oleifera y otras especies del género son una de las plantas más versátiles que existen en el mundo, a continuación se detalla sus más importantes usos:

- Comestibilidad: Todas las partes de la planta son comestibles. El contenido de proteínas, vitaminas y minerales es sobresaliente. El sabor es agradable y las diversas partes se pueden consumir crudas (especialmente las hojas y flores) o cocinadas de diversas maneras.
- Ornamentales: Se trata de arboles muy interesantes y de formas atractivas. Admite muy bien las podas. Se pueden utilizar como arboles de sombra, como setos, pantalla visual y auditiva, incluso como cortavientos. Muchas especies, sobre todo los "arboles botella" son muy interesantes como ejemplares aislados.
- Muy útiles para proteger otros cultivos en sistemas agroforestales. Al no ser un árbol excluyente es un buen soporte para otras especies trepadoras. Es especialmente indicado para la modalidad de agricultura conocida como "alley cropping" o "cultivo en callejones", debido a ciertas características que lo hacen muy adecuado, como su crecimiento rápido, raíces verticales y profundas, pocas raíces laterales, escasa sombra y alta productividad de biomasa con alto contenido en nitrógeno que enriquece la tierra. El "cultivo en callejones" consiste en cultivar especies herbáceas anuales, o de ciclo corto, entre hileras de árboles que formando los "callejones" sirven de protección contra el viento y sol excesivo y enriquecen la tierra.
- La leña proporciona un combustible aceptable, especialmente para cocinar. Ligera, con una densidad media de 0.6 y un poder calorífico de 4.600 kcal/kg.

- La madera, frágil y blanda apenas tiene otro interés que la elaboración de carbón vegetal o pulpa de papel, de excelente calidad en ambos casos.
- *Depuración de Aguas:* Las semillas son de mucha utilidad como uno de los mejores coagulantes naturales conocidos y se emplean ampliamente en la depuración y purificación de aguas fluviales y aguas turbias. También se emplea en la clarificación de miel y del jugo de la caña de azúcar.
- La moringa es un buen seto, de desarrollo muy rápido. Aunque algo sensible al viento como árbol solitario, en agrupaciones es bastante resistente. También es utilizado como cerca viva empleando los tallos de las plantas a modo de postes vivos soportar los diversos elementos de cerramiento: alambres, vallas, etc.
- *Aceite:* La semilla de Moringa contiene un 35 % de aceite. Es un aceite de muy alta calidad, poco viscoso y dulce, con un 73 % de ácido oléico, de calidad por tanto similar al aceite de oliva. Empleado en cocina, no se vuelve rancio, muy bueno para aliño de ensaladas. También puede tener interesantes aplicaciones en lubricación de mecanismos y fabricación de jabón y cosméticos. Este aceite arde sin producir humo, es apto por tanto como combustible para lámparas.
- *Fertilizante:* Los subproductos derivados del procesado de la semilla forman una torta muy indicada como fertilizante natural con un alto contenido en nitrógeno.
- *Forraje para animales:* Las hojas de Moringa constituyen uno de los forrajes más completos que se puedan imaginar. Muy ricas en proteína, vitaminas y minerales y con una palatabilidad excelente las hojas son ávidamente consumida por todo tipo de animales: Rumiantes, camellos, cerdos, aves, incluso carpas, tilapias y otros peces herbívoros.

- Melífero: El árbol en flor es una importantísima fuente de néctar para las abejas.

- Fuente de Hormonas Promotoras de Crecimiento Vegetal: obtenidas a partir de extracto de hojas y tallos jóvenes. El principio activo es la Zeatina, una hormona vegetal del grupo de las Citoquininas. También es interesante hacer notar que las hojas de Moringa, incorporadas directamente al suelo previenen del ataque de ciertas plagas (*Pythium debaryanum*).

- Otros usos: La Moringa tiene aplicaciones medicinales muy variadas, especialmente en sus países de origen. Las hojas son muy útiles en la producción de bio-gas. De la corteza se extraen fibras aptas para elaboración de cuerdas, esteras y felpudos. Las hojas trituradas se emplean en áreas muy remotas como agente de limpieza. De la madera se puede extraer un tinte azulado de interés industrial. También se extrae, de la corteza, una goma con varias aplicaciones. De esta goma y de la corteza en sí también se extraen taninos, empleados en la industria del curtido de pieles.

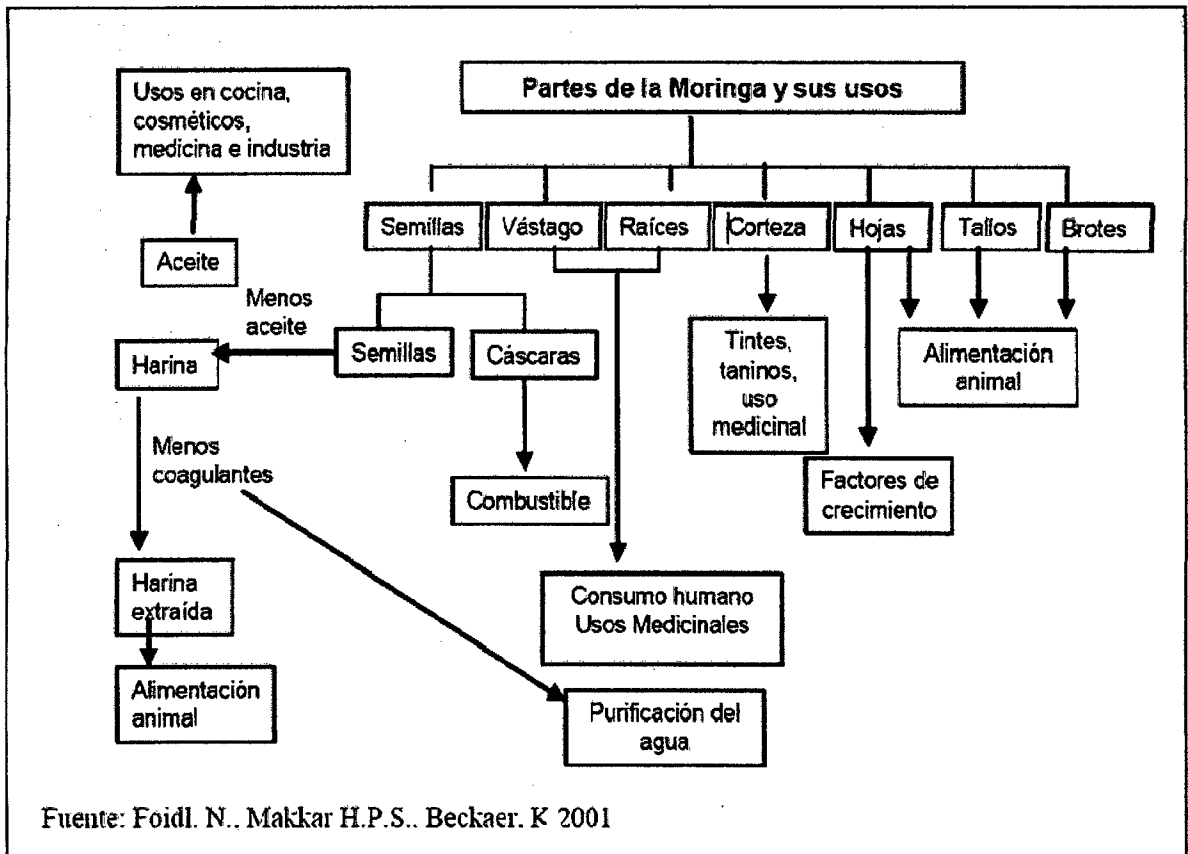


Figura 21. Usos importantes de diversas partes de la planta de Moringa Oleifera

6.4.1. BENEFICIOS NUTRICIONALES DE LA MORINGA OLEIFERA

Los beneficios del Moringa oleifera parecen ser innumerables, por ejemplo sus frutos son muy nutritivos. Sus hojas no dejan de ser producidas en períodos de aridez, con lo que genera un alimento vegetal que puede suplir los otros que escasean por la sequía. 25 gramos de hojas de este árbol pueden tener Proteínas 42%, Calcio 125%, Magnesio 61%, Potasio 41%, Hierro 71%, Vitamina A 272%, Vitamina C 22%.

Cuadro 2. Tabla comparativa del contenido nutritivo de las hojas de Moringa oleifera con otros alimentos (por cada 100 gramos de parte comestible).

Nutriente	Moringa	Otros alimentos
Vitamina A (mcg)	1,130	Zanahorias: 315
Vitamina C (mg)	220	Naranjas: 30
Calcio (mg)	440	Leche de vaca: 120
Potasio(mg)	259	Platanos: 88
Proteínas(mg)	6,700	Leche de vaca: 3,200

Fuente: C. Gopalan et al. (1994), Nutritive Value of Indian Foods, Instituto Nacional de Nutrición, India

6.4.2. PROPIEDADES MEDICINALES DELA MORINGA OLEIFERA

Los beneficios de este magnífico árbol no se limitan a la alimentación. Ya que tiene también una gran cantidad de propiedades curativas. Puede ser utilizado como anti-inflamatorio, analgésico, activador del metabolismo, purificador, antiasmático, anti-anemia, productor de hormonas, estimulador del crecimiento del pelo, protector del hígado, antihipertensivo, hidratante, homeostático, desintoxicante, fortalecedor de músculos y huesos, y también mejora ciertas funciones mentales como la memoria y la capacidad de aprendizaje.

6.4.3 UTILIZACIÓN DE LA SEMILLA DE MORINGA OLEIFERA EN TRATAMIENTOS DE AGUAS

La propiedades de la Moringa Oleifera fueron descubiertas y utilizadas por vez primera en China por mujeres de escasos recursos, quienes al buscar agua para beber descubrieron que las semillas de cierto árbol que crecía cerca de sus casas, tenía el don de arrastrar la suciedad del agua hasta el fondo de la vasija donde la almacenaban y que aquél lodo no volvía a la superficie, dejando el agua limpia y clara. Desde ese entonces esta planta y sus propiedades se ha dispersado no sólo en Asia sino en otras regiones, adaptándose muy bien a los trópicos.

Es significativo que muchos de los nombres comunes que recibe la Moringa hagan mención específica a la capacidad del mismo para purificar agua. En el valle del Nilo Moringa oleifera es conocida como "Shagara al Rauwaq" que textualmente significa "árbol que purifica" (von Maydell, 1986).

Las semillas son un floculante natural. Este floculante actúa capturando partículas en suspensión en el agua y provocando que estas se agreguen entre sí y se precipiten al fondo.

Modo de empleo (artesanal), simplemente moler semillas maduras y envolverlas en algún tipo de tejido que impida que se disgreguen al introducirlas en el agua a purificar.

El ingrediente activo: es un polielectrolito que ha sido identificado y aislado en muchos laboratorios del mundo en donde se han realizado las pruebas usándolo como coagulante.

6.5 LA MORINGA OLEIFERA EN EL PERÚ⁹

El reto de cultivar esta planta nutritiva en tierras peruanas es producto del esfuerzo de los ingenieros Jorge Chepote Gutiérrez, Iván Murat Alcova y Oscar Granados Aliaga, quienes de manera privada desarrollaron a partir del 2009 un proyecto piloto de media hectárea de moringa en el fundo El Arenal, en Ica, y tras comprobar su adaptabilidad han proyectado sembrar 500 hectáreas.

Siguiendo esta iniciativa del empresariado privado y con el propósito de reducir los índices de desnutrición infantil, el Ministerio de Agricultura a través de AgroRural y el programa Sembrando iniciaron el cultivo de la moringa, planta con enorme potencial nutritivo.

En el mes de octubre del año 2010, desde el fundo iqueño El Arenal, a la altura del kilómetro 283 de la carretera Panamericana Sur se hizo el lanzamiento de esta iniciativa liderada por la presidenta del Instituto Trabajo y Familia, Pilar Nores de García; el ministro de Agricultura, Rafael Quevedo; y el director de AgroRural, Rodolfo Beltrán.

En base a esta experiencia, el Minag a través de AgroRural- dispuso la siembra de cuatro hectáreas experimentales en Lambayeque, adicionales a las ya existentes en Villacurí, en los fundos iqueños Escondido y El Arenal.

Por su parte, el Instituto Trabajo y Familia, a través del programa Sembrando, impulsa el cultivo de moringa como un suplemento alimenticio para disminuir la desnutrición infantil en áreas deprimidas, principalmente en las zonas alto andinas.

**CAPÍTULO 7:
TRABAJO
EXPERIMENTAL**

CAPÍTULO 7

TRABAJO EXPERIMENTAL

7.1 MATERIALES Y METODO DESCRIPCIÓN DEL EQUIPO UTILIZADO

7.1.1 ANTECEDENTE

En el laboratorio uno del equipo más usado en el tratamiento de las aguas como elemento de control de la coagulación es el equipo de prueba de jarras G.W. Fuller, J. Cairol y E. Theirault son precursores de la prueba de jarras como modelo predictivo.

De acuerdo con la información obtenida, probablemente el primer ensayo de prueba de jarras fue realizado por W.L. Langelier en la Universidad de California en 1918. Las primeras aplicaciones y el desarrollo inicial corresponden a John Baylis, Bartow y Petterson, Fleming, Nolte y Kromer.

7.1.2 DESCRIPCION DEL EQUIPO DE PRUEBA DE JARRAS

Para efectuar los ensayos de simulación de los procesos, existen algunas variaciones en el equipo tradicional que son descritas en la literatura, Aunque no es requisito indispensable, estas pruebas en la mayoría de los casos son realizadas en equipos comerciales y uno de los mas conocidos es el equipo de velocidad variable fabricado por la Phipps & Bird, para el cual se han desarrollado los ábacos que relacionan el gradiente de velocidad con la velocidad de rotación de las paletas (imagen 4).

Para nuestra investigación se uso un agitador electromecánico digital programable provisto con seis paletas capaz de operar velocidades variables (0 a 300 RPM) El equipo es de la marca Phipps & Bird que cuenta además con cuatro memorias, timer, un iluminador de flóculos localizado en la base del agitador del equipo y alarma. Tal como se muestra en la imagen 4

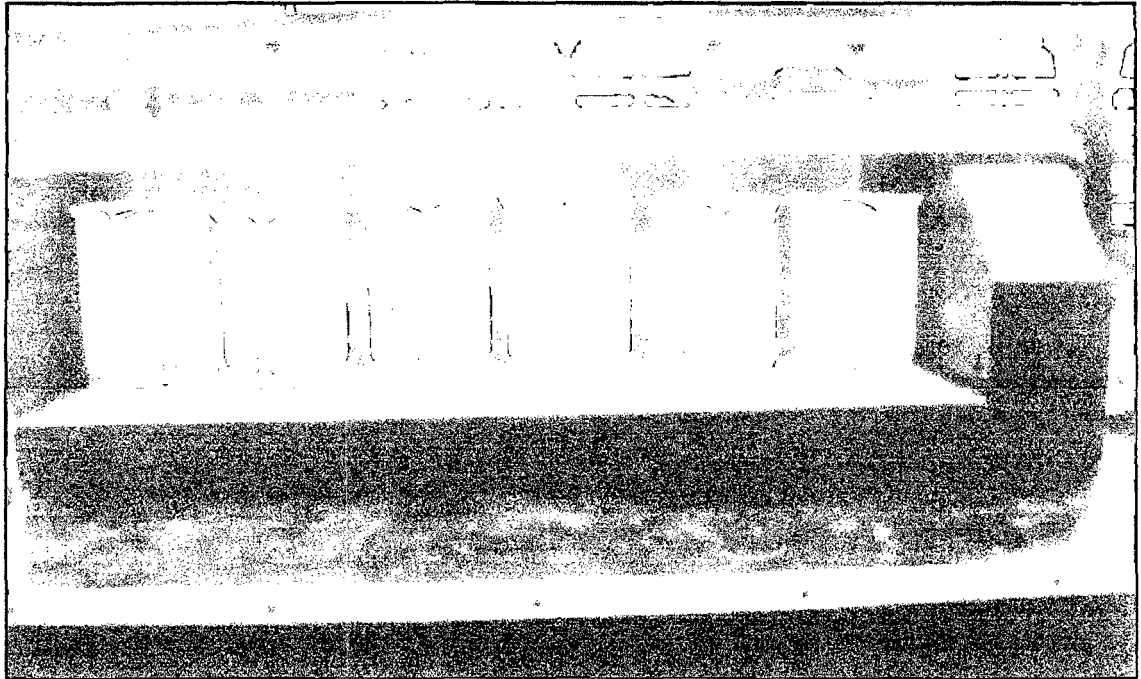


Imagen 4. Equipo de prueba de Jarras Phipps & Bird

7.1.3 SISTEMA DE DOSIFICACION

Las unidades de agitación múltiple usadas en las pruebas de coagulación deben ser equipadas con las facilidades necesarias para la adición de coagulantes químicos en forma rápida y simultanea a cada vaso o jarra. Este equipo es importante cuando una sola persona realiza la prueba.

La mayoría de los equipos comerciales olvidan este detalle, que es la causa de muchos resultados erróneos. Los estudios muestran que las diferencias que existen en el tiempo de adición de los reactivos químicos de las soluciones a los diferentes vasos pueden afectar significativamente los resultados, particularmente cuando se usan ayudantes de coagulación. También puede alterar los resultados la velocidad de adición, que debe ser lo más rápido posible.

Una manera simple de evitar estas dificultades es medir las cantidades de coagulante que se van a aplicar a cada jarra con una pipeta y verterlo en vasitos, de los cuales se succiona mediante jeringas hipodérmicas desechables,

provistas de su aguja. Se llena cada jeringa con la dosis respectiva, se retira la aguja y se la coloca delante la jarra correspondiente. Al momento de aplicar el coagulante, con el equipo funcionando y programado con los tiempos y gradientes adecuados se aplastan las jeringas lo más rápido posible. Se requiere de por lo menos tres personas para efectuar una aplicación correcta, considerando que cada una aplica a dos jarras, una de ellas da la voz indicando el tiempo de inicio de la prueba y la otra acciona el equipo esto permite la aplicación simultánea e instantánea en todas las jarras.

Cabe señalar que existen equipos auxiliar que permite que una sola persona ejecute toda la prueba, (el cual no ha sido usado en este investigación).

En general, se recomienda aplicar la dosis de coagulante muy cerca del agitador, con el equipo operando con la gradiente de mezcla y aplicando exactamente lo que se debe efectuar en el mezclador de la planta. Los equipos de prueba de jarras automáticos, que permiten velocidades de hasta 300 revoluciones por minuto, son ideales para efectuar simulación de procesos y en ellos la bondad de los resultados depende mucho de la exactitud con la que se ejecuta la prueba. Utilizando estos equipos y estatores o deflectores en las jarras, se pueden obtener gradientes dentro del rango recomendable para mezcla rápida, con tiempos tan breves como 5 segundos, al cabo de los cuales el equipo automáticamente cambia para el gradiente de floculación programado.

7.1.4 SISTEMA DE AGITACIÓN

7.1.4.1 DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA

La variable que más importancia tiene en la prueba de jarras es la intensidad de agitación expresada como gradiente de velocidad. Se utilizan paletas o rotores, accionados en forma mecánica o magnética y pueden utilizarse una o más paletas. En el cuadro 3 se detallan las características de las paletas.

Cuadro 3. Características de agitadores

Tipo de Paleta	Numero de paleta	Diámetro (cm)	Área proyectada (cm ²)	Observaciones
Plana – 1	2	7 y 6	17,5	a
Plana – 2	2	7,2	28,8	b
Plana – 3	2	7,2	18,4	c
Helice	3	5,0	4,5	d
Doblada	2	5,0	2,8	

- a) Utilizada en el modelo de Phipps y Bird
- b) Tipo impulsor marino
- c) Utilizada por Florida 1 – Enviroment specialities.
- d) Utilizada por Florida 2 – Enviroment specialities.

Cuando no se utilizan estatores, es necesario elevar la velocidad de valores superiores a los que normalmente operan los equipos. La inercia durante el ensayo de la floculación ocasiona la formación de un helicoide que afecta el procedimiento y que se evidencia en una disminución de la eficiencia en el ensayo de sedimentación. Por esta razón, se recurre al uso de estatores o deflectores fijos de tipo continuo tales como los indicadores en la imagen 5.



Imagen 5. Deflectores dentro de los vasos de 2 litros

7.1.4.1.1 DETERMINACION DE LA GRADIENTE DE VELOCIDAD

Ruey, Hudson, Singley y Camp determinaron los gradientes de velocidad para diferentes tipos de rotores y deflectores. En la figura 22 se muestra el ábaco correspondiente a jarras de 2 litros con o sin deflectores.

Los valores indicados en el grafico pueden ser modificados para cualquier temperatura o volumen, siempre y cuando se mantengan las relaciones geométricas por medio de las relaciones siguientes:

Nomenclatura:

μ = Viscosidad absoluta del agua para una temperatura (t), la cual determina un gradiente (G).

μ_x = Viscosidad absoluta del agua para una temperatura diferente de (t).

V_1 = Volumen del recipiente para un gradiente (G) que normalmente es de 2 litros.

V_2 = Volumen para el cual se desea determinar el nuevo gradiente de velocidad (G_x).

a = Area de paletas del equipo normalmente utilizado (Phipps y Bird).

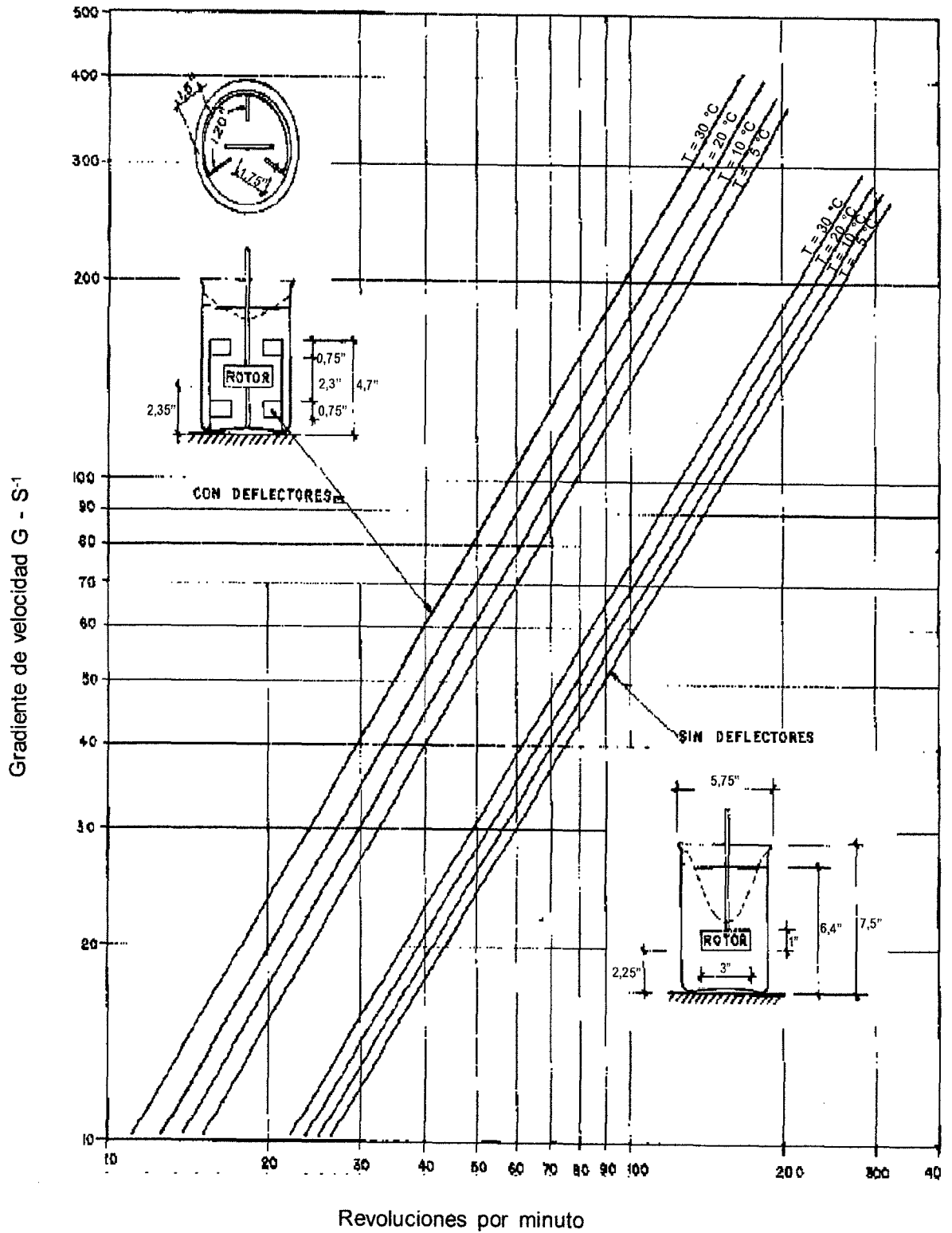


Figura 22. Ábaco que relaciona el gradiente de velocidad con la revoluciones por minuto de un equipo de prueba de jarras con recipientes de 2 litros. Jarra de sección circular

7.1.5 DESCRIPCION DE LAS JARRAS

Las jarras o vasos que se van a utilizar deben ser acomodados en el aparato y tener 2.000 ml de capacidad; en caso de no tenerse vasos de este tamaño, podría optarse por vasos de 1,000 ml. Se debe evitar usar vasos mas pequeños debido a la dificultad en la adición de pequeños volúmenes de coagulantes y ayudantes para obtener muestras satisfactorias del agua sedimentada. Podrían usarse botellas cuadradas, pero antes deben asegurarse las modificaciones producidas por cambio de secciones para el cálculo de gradientes.

En lo posible, debe evitarse el lavado de las jarras con detergentes, ya que muchos de estos tienen compuestos aniónicos que son fuertemente absorbidos por las paredes de las jarras de vidrio. Si estos no son completamente removidos, pueden afectar los resultados de las pruebas en forma significativa.



Imagen 6. Jarra de precipitación de 2 litros

7.1.6 SISTEMA DE TOMA DE MUESTRAS

Después de la mezcla rápida y la floculación, se tiende a sedimentar en condiciones adecuadas, es decir, evitar el manipuleo innecesario de las jarras una vez terminado el proceso de simulación de la floculación y colocación de tomadores de muestra. Los estatores descritos anteriormente ayudan a minimizar la rotación persistente del agua dentro del vaso durante el periodo de sedimentación. Luego se succiona el sobrenadante por medio de un sifón de 4 mm de tubo de vidrio (véase la imagen 7). Este sifón debe ser torcido en dirección horizontal en el punto de muestreo para que sea representativo de una profundidad determinada (6 cm). El sifón debe ser construido como para dar iguales velocidades de flujo en cada vaso y así disminuir la posibilidad de arrastre de sedimentos. El sifón está sostenido por un flotador de tecnopor, que va a ayudar a mantener constante la altura de toma de la muestra y el nivel del agua.

Antes de tomar la muestra, se debe descartar, a través del sifón, aproximadamente 10 ml de agua (4 o 5 s antes del pitido que señala el tiempo de sedimentación), y luego se toma más de 30 ml de muestra para la determinación de la turbiedad.



Imagen 7. Tomadores de muestra en los vasos de 2 litros

7.1.7 EQUIPO AUXILIAR EN LAS PRUEBAS DE JARRAS

Además de la unidad de agitación, es necesario un cronometro para controlar el tiempo que demoran las diferentes operaciones comprendidas en las pruebas. También se requieren medidores de turbiedad, pH e instrumentos de vidrio.

7.1.7.1 TURBIDÍMETRO

La medición de la turbiedad del agua se considera como el parámetro más importante para caracterizar los procesos. La medición de la turbiedad se logra mediante el uso de un turbidímetro convencional que mide la intensidad de la luz que pasa a través de una muestra de agua o la intensidad de la luz que es dispersada por las partículas en suspensión que están presentes en la muestra, generalmente desde una dirección situada a 90° de la dirección original del haz de luz. Un ejemplo de un turbidímetro que en su diseño usa el principio de transmisión es el Hellige. De los que miden la dispersión de la luz, denominados turbidímetros nefelométricos, tenemos el Hach 2100-A y el DRT 100 de Estados Unidos.

7.1.7.2 MEDIDOR DE pH

Desde tiempo atrás es conocido que la efectividad de la coagulación depende directamente del pH. Debido a ello, la medición de este parámetro antes y después de la floculación tiene importancia básica, por lo cual debe disponerse de un medidor de pH de preferencia potenciómetro. Como alternativa podría usarse uno colorimétrico.

El pH es un indicador de la concentración de los iones hidrogeno en solución $pH = \text{Log}_{10} (H^+)$ y debería ser leído con una sensibilidad de 0,01 unidades en el medidor de pH con electrodos de vidrio y para referencia de calomel, que dispone de un compensador de temperatura. Este medidor debe ser calibrado con una solución amortiguadora fresca cuyo pH esta en el rango de

operación deseada. En general, para la medición de aguas naturales y tratadas en plantas de potabilización, se requiere una precisión de 0,05 unidades.

7.1.7.3 VIDRIERÍA

Además de los seis vasos de precipitado o jarras adecuadas que de preferencia son de 2 litros de capacidad, debe disponerse de pipetas de Mohr de 2 y 10 ml para la adición de coagulantes a los vasos, seis frascos de vidrio de 120 ml, dos buretas con sus respectivos soportes y, por lo menos, 6 vasitos de 50 ml por corrida. En lo posible, esta prueba debe efectuarse a la misma temperatura que tiene la planta de tratamiento y es necesario controlarla en diferentes puntos del proceso, para lo cual es conveniente tener un termómetro adecuado.

7.1.8 PRECAUCIONES Y LIMITACIONES

Con la prueba de jarras se trata de reproducir las condiciones en las cuales se desarrollan los procesos de floculación y sedimentación en la planta de tratamiento. Sin embargo, dado el pequeño volumen (1 a 2 litros) que tienen los vasos de precipitado, en comparación con el gran volumen de los tanques de floculación reales, la prueba de jarras constituye una reproducción parcial del proceso. Las razones para esto son de orden físico y químico, entre otras son las siguientes:

- a) En los reactores existe un flujo continuo en cambio, en las jarras no hay flujo. Esto hace que en los primeros, la masa de agua sufra un tratamiento desigual, debido a que parte de ella queda retenida (espacios muertos), mientras que otra parte pasa casi de inmediato. En cambio, en las pruebas de jarras, el agua queda retenida durante todo el tiempo que dura el ensayo (reactor del tipo de tanda o cochada)
- b) La escala de las jarras no guardan relación con la escala del floculo, por cuanto este se produce a escala natural y, en cambio, las jarras son cientos de veces más pequeñas que los floculadores. Por tanto la

proporción entre la escala de la turbulencia que se produce en uno y otro caso y el tamaño del floculo es diferente lo que afecta la velocidad de aglutinamiento de las partículas.

- c) La dosificación de los coagulantes y la agitación de la masa de agua pueden ser mucho mejor controladas en la prueba de jarras que en la planta de tratamiento.

No obstante de estas deficiencias la prueba de jarras sigue siendo el método más usual de los que hasta ahora disponemos para controlar los factores químicos involucrados en los procesos de coagulación, floculación y decantación. El hecho de que la prueba de jarras sea un ensayo rutinario en la operación de las plantas de Tratamiento de Agua Potable no significa que pueda ejecutarse descuidadamente lo que por desgracia suele ser bastante común.

7.2 METODOLOGÍA

La metodología adoptada comprende las siguientes etapas.

7.2.1 OBTENCION DEL PRODUCTO COAGULANTE A PARTIR DE LA SEMILLA DE MORINGA OLEIFERA

- **Extracción del aceite de la semilla**

La semilla de Moringa Oleifera posee, aproximadamente, un 40% de su peso de un tipo de grasa (aceites) que no posee propiedades coagulantes y deja un residual lipídico en el agua tratada, para lograr la separación del aceite se peló la semilla dejándola sin la cáscara, luego por el método de presado se extrajo el aceite y los lípidos

- **Molienda de la semilla sin cáscara ni aceite**

Este extracto ya sin el aceite, se pasó por una maquina moledora de granos con la finalidad de convertirla en harina, este producto final resulto de color crema y olor agradable.

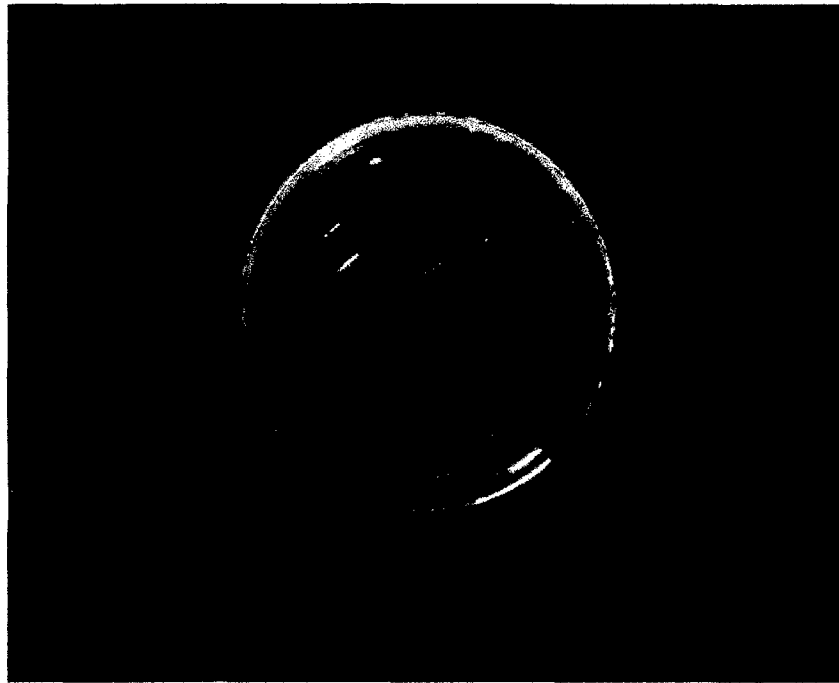


Imagen 8. Polvo de semilla de moringa oleifera

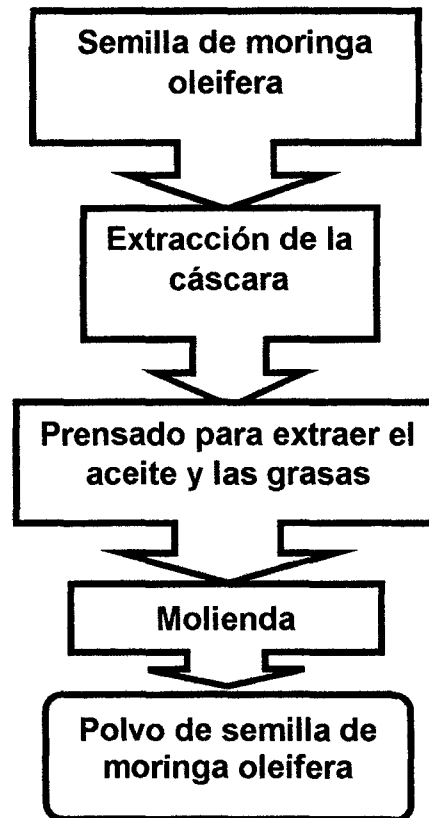


Figura23. Diagrama de flujo para la obtención del polvo de semilla de moringa oleifera

7.2.2 PREPARACION DE LA SOLUCION DE MORINGA OLEIFERA COMO COAGULANTE PRIMARIO.

La solución del coagulante primario se realizo siguiendo los siguientes pasos

- La solución, para las distintas concentraciones, se preparo agregando el extracto de semilla de moringa oleifera a un volumen de agua destilada y se agito hasta obtener una solución homogénea. La concentración se hallo con la siguiente ecuación:

$$\%C = \frac{W}{V} \times 100\%$$

Donde:

C : concentración de la sol. de coagulante natural (10 000 mg/lt <> 1%)

W : peso del extracto de semilla de moringa oleifera en gr.

V : volumen de agua destilada en ml.

- Para el cálculo del volumen de solución de coagulante natural para una dosis determinada, se utilizo la ecuación de balanceo de masa.

$$Q \times D = q \times C$$

Donde:

Q : Volumen del agua en las jarras (2 l) en ml.

D : Dosis de coagulante en mg/l.

q : volumen de la solución de coagulante en ml.

C : concentración en mg/l.

7.2.3 PREPARACION DE LA SOLUCION DE MORINGA OLEIFERA COMO AYUDANTE DE COAGULACION.

- La preparación de la solución de moringa oleifera para ser utilizada como ayudante de coagulación, en este caso será idéntica al caso de la preparación de la solución de moringa oleifera como coagulante primario.

7.2.4 DETERMINACION DE LA DOSIS ÓPTIMA

7.2.4.1 Objetivo

El objetivo de este ensayo es determinar la dosis de coagulante que produce la más rápida desestabilización de las partículas coloidales que permite la formación de un floculo grande, compactado y pesado, que puede ser fácilmente retenido de los decantadores y que no se rompa y traspase el filtro.

Debe observarse que no necesariamente el floculo que sedimenta con rapidez es el que queda retenido en el filtro. El flóculos que se busca es el que dé mayor rendimiento en todo el conjunto de procesos.

7.2.4.2 Equipos, materiales y reactivos

Un equipo de prueba de jarras con 6 jarras de 2 litros cada uno, 6 deflectores, 6 tomadores de muestras y 6 jeringas hipodérmicas desechables de 10 ml (en algunas pruebas se uso jeringas de 50 ml), con sus agujas, 1 turbidímetro, 1 pH-metro, 6 vasitos de 50 ml, 1 fiola graduada con tapa esmerilada de 100, 200, 250 y 500 ml, 1 vaso de 500 ml, 1 bagueta, balanza electrónica, 1 luna de reloj y 1 espátula, además del extracto de semilla de moringa oleifera, sulfato de aluminio, y agua destilada.

7.2.4.3 Procedimiento

- a) Se determinó la temperatura, la turbiedad, el pH, la alcalinidad y la dureza del agua cruda con la que se va a trabajar.
- b) Se preparó una solución de moringa oleifera a la concentración de 2%, cuando el coagulantes es sulfato de aluminio se preparó a la concentración de 1%, y calculamos la cantidad de coagulantes que se va a aplicar a cada jarra mediante la ecuación de balance de masas.

$$P = D \times Q = q \times C$$

Donde:

P = peso de coagulante por aplicar

Q = dosis de coagulante en mg/L

Q = Capacidad de la jarra en litros

Q = volumen de solución por aplicar (ml)

C = concentración de la solucionen mg/l

- c) Se colocó cantidades del coagulante (solución de moringa oleífera) que se va a aplicar a las jarras en cada vasito mediante una pipeta. Seguido se succionó el contenido de cada vasito con una jeringa hipodérmica con la aguja puesta, para extraer hasta la última gota.
- d) Se retiró la aguja y cada una de las jeringas se colocó delante de cada jarra correspondiente.
- Se programó el equipo de prueba de jarras programando los memorias de la siguiente manera:
- Memoria 1 = tiempo: 5 segundos, Velocidad = 300 rpm
- Memoria 2 = tiempo: 20 minutos, Velocidad = 32 rpm
- Si en el ábaco de la figura 22 entramos a las curvas que corresponden a una prueba con estándares con una velocidad de 300 rpm y temperatura promedio de 20°C, podemos comprobar que en estas condiciones se consigue un gradiente de velocidad de aproximadamente 770 s⁻¹. Asimismo, durante la etapa de la floculación con 32 rpm se estará aplicando un gradiente de velocidad de 37 s⁻¹ que corresponde a un gradiente de floculación promedio.
- e) Se inicia el funcionamiento del equipo, aplicando en forma simultánea e instantánea el coagulante (solución de moringa oleífera) a todas las jarras, cuidando de que la solución penetre profundamente para que la dispersión sea más rápida. Teniendo en cuenta que para que el proceso sea bien simulado el coagulante debe aplicarse en el punto de máxima turbulencia, es decir, al centro de las paletas.
- f) Una vez que el equipo concluye con los tiempos de mezcla y floculación, este se apaga simultáneamente y se procedió a retirar las jarras, colocar los tomadores de muestras, se cebó los sifones utilizando una jeringa, el extremo del sifón se sujetó utilizando una liga (colocada alrededor de la jarra), y dejamos sedimentar el agua por 20 minutos cuando el coagulante es moringa oleífera y 10 minutos cuando el coagulante es sulfato de aluminio.

g) Cumplido el tiempo de sedimentación seleccionado, descartamos de manera simultanea en las 6 jarras por un espacio de 5 segundos, el agua atrapados en el sifón, antes de tomar las muestras a todas las jarra en un volumen de aproximadamente 30 ml, y medimos la turbiedad.

h) Los resultados obtenidos se graficaron (ver capítulo 7) para poder seleccionar como dosis optima aquella que produce la mayor turbiedad residual.

Para el caso de la solución de moringa oleifera utilizada como ayudante de coagulación el orden en el procedimiento será el siguiente: el sulfato de aluminio será adicionado en el instante en que se inicie la mezcla rápida, e inmediatamente después se adicionará la solución de moringa oleifera como ayudante de coagulación.

Para la determinación de la dosis óptima se mantiene constante la dosis óptima de sulfato de aluminio y se procederá a variar la dosis óptima de moringa oleifera, una vez determinada la dosis optima de solución de moringa oleifera se repite la prueba manteniendo a esta constante variando la dosis de sulfato nuevamente, con la finalidad de analizar si se produce alguna reducción en la dosis del sulfato de aluminio.

7.2.5 DETERMINACION DE LA CONCENTRACION ÓPTIMA

7.2.5.1 Objetivo

Determinar la concentración de coagulante (solución de moringa oleifera) que optimice el proceso.

7.2.5.2 Equipos y materiales

Los mismos indicados para determinar la dosis óptima

7.2.5.3 Procedimiento

- a) Una vez determinadas la dosis de solución de moringa oleifera al 2%, el siguiente paso será el ver la influencia de la concentración en la remoción de la turbiedad.
- b) La preparación de la solución de moringa oleifera a distintas concentraciones se explica en el punto 6.2.3. se preparó una la solución para cada concentración, es decir, se partió de una solución madre para agregar mayor precisión a las pruebas.
- c) Se llenó las jeringas de acuerdo con el procedimiento indicado para la dosis óptima, pero colocando en todas las misma dosis óptima ya determinada, con las diferentes concentraciones de solución preparadas.
- d) Se procedió a efectuar la mezcla rápida, la floculación y la decantación de acuerdo con lo indicado en la prueba anterior.
- e) Se determinó la turbiedad residual de cada jarra correspondiente, cada uno de concentración diferente y se hizo gráficos como los que se uso para determinar la dosis óptima (ver capítulo 7) y se escogió la concentración de la curva que deja la menor turbiedad residual.

7.2.6 DETERMINACION DEL pH ÓPTIMO DE COAGULACION

7.2.6.1 Objetivo

Determinar el rango de pH óptimo para las muestras estudiadas, cuando se utilizó la solución de moringa oleifera como coagulante primario.

7.2.6.2 Equipos y materiales

Equipo de prueba de jarras, con todos los aditamentos indicados en las pruebas anteriores, turbidímetro nefelométrico, equipo para determinar el pH de la muestra, Acido sulfúrico diluido 0.1 N, hidróxido de sodio diluido 0,1 N

7.2.6.3 Procedimiento

- a) La hipótesis plantea remover turbiedad es por eso que en este el rango de pH considerado fue de 6 a 9.
- b) Se prepararon las muestras a diferentes pH, separando la muestra en baldes de 20 litros, las muestras tenía un pH natural de 7.6 y 7.7. Para obtener un pH menor, se agrega acido sulfúrico gota a gota removiendo constantemente para homogenizar y manteniendo el bulbo del medidor de pH dentro de la muestra para determinar el cambio de Ph.
- c) Una vez ajustado los pH para las 6 jarras, procedimos a efectuar la prueba con los parámetros de dosis y concentración determinados anteriormente y bajo las mismas condiciones de operación para el equipo de prueba de jarras, es decir, 300 rpm por 5 segundos (mezcla rápida) y a 32 rpm por 20 minutos. Se superponen los resultados de todas las jarras en un mismo grafico para determinar el pH optimo (ver capitulo 7).

7.2.7 DETERMINACION DE LOS PARÁMETROS DE FLOCULACION

7.2.7.1 Propósito

El propósito de este ensayo es la determinación de los parámetros de *floculación* *gradiente de velocidad* (G) y *tiempo de retención* (T); en función de las dosis óptimas determinadas y empleando el método de Villegas y Letterman.

7.2.7.2 Equipos y materiales

Los mismos indicados en la determinación de la dosis óptima

7.2.7.3 Procedimiento

- a) Se determinaron los parámetros básicos de calidad: turbiedad, pH y alcalinidad de cada muestra de agua cruda.
- b) Se prepararon 6 jarras con la muestra del agua cruda que se va a flocular.
- c) Se puso a funcionar el equipo con la máxima velocidad de rotación de las paletas (en nuestro caso fue 300 rpm) a partir de la aplicación de coagulante se realizará la mezcla rápida durante un tiempo instantánea de 5 segundos.
- d) Al finalizar la mezcla rápida, se iniciará el proceso de floculación, para lo cual se ajustó la memoria del equipo para uno de los gradientes de velocidad seleccionados. El rango de gradientes de velocidad óptima para esta prueba fluctuó entre 80 y 20 s⁻¹.
- e) Luego de iniciada la floculación, a los 5 minutos se retiró la primera jarra se colocó el tomador de muestras y se dejó sedimentar durante 20

minutos cuando el coagulante fue moringa oleifera y 10 minutos cuando el coagulante fue sulfato de aluminio. Después de 10 minutos se retiró la segunda luego de 15, la tercera y así sucesivamente, hasta que a los 30 minutos se retiró la última, concada jarra se procedió de modo similar.

- f) Se determina la turbiedad residual (T_f) a cada muestra
- g) Se repitió el ensayo incrementando el gradiente de velocidad de acuerdo con el intervalo seleccionado.
- h) Se graficó en escalas aritméticas la eficiencia residual (T_f) versus los tiempos de floculación de cada una de las jarras de las que proceden las muestras analizadas. En este gráfico se determina el tiempo total de floculación, en función del punto en que se produce el menor valor de (T_f).
- i) Posteriormente, se graficaron los valores de (T_f) versus gradientes de velocidad, para cada tiempo de floculación analizado. En cada curva de tiempo se produce un tiempo mínimo (punto de inflexión de la parábola), que corresponde al gradiente de velocidad que optimiza con ese tiempo de retención. Este punto mínimo es el de máxima eficiencia remocional para el tiempo de retención correspondiente. En cada curva de tiempo se identifica el punto mínimo tomando el gradiente de velocidad óptimo correspondiente.
- j) Se graficaron en formato doble logaritmo los valores de tiempo versus gradientes de velocidad óptimas. Se determinó la línea de mejor ajuste de estos puntos aplicando mínimos cuadrados y se determina la ecuación de correlación y el grado de ajuste (ver capítulo 7).
- k) El tiempo de retención determinado en el gráfico T_f vs tiempos de floculación lo dividimos entre 3 (recomendación de diseño) y con cada tiempo entramos en la ecuación de correlación y determinamos la gradiente de velocidad correspondiente.

7.2.8 DETERMINACION DE LA VELOCIDAD ÓPTIMA DE SEDIMENTACIÓN

7.2.8.1 Propósito

Determinar la tasa de decantación óptima y la eficiencia emocional de un decantador laminar de placas en condiciones ideales. Para nuestro caso se determino para determinar la eficiencia comparativa con el sulfato de aluminio.

7.2.8.2 Equipos y materiales

Los indicados para la determinación de la dosis óptima.

7.2.8.3 Procedimiento

- a) Se llenaron 2 jarras y se colocaron en el equipo con la muestra de agua en estudio. Se enciende el equipo y se agrega la dosis óptima, realizando la mezcla rápida de acuerdo con lo indicado anteriormente. Se programo la memoria del equipo con los parámetros de mezcla (300 revoluciones por minuto y 5 segundos) y a continuación se colocan las revoluciones (equivalentes a las gradientes) y el tiempo de mezcla seleccionados para cada muestra (ver capítulo 7).
- b) Las gradientes y el tiempo de mezcla van a darse en forma consecutiva simulando el paso del agua por una unidad de floculación.
- c) A cada jarra se le tomo una muestra a un tiempo diferente de forma intercalada. La primera, a los 2 minutos, la segunda a los 4, la tercera a los 6, la cuarta a los 8, la quinta a los 10 y la 6ta a los 20 minutos, esto en el caso de la moringa oleifera, para el caso del sulfato de aluminio fue de 1, 2, 3, 4, 5 y 10 minutos respectivamente. Seguido de esto se determino la turbiedad residual de las muestras.

- d) Se calcularon los valores de (h/t) para cada tiempo de toma de muestra. Este valor corresponde a (V_s) , la velocidad de sedimentación en (cm/s). El valor de (h) es la altura de toma de muestra graduada en el sifón, la cual fue de 6 cm.
- e) Con los valores de (V_s) en cm/s en las abscisas y los valores de $(Co = T_f/T_o)$ en las ordenadas, se obtiene la curva de sedimentación para las muestras estudiadas, las cuales han sido determinadas para cada muestra (ver capítulo 7).
- f) Los valores de (V_s) en cm/s, se ingresan a la curva de sedimentación obtenida en el ensayo (ver capítulo 7) y se determinan los valores correspondientes de $(Co = T_f/T_o)$
- g) Se tomo de la curva los valores de (C_f) y (a) . (C_f) es la porción de turbiedad que no se removió en el proceso. La curva tiene una porción inicial (lado izquierdo de la curva en que se vuelve asintótica, no importa cuan largo sea el tiempo de sedimentación que demos a la muestra, la turbiedad que solo puede ser removida por el filtro. El valor de (a) corresponde a esta velocidad a partir de la cual la velocidad con que se justificara proyectar un decantador para esa agua, porque aunque tomáramos valores menores, la remoción será la misma y estaríamos agrandando la unidad sin conseguir mayor eficiencia.
- h) Se calcularon el porcentaje total de remoción (R_t) , la turbiedad removida (T_f) y la turbiedad final o remanente (T_f)

$$R_t = [1 - (Co - C_f)] + [(a + V_s)/2 V_s] (Co - C_f)$$

$$T_r = R_t \times T_o$$

$$T_f = T_o - T_r$$

La meta de calidad propuesta para el efluente debe ser no mayor de 2.0 UNT, por lo que se procedió a identificar con que tasa de decantación se obtendría un efluente de esta calidad.

7.2.9 PARAMETROS A ESTUDIAR EN LOS ENSAYOS

- Dosis optima
- Concentración optima
- pH optimo
- Gradiente de velocidad
- Tiempo optimo de floculación
- Tasa optima de sedimentación

CAPÍTULO 8

**CÁLCULOS Y
RESULTADOS**

CAPÍTULO 8

CÁLCULOS Y RESULTADOS

Los resultados que se presentan a continuación son los correspondientes a las pruebas de dosificación, concentración, floculación y sedimentación con cada una de las tres muestras provenientes del Río Rímac utilizando la solución del extracto de semilla de moringa oleifera como coagulante primario, sulfato de aluminio como coagulante primario y la solución del extracto de semilla de moringa oleifera como ayudante de coagulación del sulfato de aluminio.

8.1 TURBIEDAD BAJA: MUESTRA Nº 1, 30 UNT

8.1.1 CARACTERÍSTICAS DEL AGUA CRUDA

- Procedencia: Río Rímac
- Fecha de la muestra: 23 de Diciembre de 2011
- Alcalinidad: 86 mg/l CO_3Ca
- Dureza total: 168 mg/l CO_3Ca
- Dureza cálcica: 142 mg/l CO_3Ca
- Dureza magnésica: 26 mg/l CO_3Ca
- pH: 7.6

8.1.2 LA SOLUCION DE EXTRACTO DE SEMILLA DE MORINGA OLEIFERA COMO COAGULANTE PRIMARIO

DOSIS ÓPTIMA

Características del coagulante:

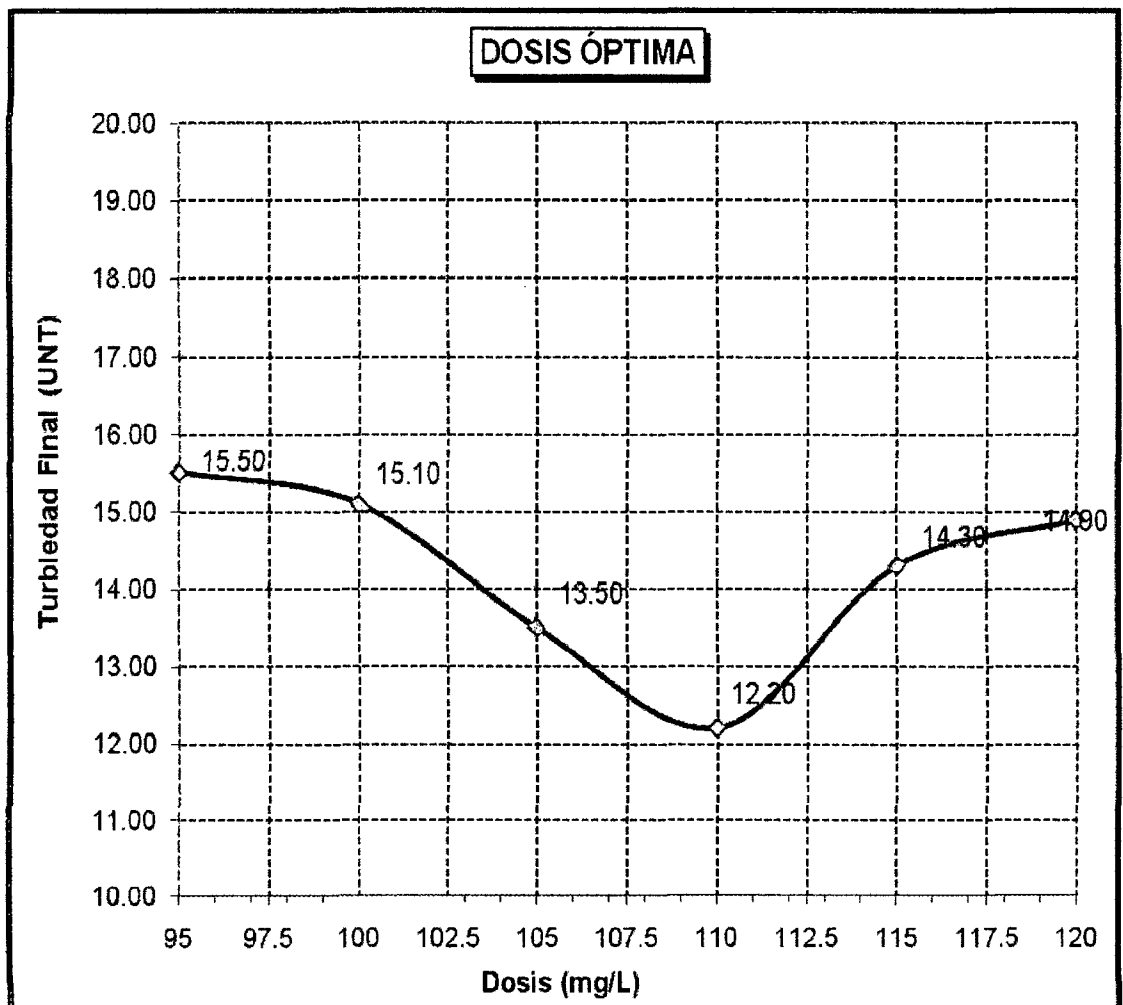
- Concentración= 2%
- Dosis= variable

PROCESO	G(s ⁻¹)	RPM	T
Mezcla rápida	720	300	5 s
Floculación	37	32	20 min
Sedimentación	0	0	20 min

Cuadro 4. Dosis óptima de moringa oleifera IA

Jarra	1	2	3	4	5	6
Dosis (mg/L)	95	100	105	110	115	120
Vol. Sol. 2%	9.5	10	10.5	11	11.5	12
Turbiedad Residual	15.50	15.10	13.50	12.20	14.30	14.90

Gráfico 1. Dosis óptima de moringa oleifera IA



$D_{\text{óptima}} = 110 \text{ mg/l}$

CONCENTRACIÓN ÓPTIMA

Características del coagulante:

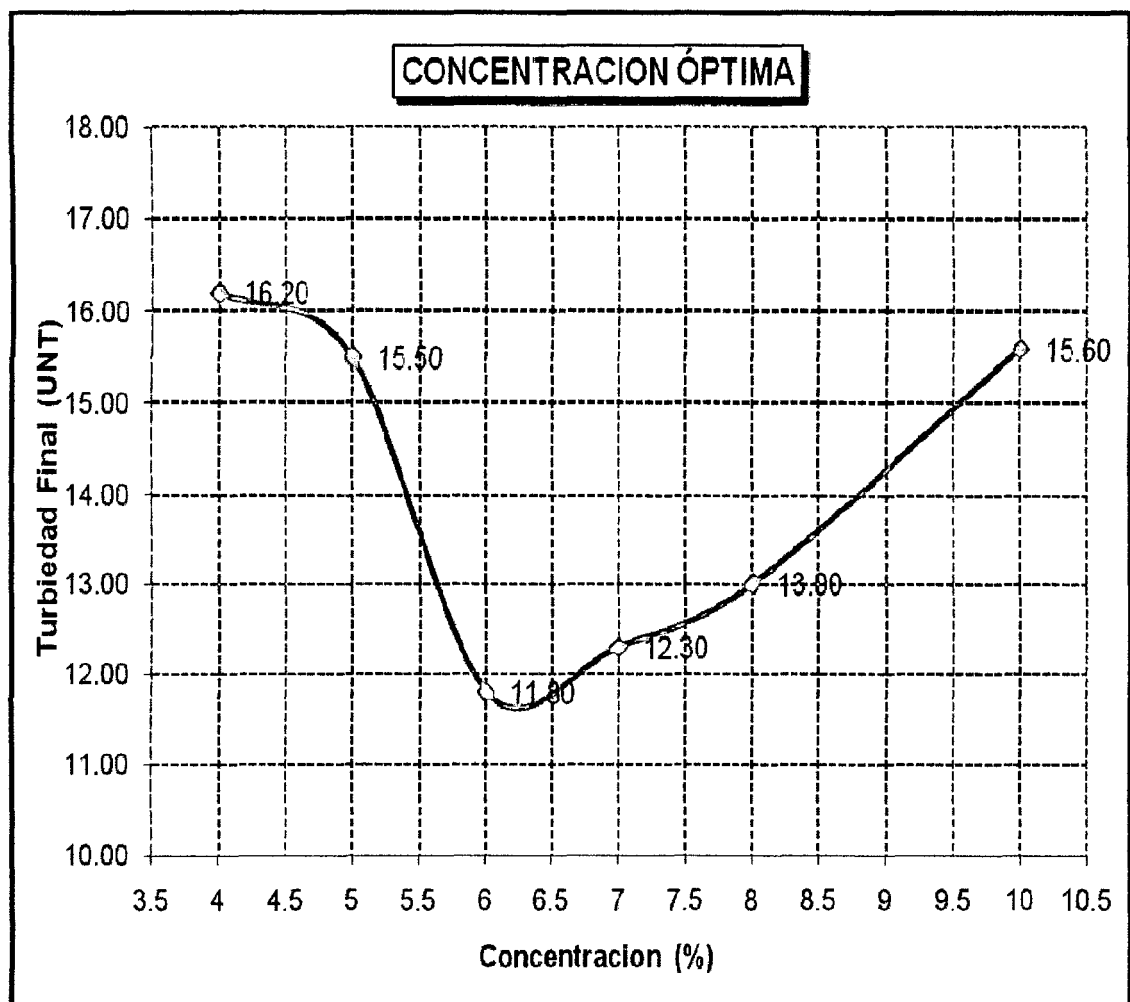
- Concentración= variable
- Dosis optima= 110mg/l

PROCESO	G(s ⁻¹)	RPM	T
Mezcla rápida	720	300	5 s
Floculación	37	32	20 min
Sedimentación	0	0	20 min

Cuadro 5. Concentración óptima de moringa oleifera IA

Jarra	1	2	3	4	5	6
Concentración (%)	4	5	6	7	8	10
Vol. Sol.	5.5	4.4	3.67	3.14	2.75	2.2
Turbiedad residual	16.20	15.50	11.80	12.30	13.00	15.60

Gráfico 2. Concentración óptima de moringa oleifera IA

C_{óptima} = 6%

pH ÓPTIMO

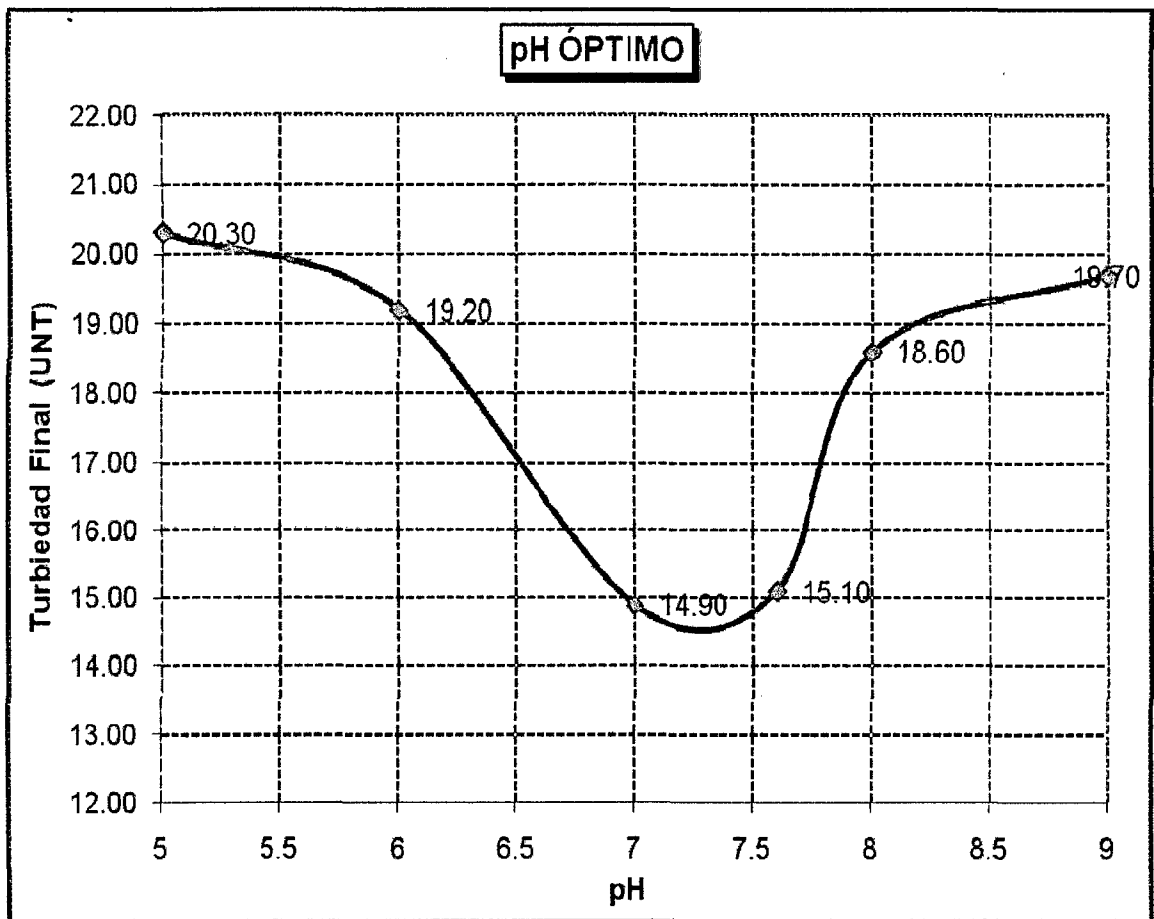
Características del coagulante:
 Concentración optima=6%
 Dosis optima= 110mg/l
 pH= variable

PROCESO	G(s ⁻¹)	RPM	T
Mezcla rápida	720	300	5 s
Floculación	37	32	20 min
Sedimentación	0	0	20 min

Cuadro 6. pH óptimo IA

Jarra	1	2	3	4	5	6
pH	5	6	7	7.6	8	9
Vol. Sol. 6%	3.67	3.67	3.67	3.67	3.67	3.67
Turbiedad residual	20.30	19.20	14.90	15.10	18.60	19.70

Gráfico 3. pH óptimo IA



pH_{óptimo} = 7.6 (natural)

PARAMETROS DE FLOCULACIÓN

Características del coagulante:

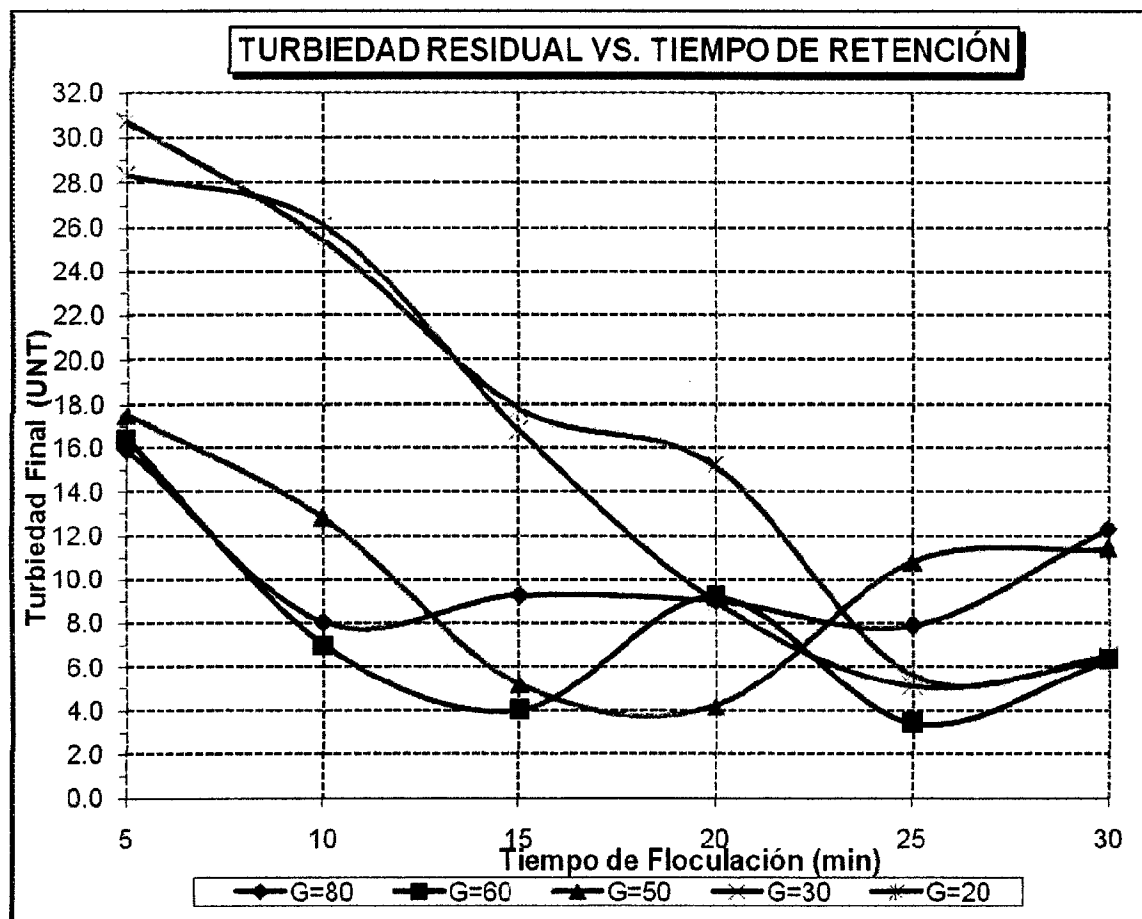
- Concentración óptima= 6%
- Dosis óptima= 110mg/l
- pH óptimo= 7.6

PROCESO	G(s ⁻¹)	RPM	T
Mezcla rápida	720	300	5 s
Floculación	20-80	21-55	30 min
Sedimentación	0	0	20 min

Cuadro 7. Resultados de ensayo de floculación IA

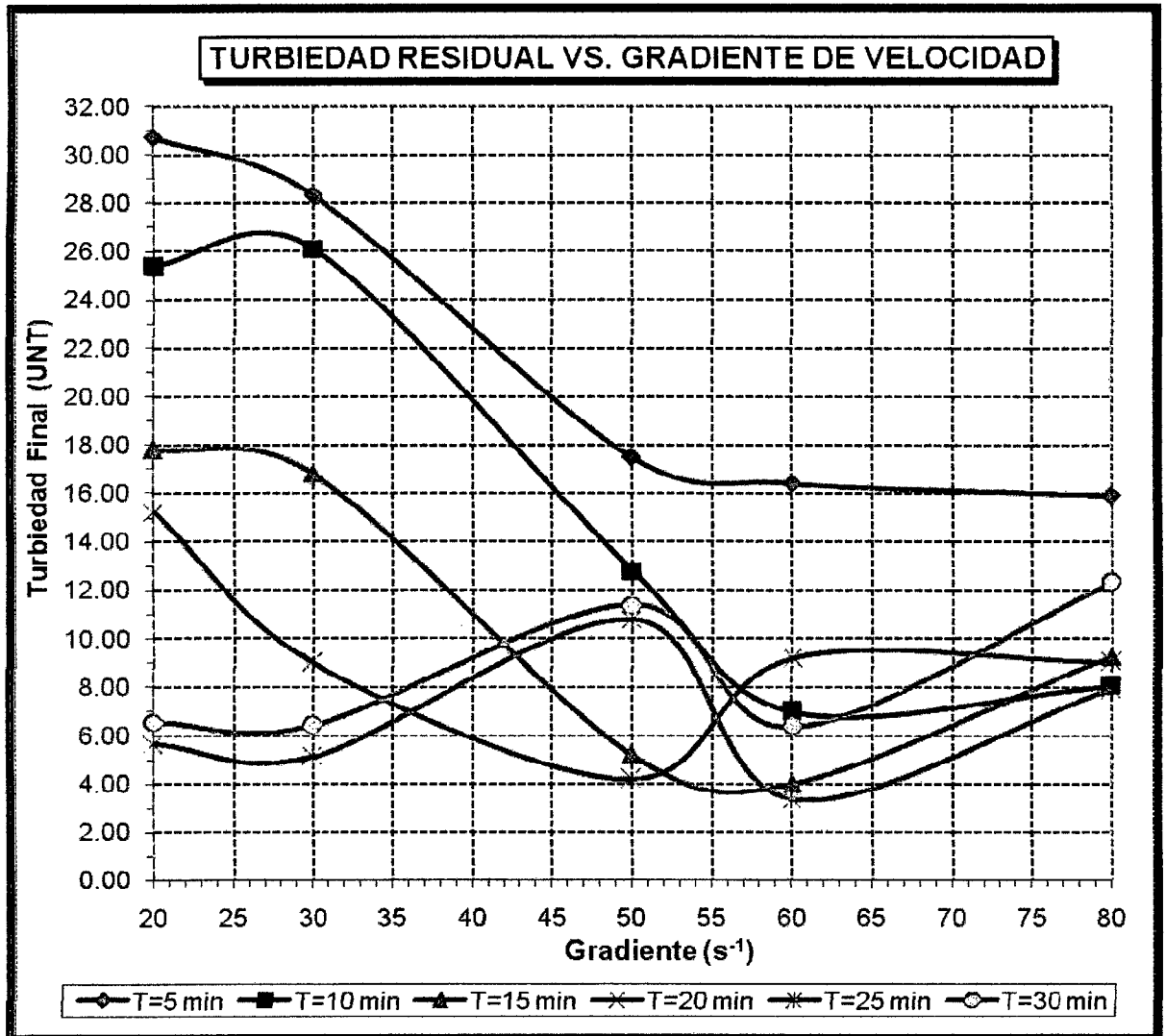
Jarra		1	2	3	4	5	6
Tiempo (min)		5	10	15	20	25	30
Vol. Sol. 6%		3.67	3.67	3.67	3.67	3.67	3.67
G1=80	55 rpm	15.90	8.04	9.27	9.03	7.91	12.32
G2=60	44 rpm	16.40	7.00	4.00	9.20	3.40	6.34
G3=50	39 rpm	17.50	12.80	5.20	4.20	10.80	11.40
G4=30	27 rpm	28.30	26.10	16.80	9.00	5.12	6.40
G5=20	21 rpm	30.70	25.40	17.80	15.20	5.63	6.52

Gráfico 4. Turbiedad residual vs Tiempo de retención IA



T_{óptimo}=27 min

Gráfico 5. Turbiedad residual vs Gradiente de velocidad IA



T(min)=	5	10	15	20	25	30
G(s⁻¹)=	80	64	57	50	28	27

De Formula

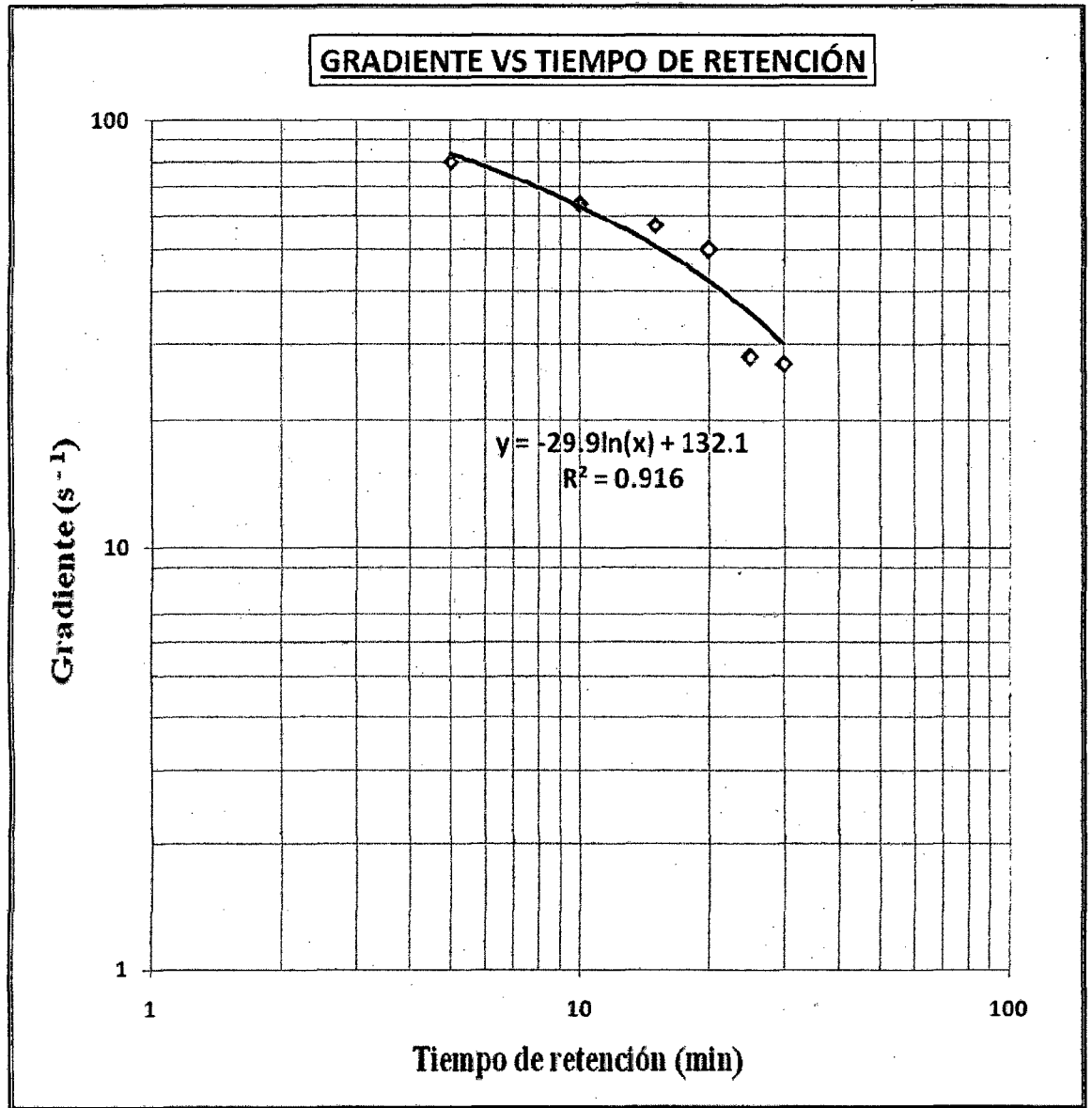
T(min)=	5	10	15	20	25	30
G(s⁻¹)=	83	63	51	42	35	30

a	b	T
-29.9	132.1	9

Para 3 tramos
 G1= 66.4s⁻¹
 G2= 45.6 s⁻¹
 G3= 33.5 s⁻¹

Para 3 tramos	
G1	66 s ⁻¹
G2	46 s ⁻¹
G3	20 s ⁻¹

Gráfico 6. Gradiente de velocidad vs Tiempo de retención IA



Con los datos obtenidos de tiempo de floculación y gradientes de velocidad óptimos procedemos a realizar los ensayos de sedimentación. Tiempo de sedimentación total de 27 min y Gradientes de 66 s⁻¹, 46 s⁻¹ y 20 s⁻¹

SEDIMENTACIÓN

Características del coagulante:

Concentración óptima= 6%

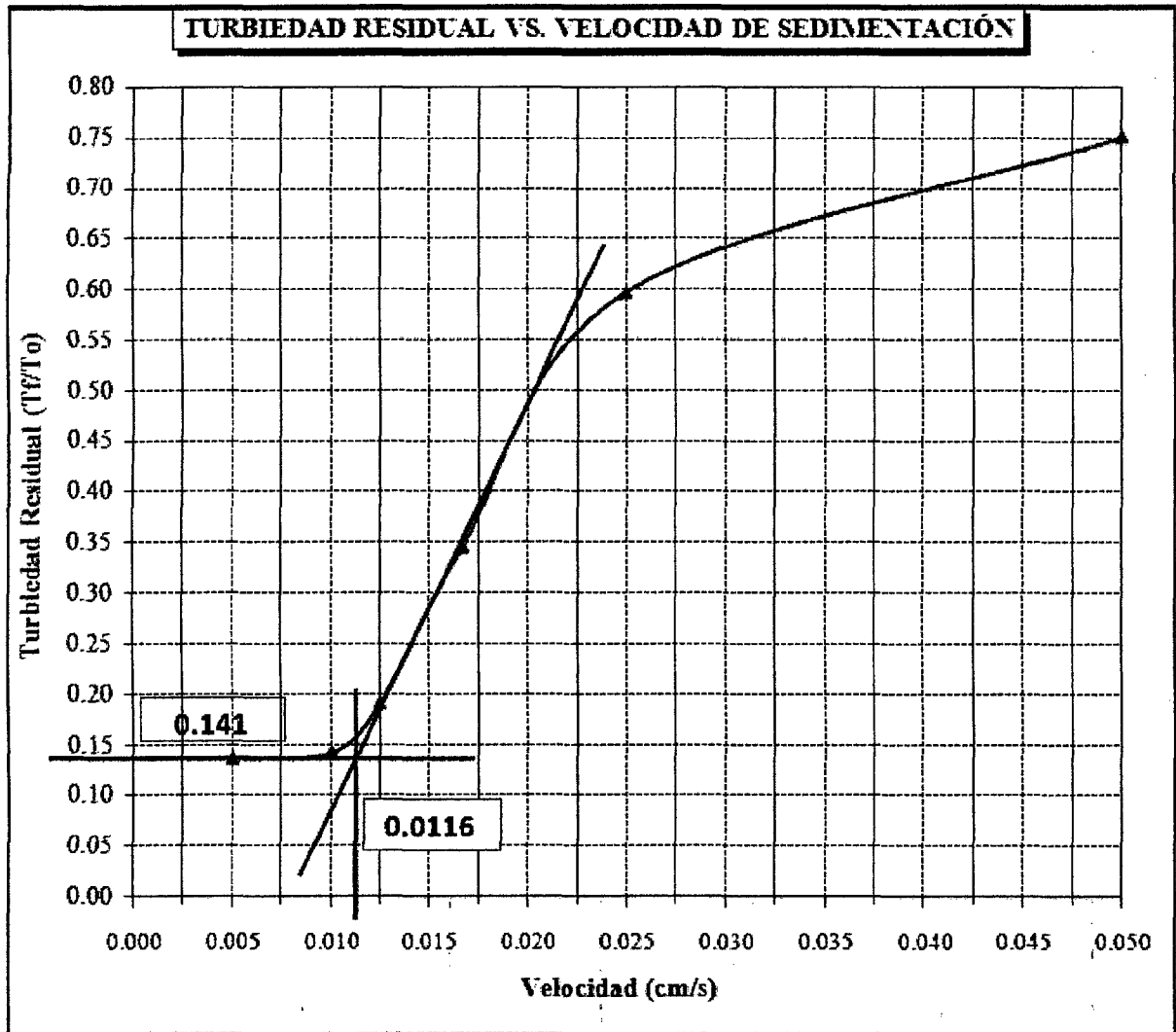
- Dosis óptima= 110mg/l
- pH óptimo= 7.6

PROCESO	G(s ⁻¹)	RPM	T
Mezcla rápida	720	300	5 s
Floculación 1	66	48	9 min
Floculación 2	46	36	9 min
Floculación 3	20	21	9 min
Sedimentación	0	0	20 min

Cuadro 8. Resultados de ensayo de sedimentación IA

Jarra	T (s)	V (cm/s)	Tf	Tf / To
1	120	0.0500	22.50	0.8427
2	240	0.0250	17.90	0.6704
3	360	0.0167	10.35	0.3876
4	480	0.0125	5.73	0.2146
5	600	0.0100	4.25	0.1592
6	1200	0.0050	4.11	0.1539

Gráfico 7. Curva de sedimentación IA



a=0.0116
Cf=0.141

Cuadro 9. Selección de la tasa de sedimentación IA

q(m ³ /m ² /d)	Vs(cm/s)	C ₀	1-(C ₀ -C _f)	R _t	Tr(UNT)	Tf(UNT)
10	0.012	0.1700	0.971	1.0000	30.001	.
15	0.017	0.3600	0.781	0.9637	28.910	1.090
16	0.019	0.4580	0.683	0.9408	28.224	1.776
17	0.020	0.4800	0.661	0.9304	27.913	1.907
20	0.023	0.5600	0.581	0.8955	26.865	3.135
30	0.035	0.6740	0.467	0.8225	24.676	5.324

Vsed= 17m³/m²/d

8.1.3 SOLUCION DE SULFATO DE ALUMINIO COMO COAGULANTE PRIMARIO

DOSIS ÓPTIMA

Características del coagulante:

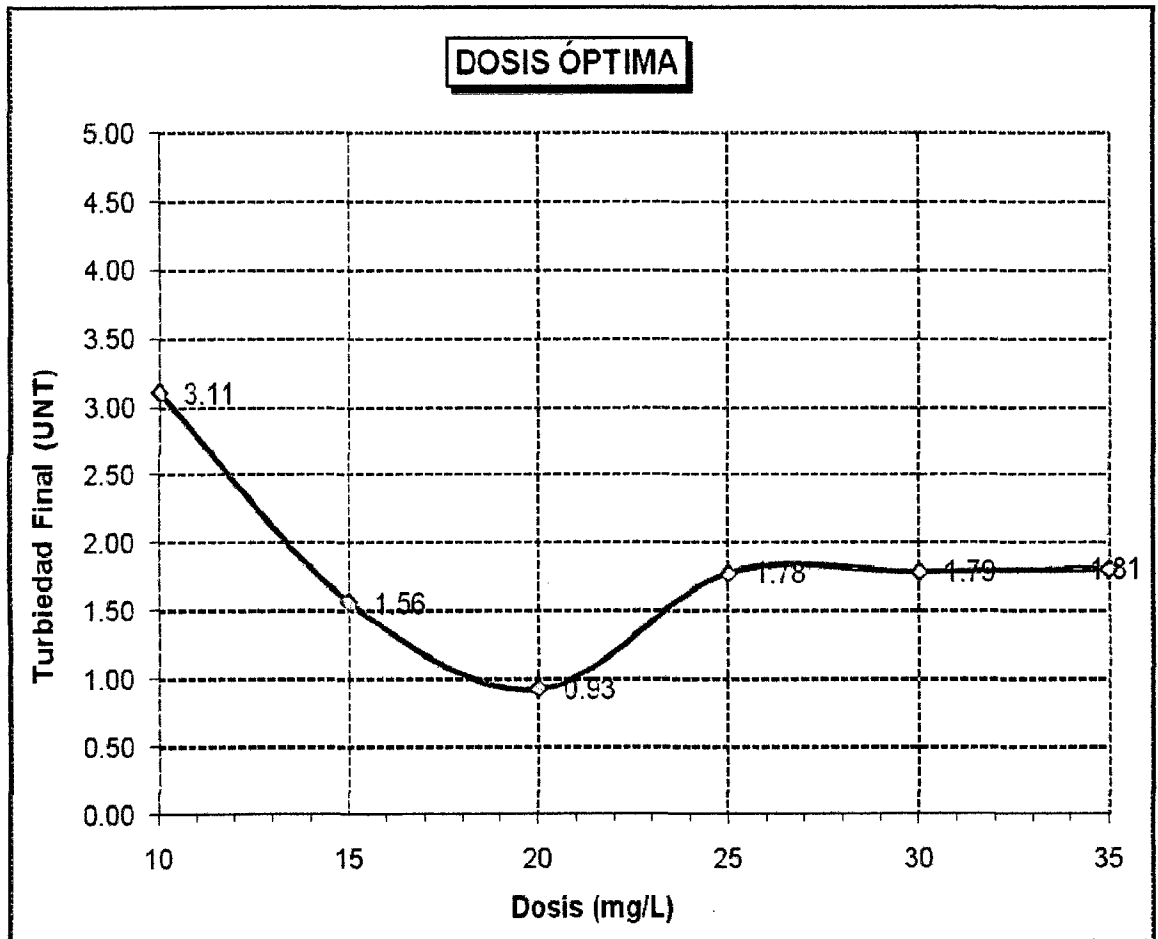
- Concentración= 1%
- Dosis= variable

PROCESO	G(s ⁻¹)	RPM	T
Mezcla rápida	720	300	5 s
Floculación	37	32	20 min
Sedimentación	0	0	10 min

Cuadro 10. Dosis óptima de sulfato de aluminio IB

Jarra	1	2	3	4	5	6
Dosis (mg/L)	10	15	20	25	30	35
Vol. Sol. 1%	2	3	4	5	6	7
Turbiedad Residual	3.11	1.56	0.93	1.78	1.79	1.81

Gráfico 8. Dosis óptima de sulfato de aluminio IB



D_{óptima} = 20 mg/l

CONCENTRACIÓN ÓPTIMA

Características del coagulante:

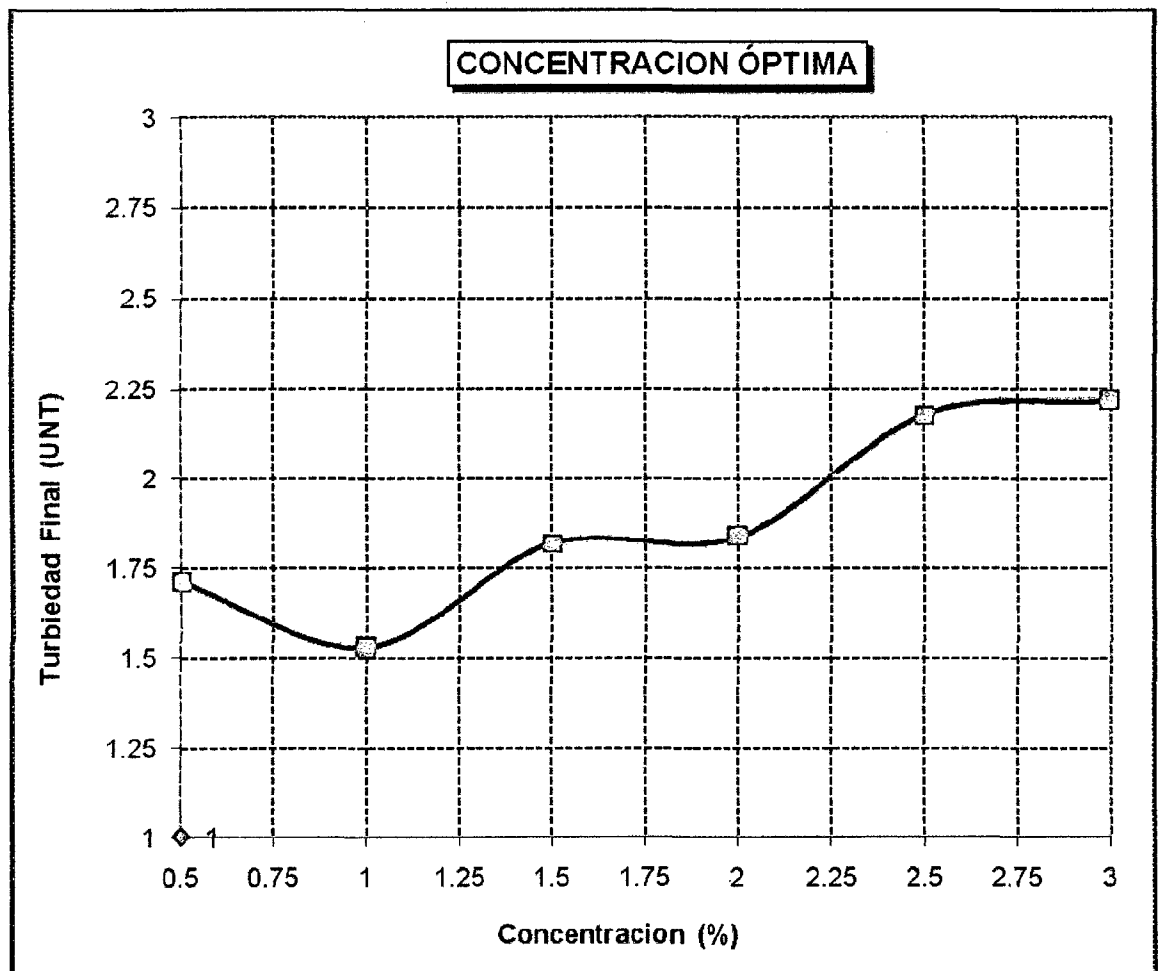
- Concentración= variable
- Dosis optima= 20mg/l

PROCESO	G(s ⁻¹)	RPM	T
Mezcla rápida	720	300	5 s
Floculación	37	32	20 min
Sedimentación	0	0	10 min

Cuadro 11. Concentración óptima de sulfato de aluminio IB

Jarra	1	2	3	4	5	6
Concentración (%)	0.5	1	1.5	2	2.5	3
Vol. Sol.	8	4	2.67	2	1.6	1.34
Turbiedad residual	1.71	1.53	1.82	1.84	2.18	2.22

Gráfico 9. Concentración óptima de sulfato de aluminio IB

C_{óptima} = 1%

pH ÓPTIMO

Características del coagulante:

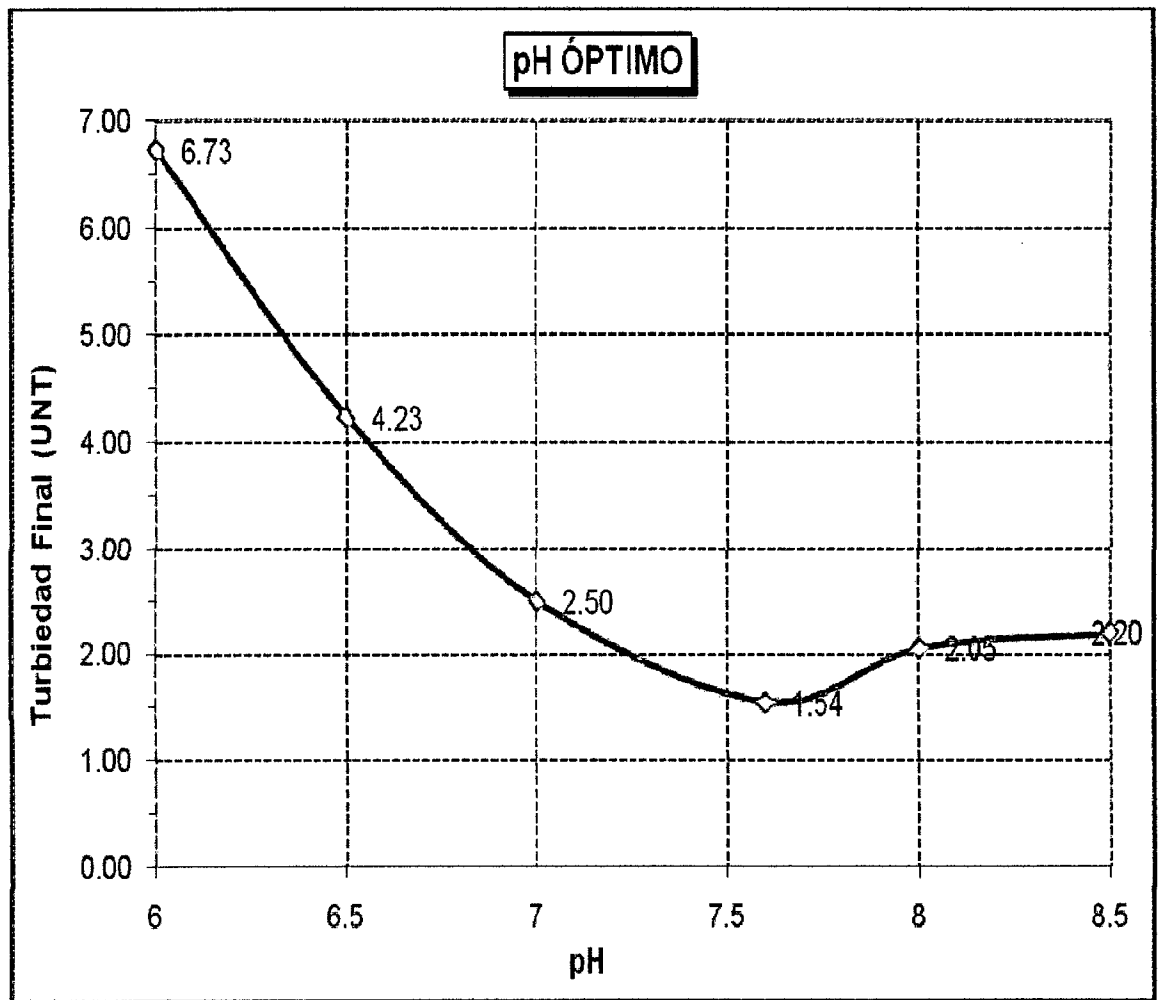
- Concentración optima= 1%
- Dosis optima= 20mg/l
- pH= variable

PROCESO	G(s ⁻¹)	RPM	T
Mezcla rápida	720	300	5 s
Floculación	37	32	20 min
Sedimentación	0	0	10 min

Cuadro 12. pH óptimo IB

Jarra	1	2	3	4	5	6
pH	6	6.5	7	7.6	8	8.5
Vol. Sol. 1%	4	4	4	4	4	4
Turbiedad residual	6.73	4.23	2.50	1.54	2.05	2.20

Gráfico 10. pH óptimo IB



pH_{óptimo} = 7.6 (natural)

PARAMETROS DE FLOCULACIÓN

Características del coagulante:

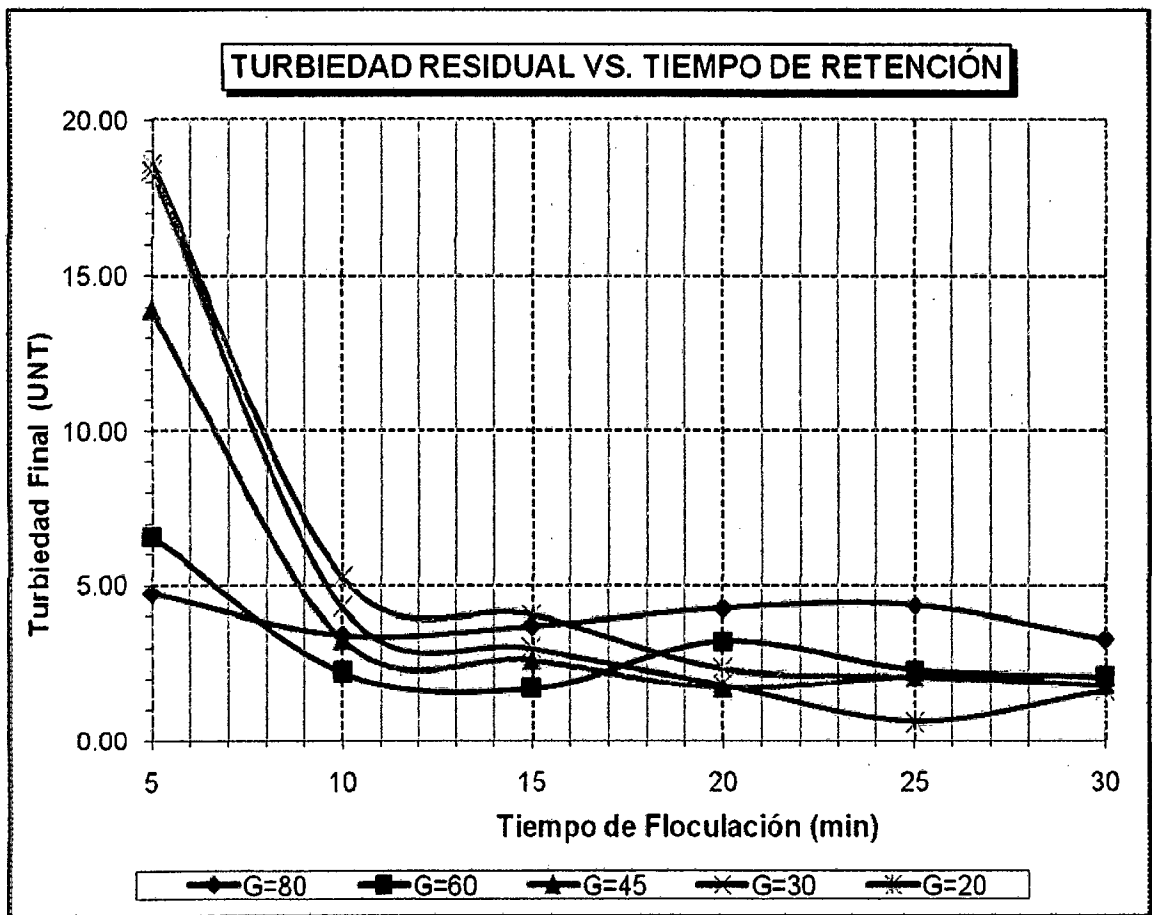
- Concentración óptima= 1%
- Dosis óptima= 20mg/l
- pH óptimo= 7.6

PROCESO	G(s ⁻¹)	RPM	T
Mezcla rápida	720	300	5 s
Floculación	20-80	21-55	30 min
Sedimentación	0	0	10 min

Cuadro 13. Resultados de ensayo de floculación IB

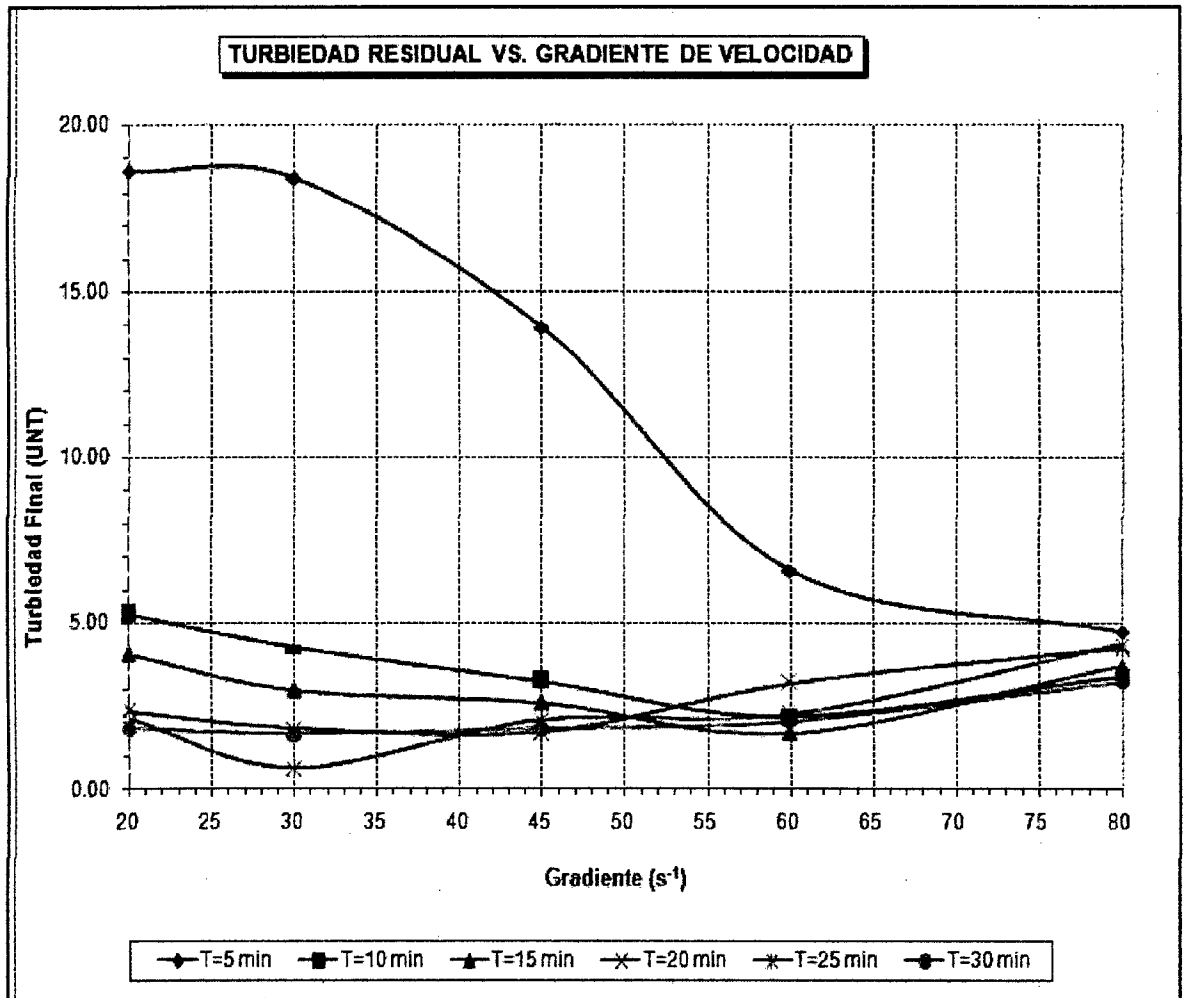
Jarra		1	2	3	4	5	6
Tiempo (min)		5	10	15	20	25	30
Vol. Sol. 1%		4	4	4	4	4	4
G1=80	55 rpm	4.74	3.40	3.71	4.27	4.37	3.27
G2=60	44 rpm	6.58	2.21	1.70	3.21	2.28	2.06
G3=50	39 rpm	13.90	3.26	2.60	1.72	2.10	1.82
G4=30	27 rpm	18.40	4.30	2.98	1.83	0.62	1.65
G5=20	21 rpm	18.60	5.27	4.07	2.34	2.10	1.81

Gráfico 11. Turbiedad residual vs Tiempo de retención IB



T_{óptimo}=24 min

Gráfico 12. Turbiedad residual vs Gradiente de velocidad IB



T(min)=	5	10	15	20	25	30
G(s⁻¹)=	80	60	58	40	30	29

De Formula

T(min)=	5	10	15	20	25	30
G(s⁻¹)=	82	62	50	41	35	29

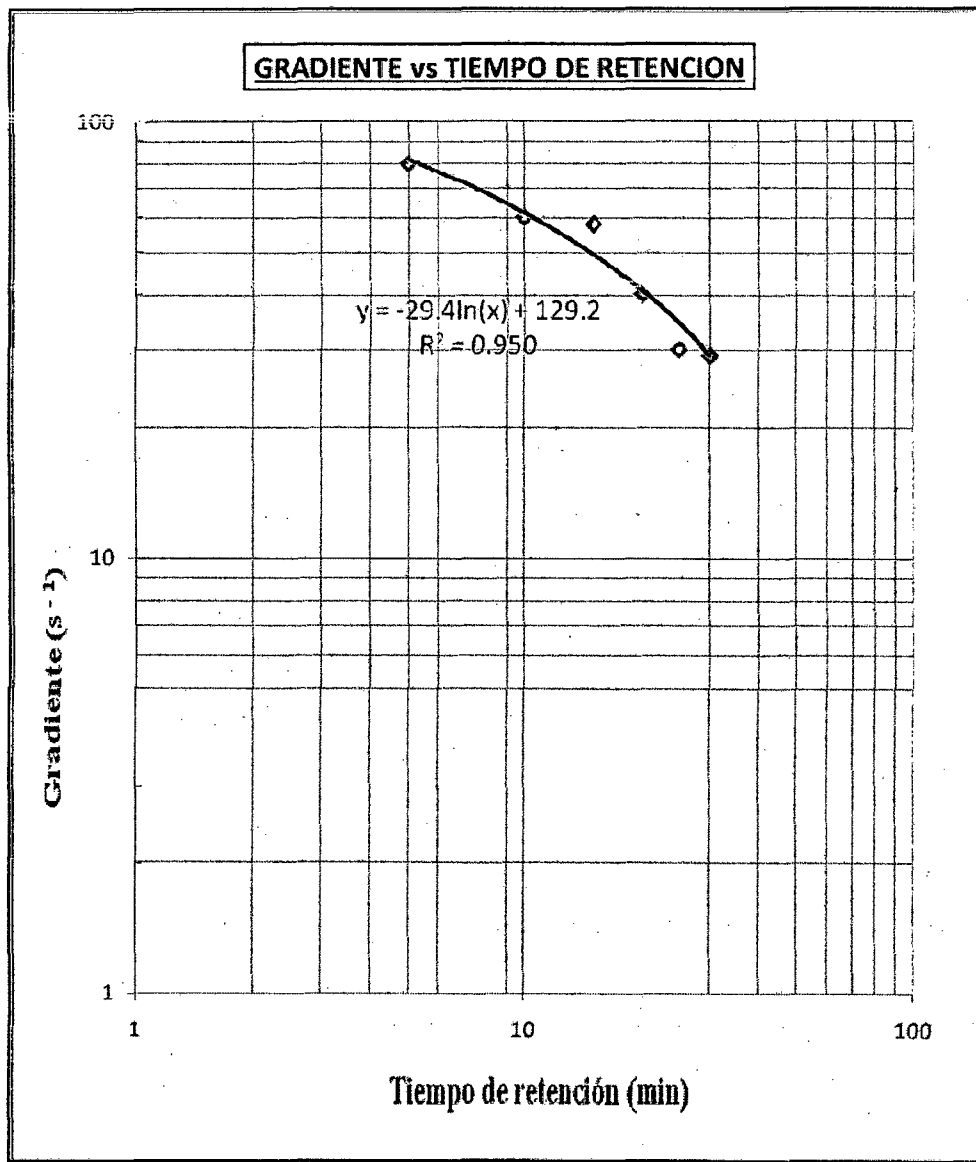
a	b	T
-29.4	129.2	8

Para 3 tramos

- G1= 68.06 s⁻¹
- G2= 47.68 s⁻¹
- G3= 35.76 s⁻¹

Para 3 tramos	
G1	68 s ⁻¹
G2	48 s ⁻¹
G3	20 s ⁻¹

Gráfico 13. Gradiente vs Tiempo de retención IB



Con los datos obtenidos de tiempo de floculación y gradientes de velocidad óptimos procedemos a realizar los ensayos de sedimentación. Tiempo de sedimentación total de 24 min y Gradientes de 68 s⁻¹, 48 s⁻¹ y 20 s⁻¹

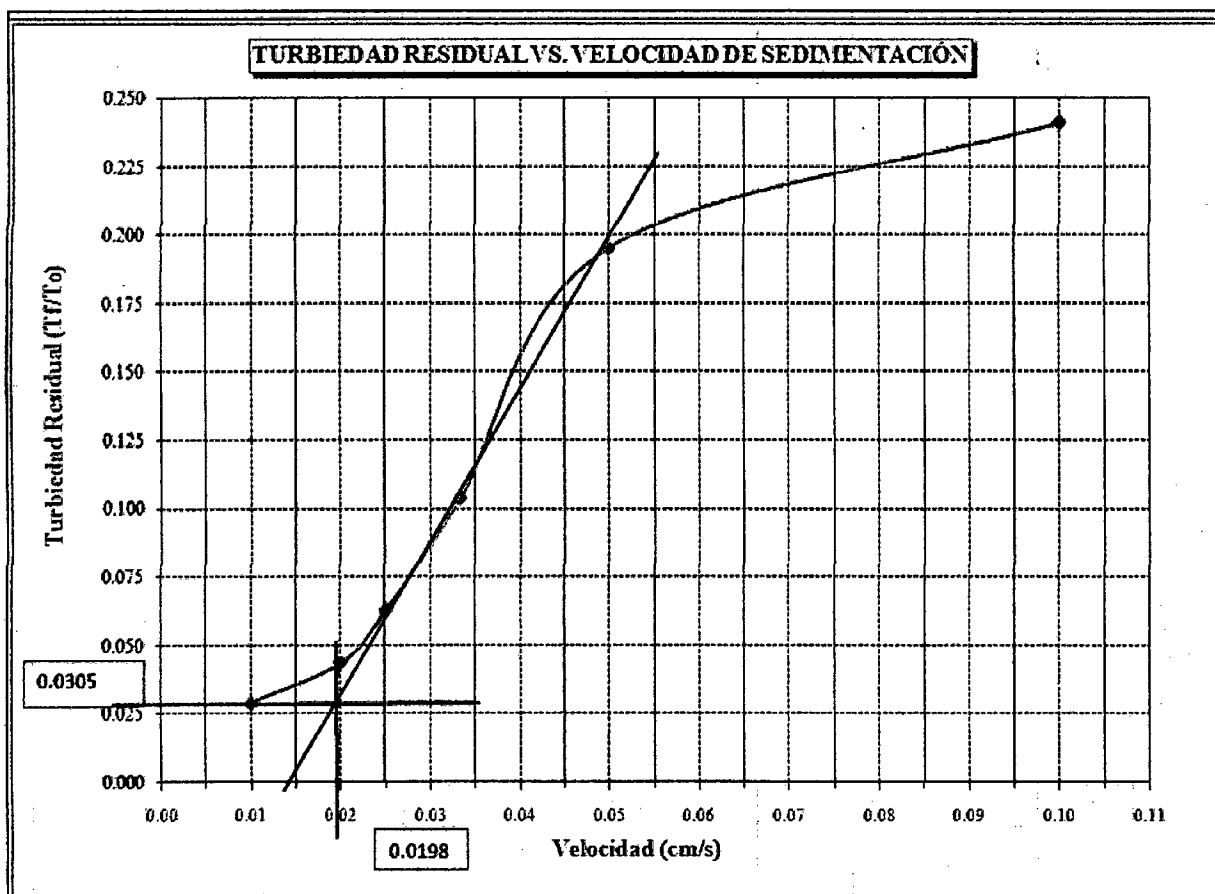
SEDIMENTACIÓN**Características del coagulante:**

- Concentración optima= 1%
- Dosis optima= 20mg/l
- pH optimo= 7.6

PROCESO	G(s ⁻¹)	RPM	T
Mezcla rápida	720	300	5 s
Floculación 1	68	49	8 min
Floculación 2	48	37	8 min
Floculación 3	20	21	8 min
Sedimentación	0	0	10 min

Cuadro 14. Resultados de ensayo de sedimentación IB

Jarra	T (s)	V (cm/s)	Tf	Tf / To
1	60	0.100	7.230	0.2410
2	120	0.050	5.860	0.1953
3	180	0.033	3.120	0.1040
4	240	0.025	1.880	0.0627
5	300	0.020	1.310	0.0437
6	600	0.010	0.870	0.0290



$$a=0.0198$$

$$Cf=0.0305$$

Cuadro 15. Selección de la tasa de sedimentación IB

$q(m^3/m^2/d)$	$V_s(cm/s)$	C_0	$1-(C_0-C_r)$	R_t	$T_r(UNT)$	$T_f(UNT)$
20	0.023	0.0440	0.987	0.9990	29.971	0.029
30	0.035	0.1150	0.916	0.9818	29.455	0.545
40	0.046	0.1790	0.852	0.9575	28.725	1.275
50	0.058	0.2190	0.812	0.9380	28.140	1.960
60	0.069	0.2240	0.807	0.9308	27.925	2.175
70	0.081	0.2290	0.802	0.9250	27.750	2.350

$$V_{sed} = 50 m^3/m^2/d$$

8.1.4 SOLUCION DE SULFATO DE ALUMINIO COMO COAGULANTE PRIMARIO Y SOLUCION DE MORINGA OLEIFERA COMO AYUDANTE DE COAGULACIÓN

DOSIS ÓPTIMA DEL AYUDANTE

Características del coagulante:

- Concentración= 1%
- Dosis= 20 mg/l

PROCESO	G(s ⁻¹)	RPM	T
Mezcla rápida	720	300	5 s
Floculación	37	32	20 min
Sedimentación	0	0	10 min

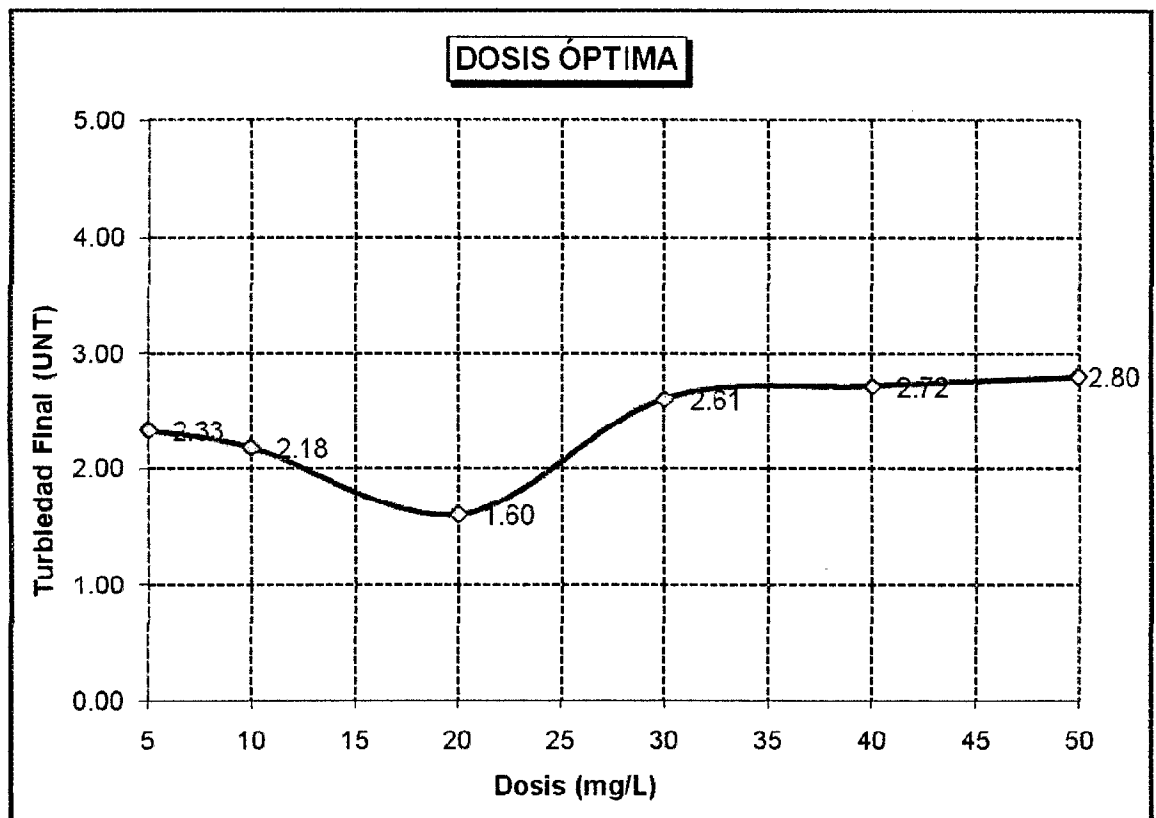
Características del ayudante:

- Concentración= 1%
- Dosis= variable

Cuadro 16. Dosis óptima del ayudante IC

Jarra	1	2	3	4	5	6
Dosis ayud. (mg/L)	5	10	20	30	40	50
Vol. ayud 1% (ml)	1	2	4	6	8	10
Turbiedad residual	2.33	2.18	1.60	2.61	2.72	2.80

Gráfico 15. Dosis óptima del ayudante IC



D_{óptima} ayudante = 20 mg/l

DOSIS ÓPTIMA DEL COAGULANTE CON AYUDANTE

Características del coagulante:

- Concentración= 1%
- Dosis= variable

PROCESO	G(s ⁻¹)	RPM	T
Mezcla rápida	720	300	5 s
Floculación	37	32	20 min
Sedimentación	0	0	10 min

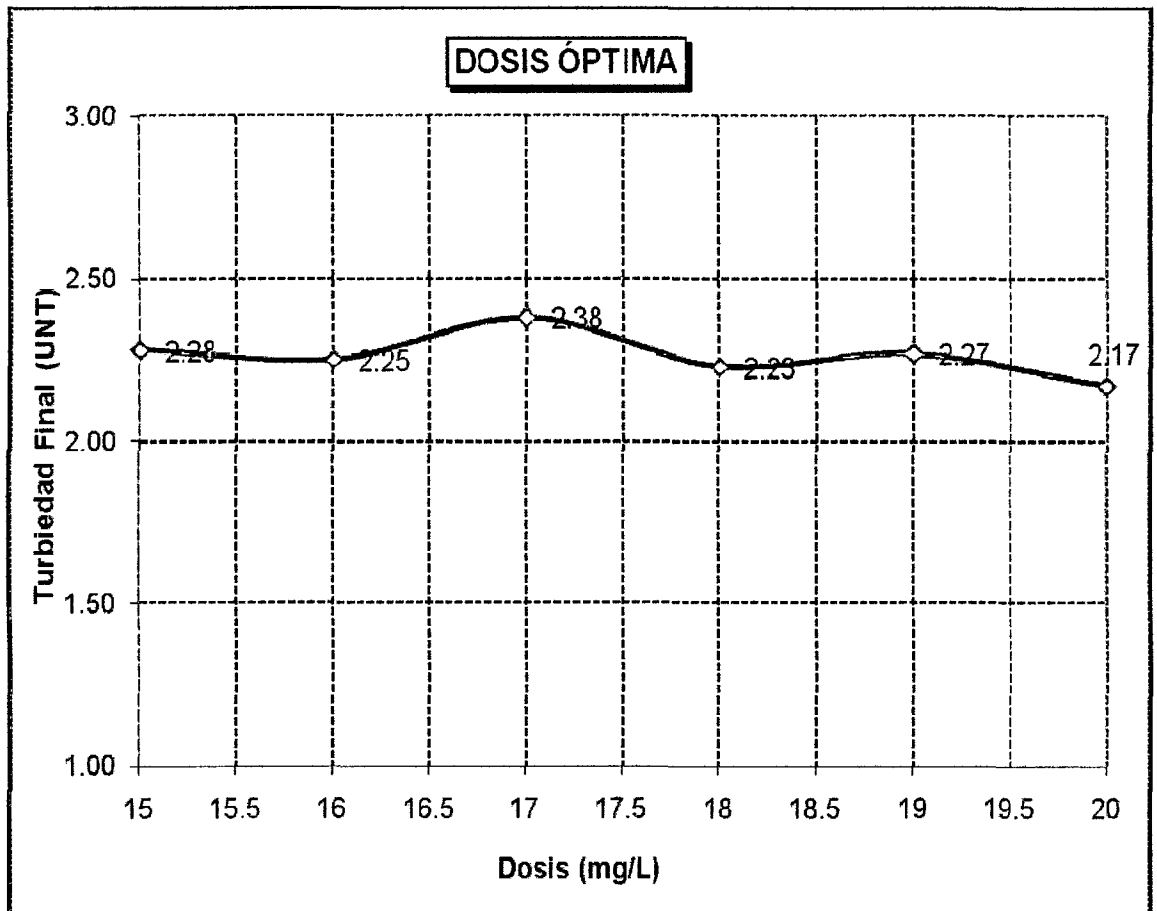
Características del ayudante:

- Concentración= 1%
- Dosis= 20mg/l

Cuadro 17. Dosis óptima del coagulante con ayudante IC

Jarra	1	2	3	4	5	6
Dosis coag. (mg/L)	15	16	17	18	19	20
Vol. Coag. 1% (ml)	3	3.2	3.4	3.6	3.8	4
Turbiedad residual	2.28	2.25	2.38	2.23	2.27	2.17

Gráfico 16. Dosis óptima del coagulante con ayudante IC



D_{óptima coagulante} = 20 mg/l

PARAMETROS DE FLOCULACIÓN

Características del coagulante:

- Concentración= 1%
- Dosis= 20 mg/l

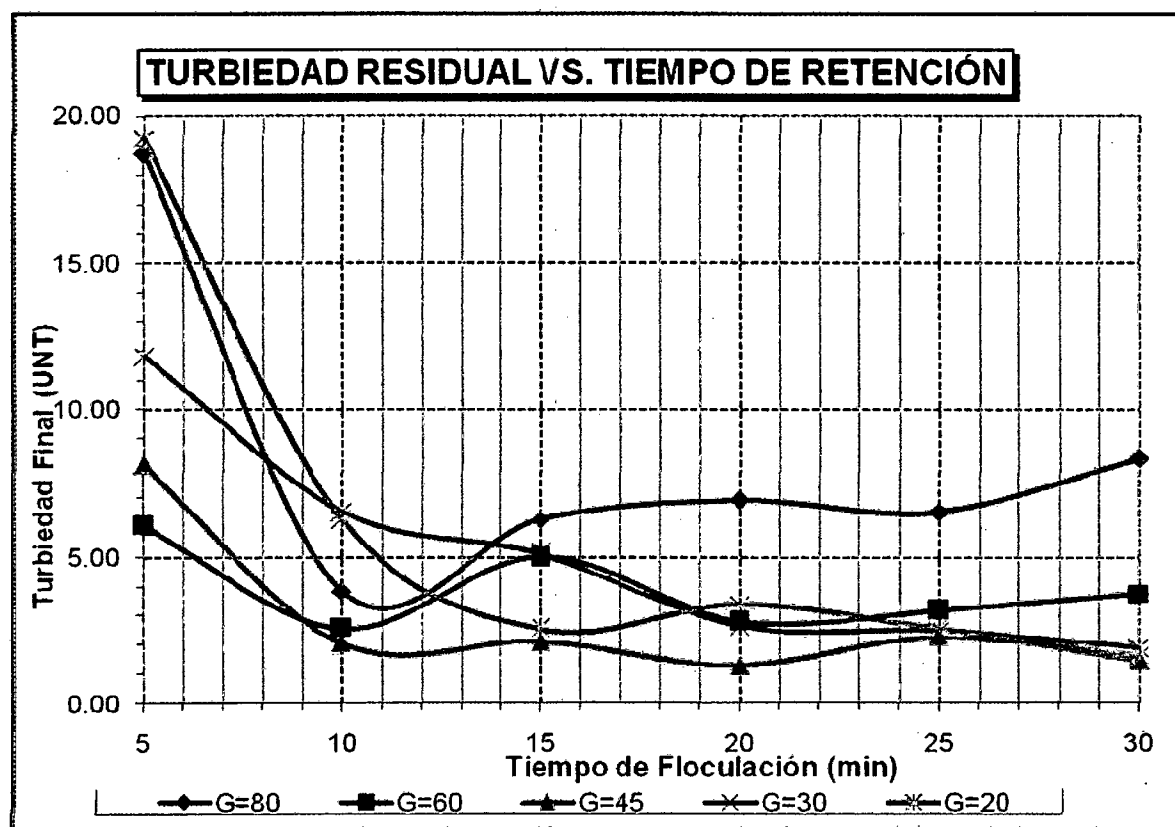
PROCESO	G(s ⁻¹)	RPM	T
Mezcla rápida	720	300	5 s
Floculación	37	32	20 min
Sedimentación	0	0	10 min

Características del ayudante:

- Concentración= 1%
- Dosis= 20mg/l
- pH optimo= 7.6

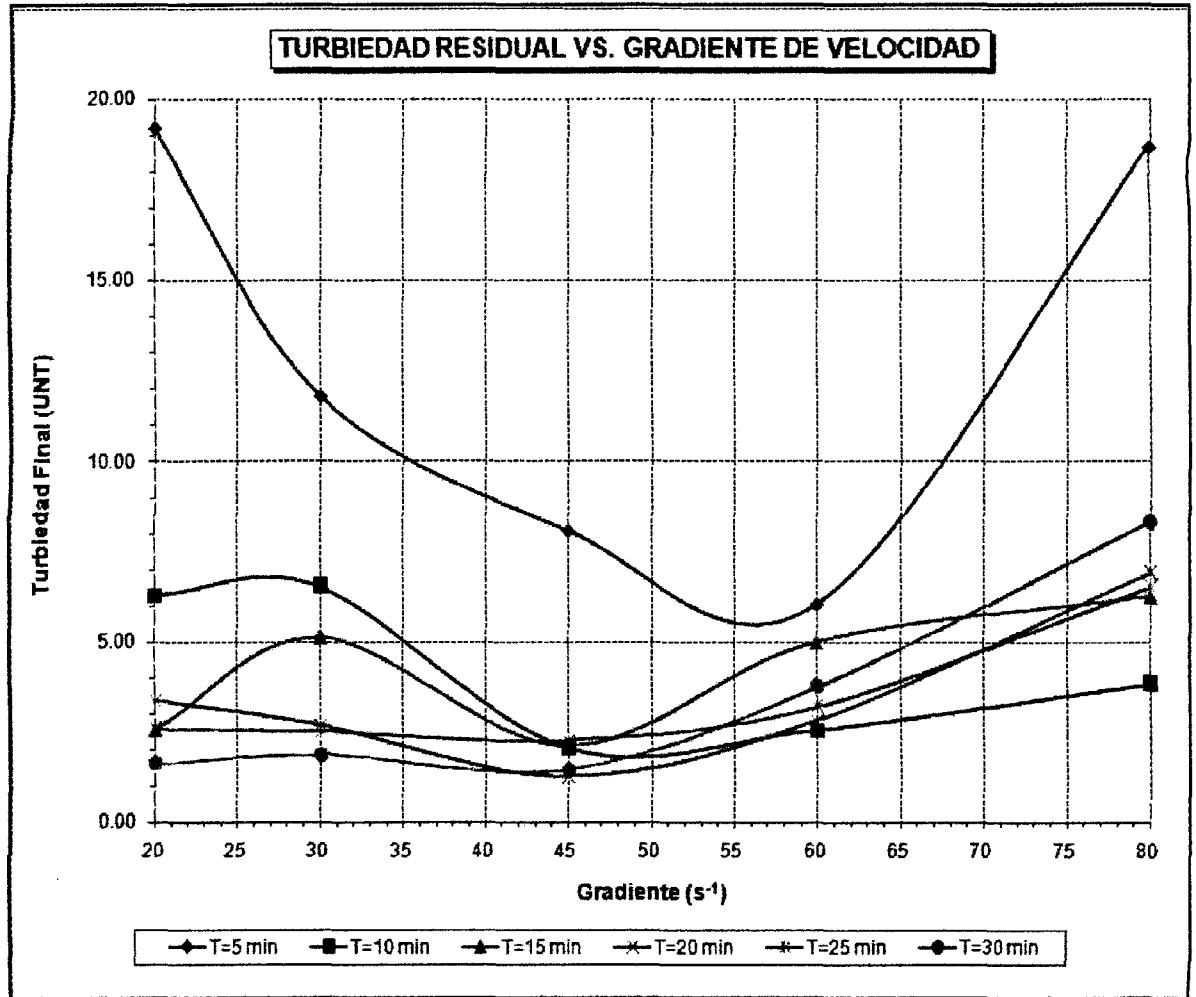
Cuadro 18. Resultados del ensayo de floculación IC

Jarra		1	2	3	4	5	6
Tiempo (min)		5	10	15	20	25	30
Vol. coag. y ayud.(ml)		4	4	4	4	4	4
G1=80	55 rpm	18.70	3.84	6.26	6.92	6.51	8.34
G2=60	44 rpm	6.04	2.55	5.00	2.82	3.19	3.75
G3=50	39 rpm	8.09	2.05	2.10	1.28	2.26	1.45
G4=30	27 rpm	11.80	6.51	5.12	2.67	2.50	1.86
G5=20	21 rpm	19.20	6.27	2.55	3.37	2.56	1.62

Gráfico 17. Turbiedad residual vs Tiempo de retención IC


T_{optimo} = 21 min

Gráfico 18. Turbiedad residual vs Gradiente de velocidad IC



T(min)=	5	10	15	20	25	30
G(s⁻¹)=	57	49	45	45	42	41

De Formula

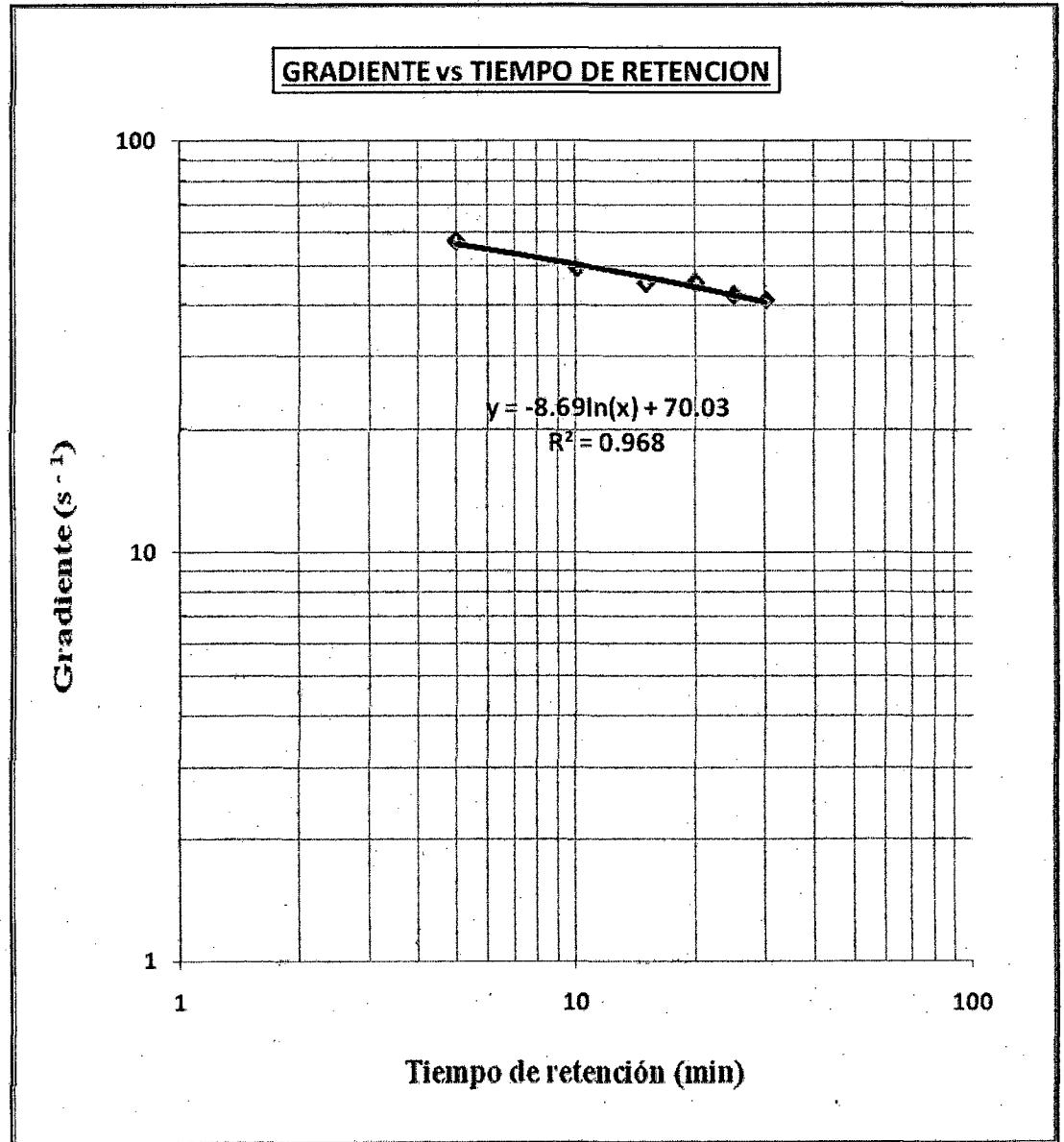
T(min)=	5	10	15	20	25	30
G(s⁻¹)=	56	50	46	43	42	40

a	b	T
-8.69	70.03	7

Para 3 tramos
 G1= 53.12 s⁻¹
 G2= 47.09 s⁻¹
 G3= 43.57 s⁻¹

Para 3 tramos	
G1	53 s ⁻¹
G2	47 s ⁻¹
G3	20 s ⁻¹

Gráfico 19. Gradiente de velocidad vs Tiempo de retención IC



Con los datos obtenidos de tiempo de floculación y gradientes de velocidad óptimos procedemos a realizar los ensayos de sedimentación. Tiempo de sedimentación total de 21 min y Gradientes de 53 s⁻¹, 47 s⁻¹ y 20 s⁻¹

SEDIMENTACIÓN**Características del coagulante:**

- Concentración= 1%
- Dosis= 20 mg/l

Características del ayudante:

- Concentración= 1%
- Dosis= 20mg/l

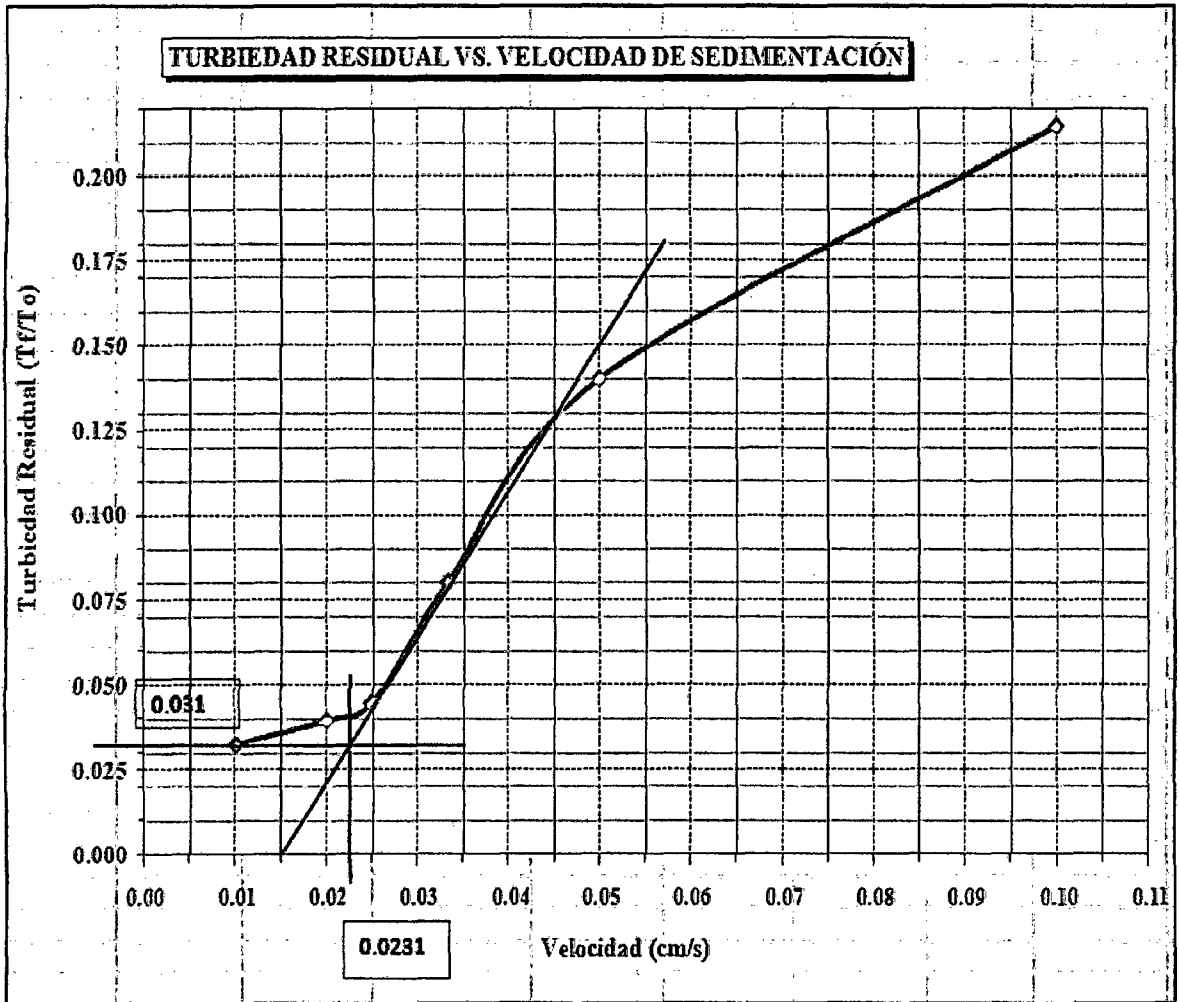
PROCESO	G(s ⁻¹)	RPM	T
Mezcla rápida	720	300	5 s
Floculación 1	53	40	7 min
Floculación 2	47	36	7 min
Floculación 3	20	21	7 min
Sedimentación	0	0	10 min

- pH optimo= 7.6

Cuadro 19. Resultados del ensayo de sedimentación IC

Jarra	T (s)	V (cm/s)	Tf	Tf / To
1	60	0.100	7.230	0.2410
2	120	0.050	5.860	0.1953
3	180	0.033	3.120	0.1040
4	240	0.025	1.880	0.0627
5	300	0.020	1.310	0.0437
6	600	0.010	0.870	0.0290

Gráfico 20. Curva de sedimentación IC



a=0.0198
Cf=0.0305

Cuadro 20. Selección de la tasa de sedimentación IC

q(m ³ /m ² /d)	Vs(cm/s)	C ₀	1-(C ₀ -C _f)	R _t	Tr(UNT)	Tf(UNT)
10	0.012	0.0320	0.999	1.0005	30.015	0.000
20	0.023	0.0370	0.994	1.0000	30.000	0.272
30	0.035	0.0850	0.946	0.9910	29.729	0.851
40	0.046	0.1310	0.900	0.9749	29.248	1.415
50	0.058	0.1480	0.883	0.9649	28.946	1.946
60	0.069	0.1720	0.859	0.9530	28.589	2.192
70	0.081	0.1830	0.848	0.9457	28.370	2.381

Vsed= 50m³/m²/d

8.2 TURBIEDAD ALTA 1: MUESTRA N° 2, 500 UNT

8.2.1 CARACTERISTICAS DEL AGUA CRUDA

- Procedencia: Rio Rímac
- Fecha de la muestra: 27 de Febrero de 2012
- Alcalinidad: 95 mg/l CO_3Ca
- Dureza total: 193 mg/l CO_3Ca
- Dureza cálcica: 132 mg/l CO_3Ca
- Dureza magnésica: 61 mg/l CO_3Ca
- pH: 7.7

8.2.2 LA SOLUCION DE EXTRACTO DE SEMILLA DE MORINGA OLEIFERA COMO COAGULANTE PRIMARIO

DOSIS ÓPTIMA

Características del coagulante:

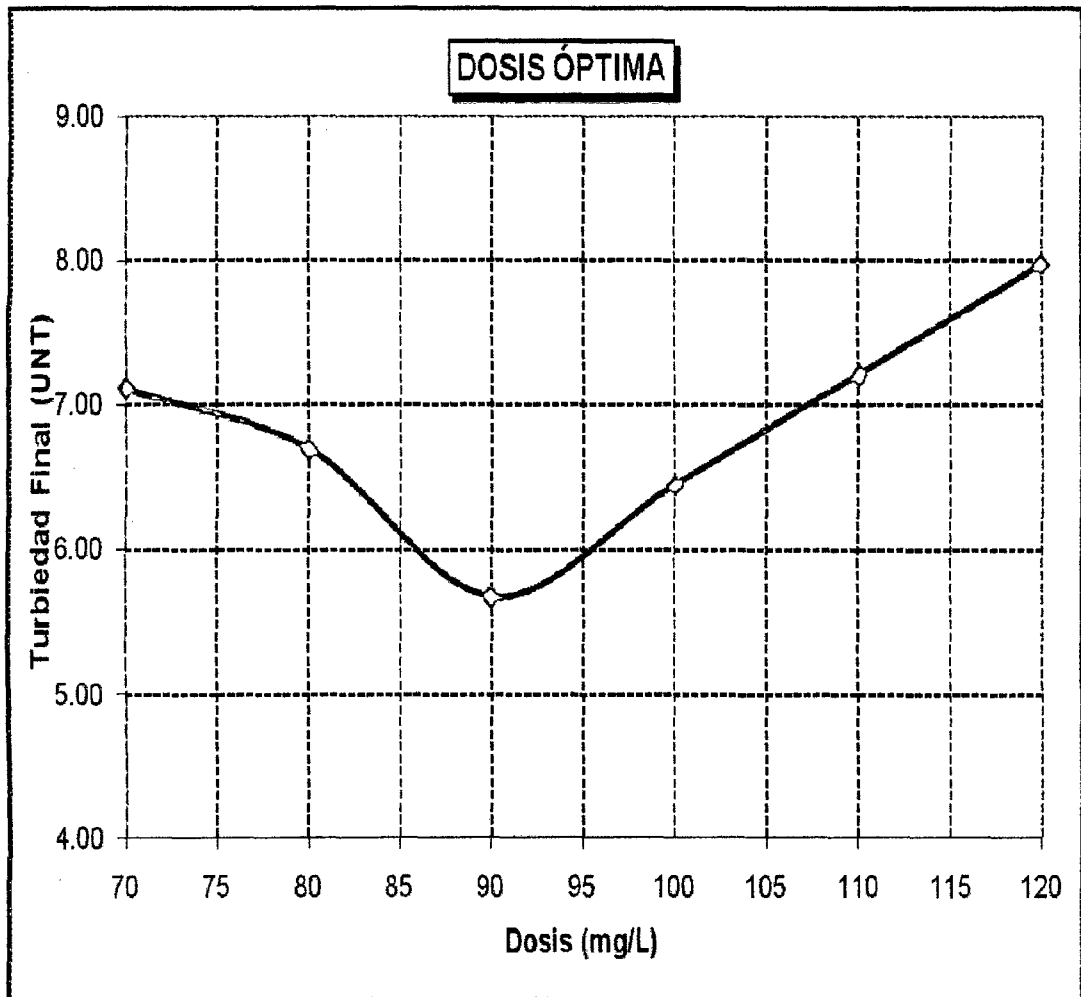
- Concentración= 2%
- Dosis= variable

PROCESO	G(s ⁻¹)	RPM	T
Mezcla rápida	720	300	5 s
Floculación	37	32	20 min
Sedimentación	0	0	20 min

Cuadro 21. Dosis óptima de moringa oleifera IIA

Jarra	1	2	3	4	5	6
Dosis (mg/L)	70	80	90	100	110	120
Vol. Sol. 2%	7	8	9	10	11	12
Turbiedad residual	7.11	6.69	5.67	6.45	7.21	7.98

Gráfico 21. Dosis óptima de moringa oleifera IIA



$D_{\text{óptima}} = 90 \text{ mg/l}$

CONCENTRACIÓN ÓPTIMA

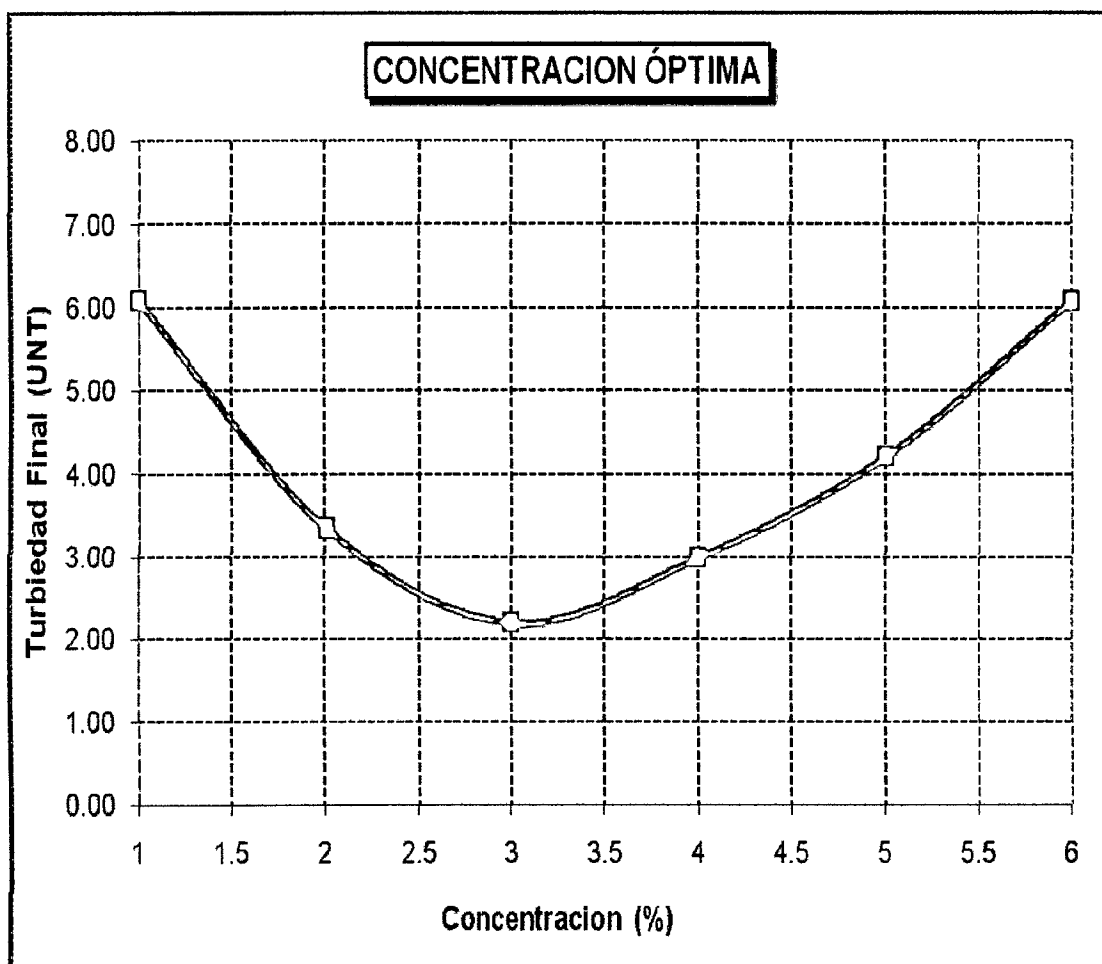
Características del coagulante:

- Concentración= variable
- Dosis optima= 90mg/l

PROCESO	G(s ⁻¹)	RPM	T
Mezcla rápida	720	300	5 s
Floculación	37	32	20 min
Sedimentación	0	0	20 min

Cuadro 22. Concentración óptima de moringa oleifera IIA

Jarra	1	2	3	4	5	6
Concentración (%)	1	2	3	4	5	6
Vol. Sol.	18	9	6	4.5	3.6	3
Turbiedad residual	6.08	3.34	2.20	3.00	4.21	6.09

Gráfico 22. Concentración óptima de moringa oleifera IIA

$C_{\text{óptima}} =$	3%
-----------------------	----

pH ÓPTIMO

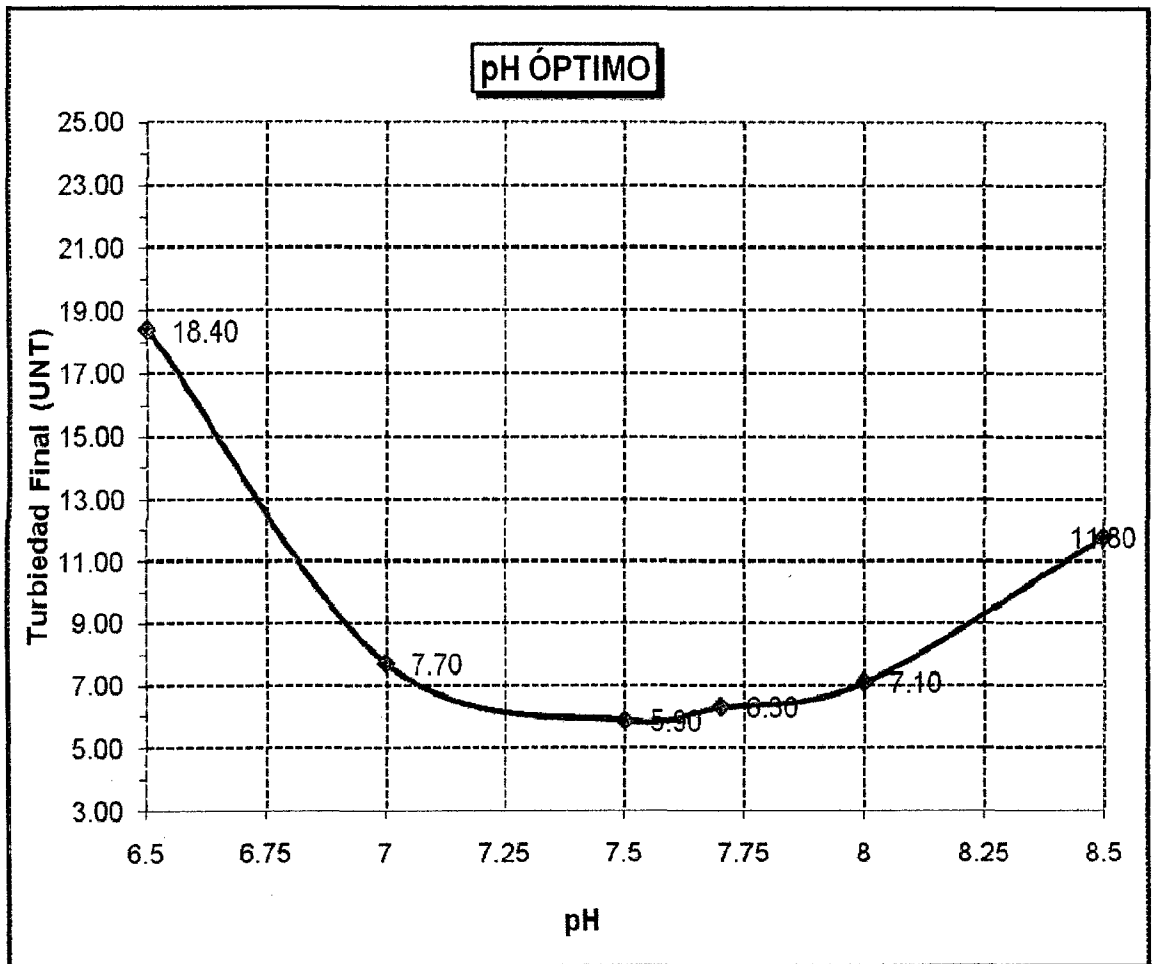
- Características del coagulante:
- Concentración optima= 3%
 - Dosis optima= 90mg/l
 - pH= variable

PROCESO	G(s ⁻¹)	RPM	T
Mezcla rápida	720	300	5 s
Floculación	37	32	20 min
Sedimentación	0	0	20 min

Cuadro 23. pH óptimo IIA

Jarra	1	2	3	4	5	6
pH	6.5	7	7.5	7.7	8	8.5
Vol. Sol. 3%	9.5	9.5	9.5	9.5	9.5	9.5
Turbiedad residual	18.40	7.70	5.90	6.30	7.10	11.80

Gráfico 23. pH óptimo IIA



pH_{óptimo} = 7.7 (natural)

PARAMETROS DE FLOCULACIÓN

Características del coagulante:

- Concentración optima= 3%
- Dosis optima= 90mg/l
- pH optimo= 7.7

PROCESO	G(s ⁻¹)	RPM	T
Mezcla rápida	720	300	5 s
Floculación	20-80	21-55	30 min
Sedimentación	0	0	20 min

Cuadro 24. Resultados de ensayo de floculación IIA

Jarra		1	2	3	4	5	6
Tiempo (min)		5	10	15	20	25	30
Vol. Sol. 3% (ml)		6	6	6	6	6	6
G1= 80	55 rpm	24.30	12.93	8.83	9.21	17.50	18.80
G2= 60	44 rpm	17.90	9.78	7.48	5.69	4.78	5.40
G3= 45	36 rpm	25.30	11.10	7.35	3.50	2.41	4.32
G4= 30	27 rpm	32.30	16.90	9.77	7.18	3.30	3.98
G5= 20	21 rpm	35.60	18.80	14.50	9.80	7.56	5.89

Gráfico 24. Turbiedad residual vs Tiempo de retención IIA

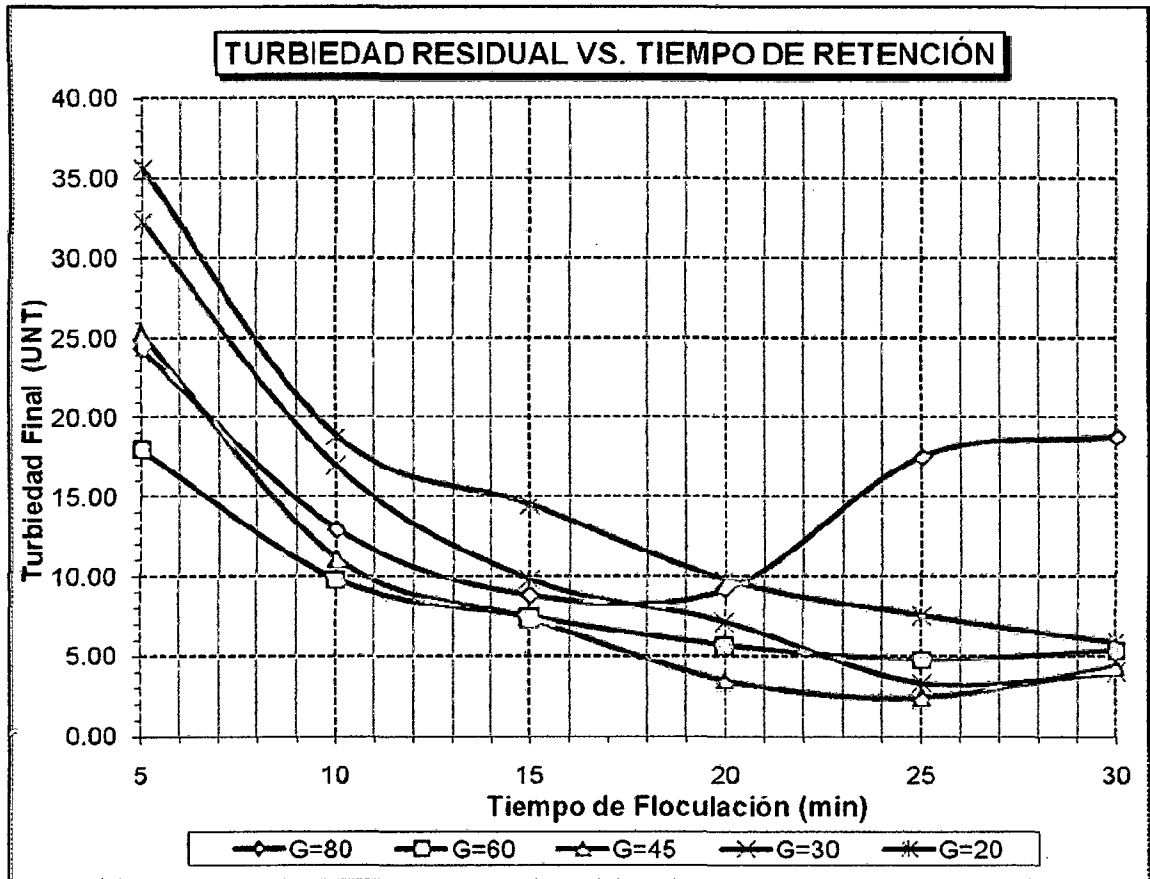
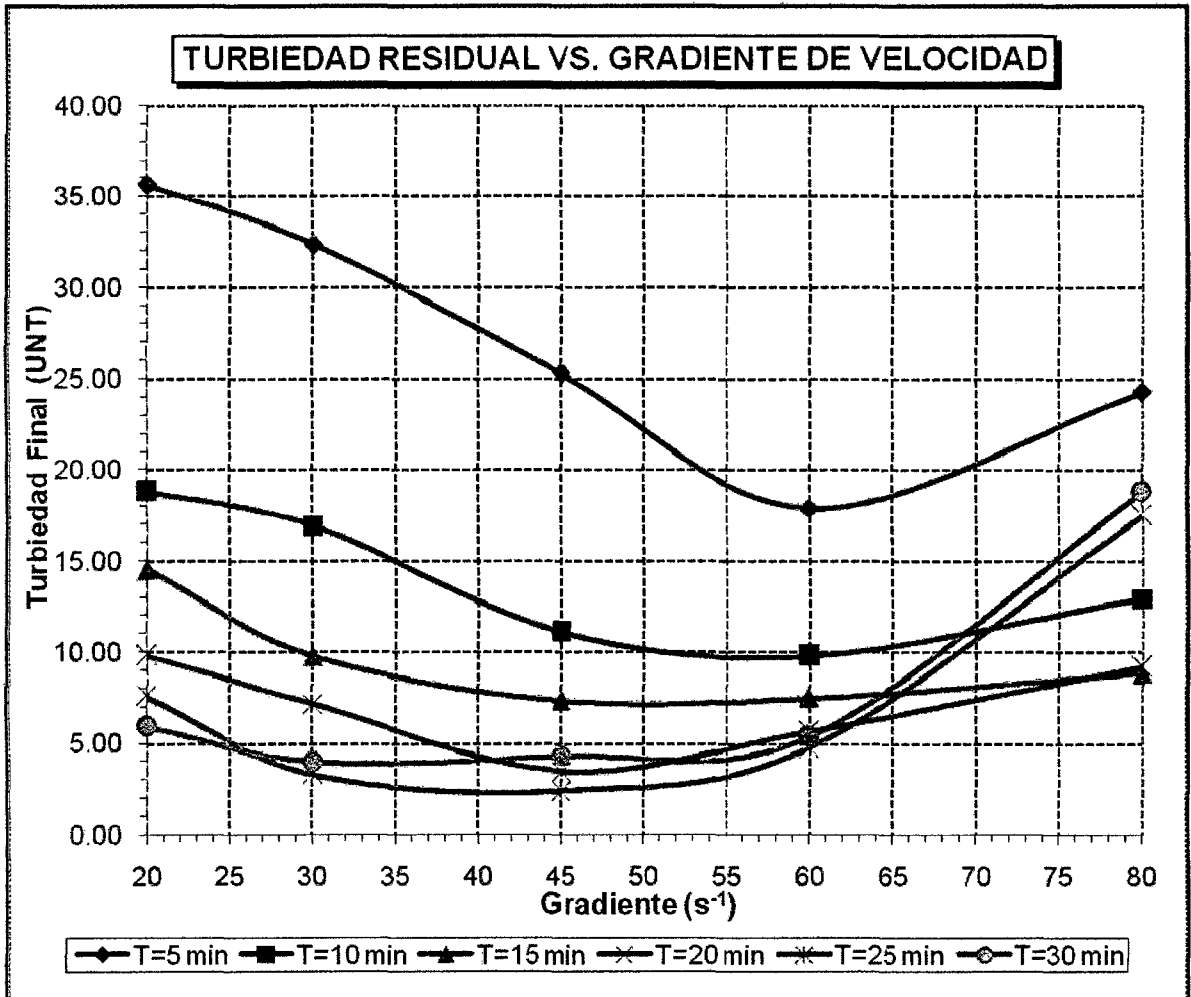


Gráfico 25. Turbiedad residual vs Gradiente de velocidad IIA



T(min)=	5	10	15	20	25	30
G(s ⁻¹)=	61	56	50	46	40	33

De la formula:

T(min)=	5	10	15	20	25	30
G(s ⁻¹)=	64	54	48	43	40	37

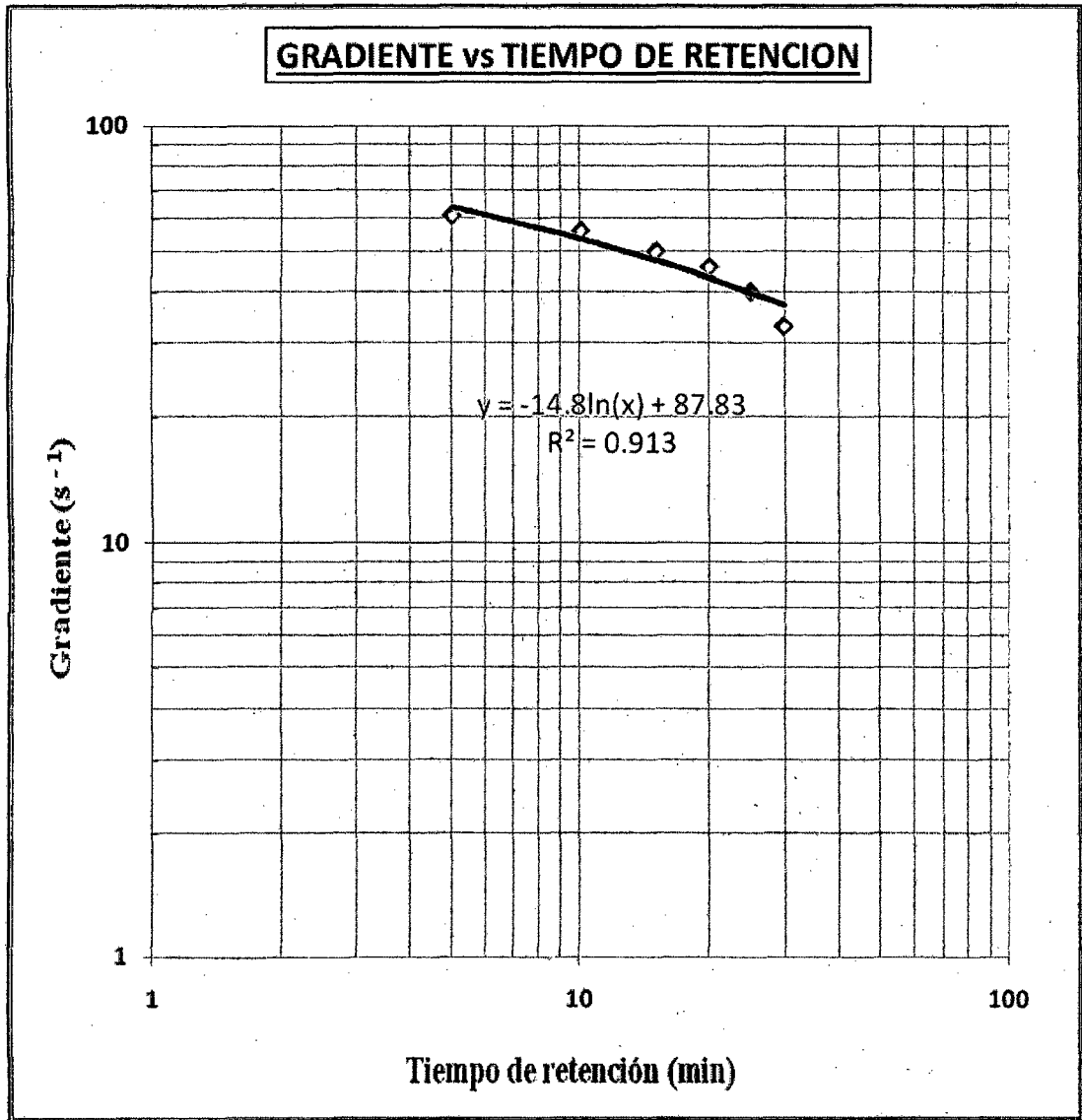
Para 3 tramos

- G1= 57.0 s⁻¹
- G2= 46.7 s⁻¹
- G3= 40.7 s⁻¹

a	b	T
-14.8	87.83	8

Para 3 tramos	
G1	57 s ⁻¹
G2	47 s ⁻¹
G3	20 s ⁻¹

Gráfico 26. Gradiente de velocidad vs Tiempo de retención IIA



Con los datos obtenidos de tiempo de floculación y gradientes de velocidad óptimos procedemos a realizar los ensayos de sedimentación. Tiempo de sedimentación total de 24 min y Gradientes de 57 s⁻¹, 47 s⁻¹ y 20 s⁻¹

SEDIMENTACIÓN**Características del coagulante:**

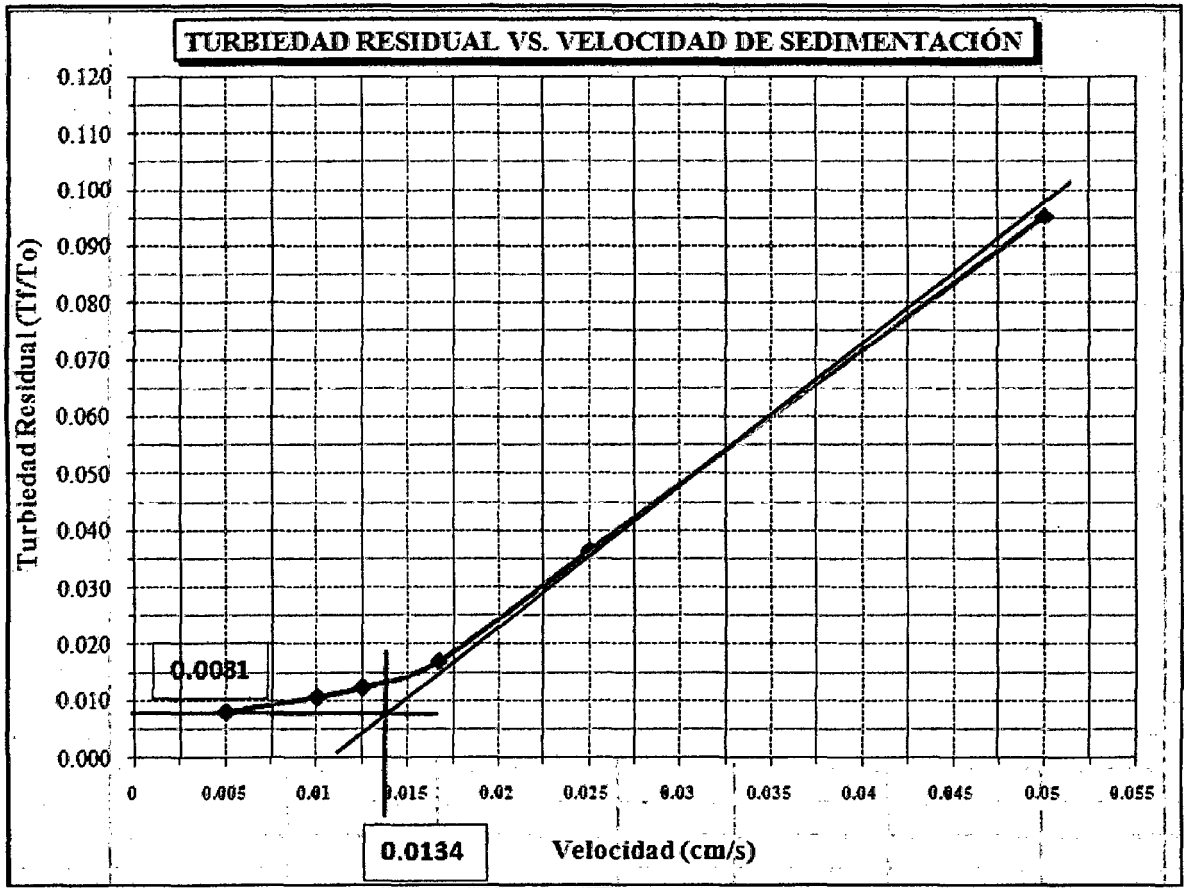
- Concentración optima= 6%
- Dosis optima= 110mg/l
 - pH optimo= 7.6

PROCESO	G(s ⁻¹)	RPM	T
Mezcla rápida	720	300	5 s
Floculación 1	57	42	8 min
Floculación 2	47	36	8 min
Floculación 3	20	21	8 min
Sedimentación	0	0	20 min

Cuadro 25. Resultados de ensayo de sedimentación IIA

Jarra	T (s)	Vel (cm/s)	Tf	Tf/To
1	120	0.050	65.700	0.1314
2	240	0.025	32.300	0.0646
3	360	0.017	14.500	0.0290
4	480	0.013	7.150	0.0143
5	600	0.010	6.270	0.0125
6	1200	0.005	1.630	0.0033

Gráfico 27. Curva de sedimentación IIA



a= 0.0134
Cf= 0.0081

Cuadro 26. Selección de la tasa de sedimentación IIA

q(m ³ /m ² /d)	Vs(cm/s)	C ₀	1-(C ₀ -C _f)	R _t	Tr(UNT)	Tf(UNT)
10	0.012	0.0110	0.997	1.0002	500.114	.
15	0.017	0.0170	0.991	0.9990	499.492	0.508
20	0.023	0.0305	0.978	0.9953	497.642	1.979
25	0.029	0.0430	0.965	0.9906	495.316	4.684
30	0.035	0.0592	0.949	0.9843	492.155	7.845

Vsed= 20 m³/m²/d

8.2.3 SOLUCION DE SULFATO DE ALUMINIO COMO COAGULANTE PRIMARIO

DOSIS ÓPTIMA

Características del coagulante:

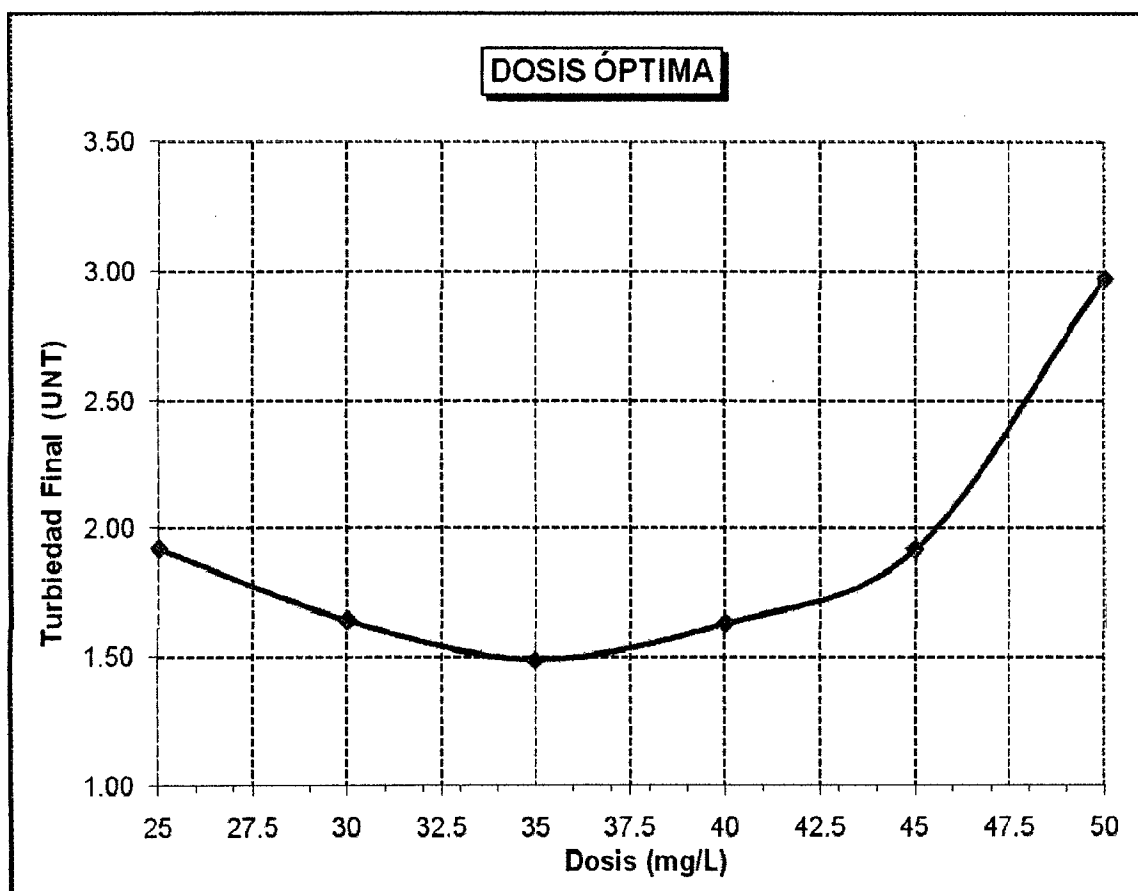
- Concentración= 1%
- Dosis= variable

PROCESO	G(s ⁻¹)	RPM	T
Mezcla rápida	720	300	5 s
Floculación	37	32	20 min
Sedimentación	0	0	10 min

Cuadro 27. Dosis óptima de sulfato de aluminio IIB

Jarra	1	2	3	4	5	6
Dosis (mg/L)	25	30	35	40	45	50
Vol. Sol. 1%	5	6	7	8	9	10
Turbiedad residual	1.92	1.64	1.49	1.63	1.92	2.97

Gráfico 28. Dosis óptima de sulfato de aluminio IIB



$D_{\text{óptima}} = 35 \text{ mg/l}$

CONCENTRACIÓN ÓPTIMA

Características del coagulante:

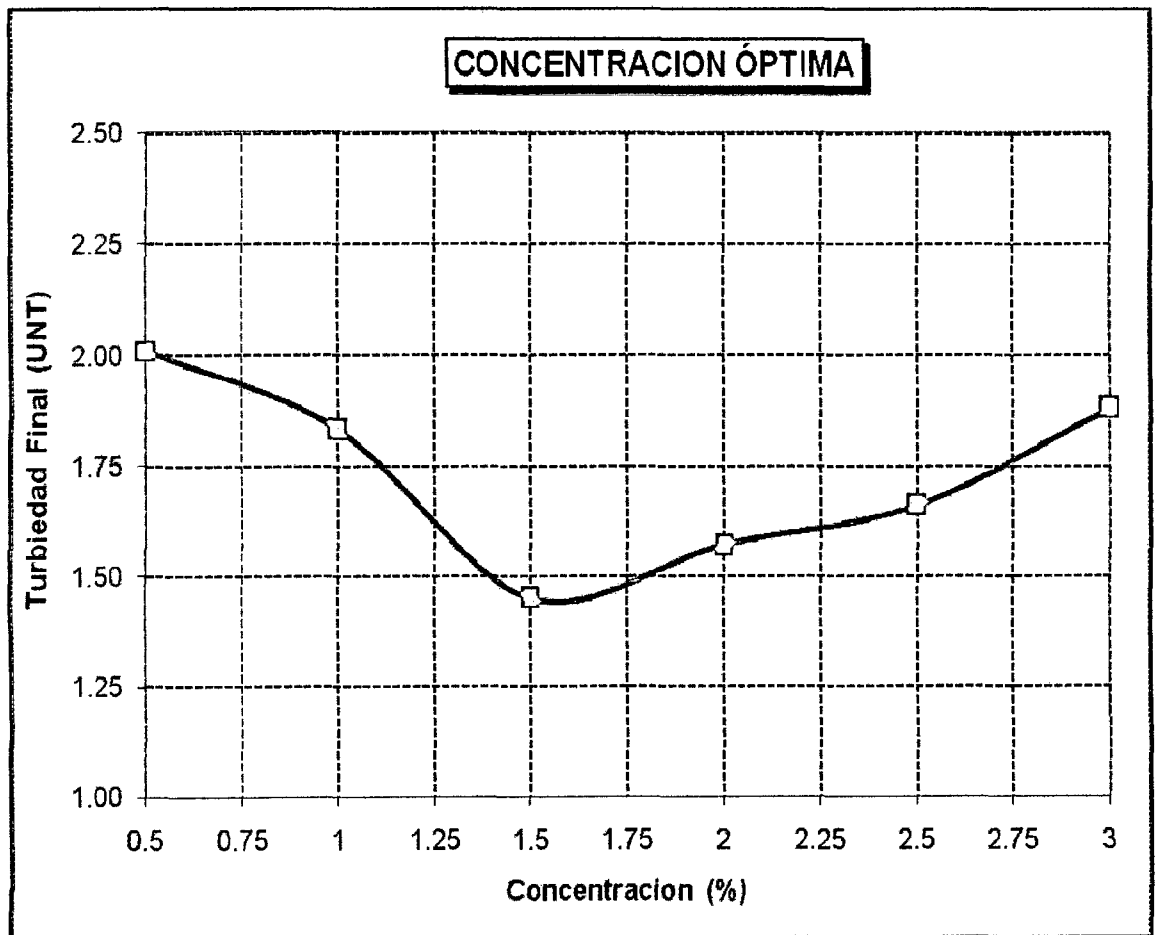
- Concentración= variable
- Dosis optima= 35mg/l

PROCESO	G(s ⁻¹)	RPM	T
Mezcla rápida	720	300	5 s
Floculación	37	32	20 min
Sedimentación	0	0	10 min

Cuadro 28. Concentración óptima de sulfato de aluminio IIB

Jarra	1	2	3	4	5	6
Concentración (%)	0.5	1	1.5	2	2.5	3
Vol. Sol.	14	7	4.7	3.5	2.8	2.3
Turbiedad residual	2.01	1.83	1.45	1.57	1.66	1.88

Gráfico 29. Concentración óptima de sulfato de aluminio IIB



C_{óptima} = 1.5%

pH ÓPTIMO

Características del coagulante:

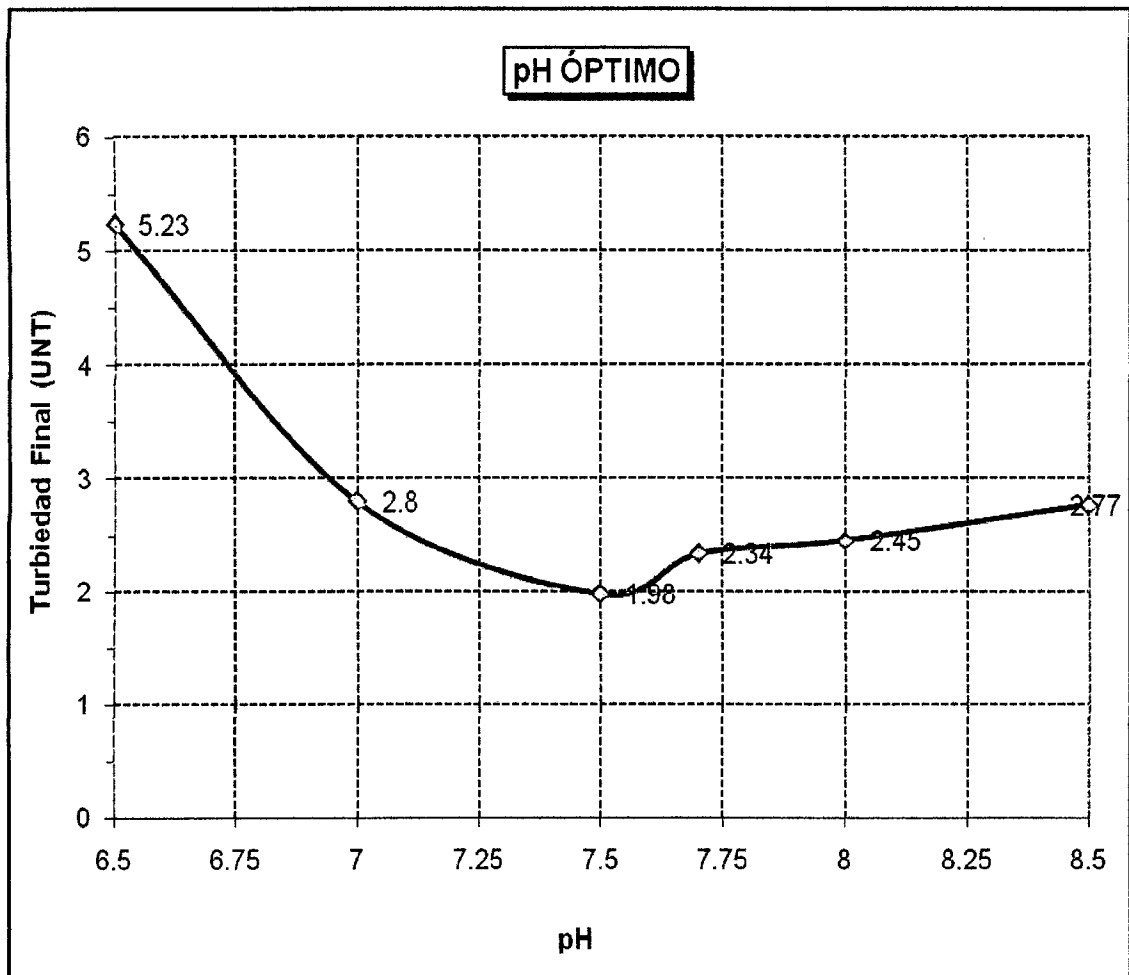
- Concentración optima= 1.5%
- Dosis optima= 35mg/l
- pH= variable

PROCESO	G(s ⁻¹)	RPM	T
Mezcla rápida	720	300	5 s
Floculación	37	32	20 min
Sedimentación	0	0	10 min

Cuadro 29. pH óptimo IIB

Jarra	1	2	3	4	5	6	7
pH	6.5	7	7.5	7.7	8	8.5	6.5
Vol. Sol. 1.5%	4.67	4.67	4.67	4.67	4.67	4.67	4.67
Turbiedad residual	5.23	2.8	1.98	2.34	2.45	2.77	5.23

Gráfico 30. pH óptimo IIB



pH_{óptimo} = 7.7 (natural)

PARAMETROS DE FLOCULACIÓN

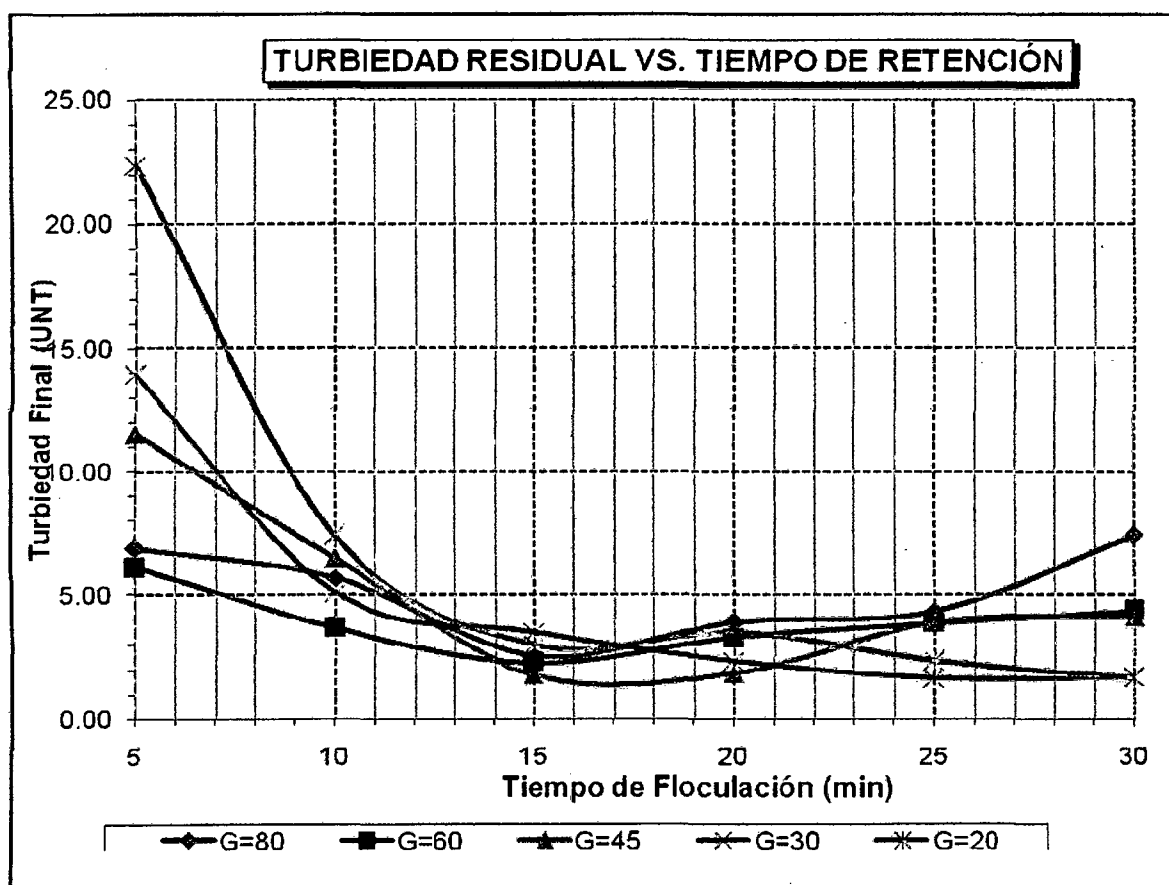
Características del coagulante:

- Concentración optima= 1.5%
- Dosis optima= 35mg/l
- pH optimo= 7.7

PROCESO	G(s ⁻¹)	RPM	T
Mezcla rápida	720	300	5 s
Floculación	20-80	21-55	30 min
Sedimentación	0	0	10 min

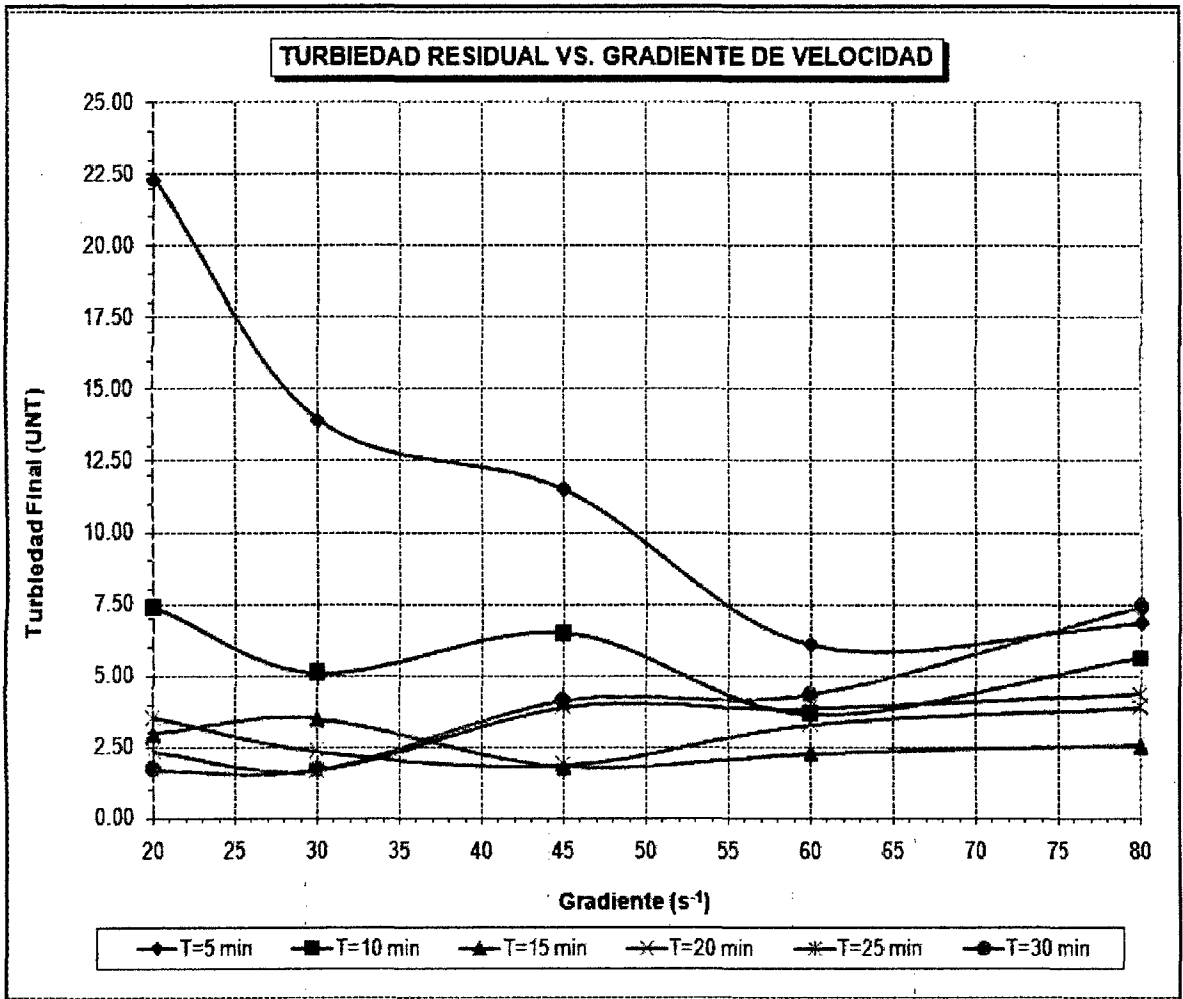
Cuadro 30. Resultados de ensayo de floculación IIB

Jarra	1	2	3	4	5	6
Tiempo (min)	5	10	15	20	25	30
Vol. Sol. 1.5% (ml)	4.67	4.67	4.67	4.67	4.67	4.67
G1= 80 55 rpm	6.86	5.65	2.54	3.89	4.33	7.41
G2= 60 44 rpm	6.09	3.64	2.27	3.29	3.84	4.34
G3= 45 36 rpm	11.50	6.48	1.78	1.85	3.89	4.10
G4= 30 27 rpm	13.90	5.07	3.48	2.34	1.65	1.69
G5= 20 21 rpm	22.30	7.35	2.97	3.49	2.33	1.67

Gráfico 31. Turbiedad residual vs Tiempo de retención IIB

T_{optimo} = 18 min

Gráfico 32. Turbiedad residual vs Gradiente de velocidad IIB



T(min)=	5	10	15	20	25	30
G(s⁻¹)=	64	60	47	41	28	26

De la formula:

T(min)=	5	10	15	20	25	30
G(s⁻¹)=	69	53	44	38	33	28

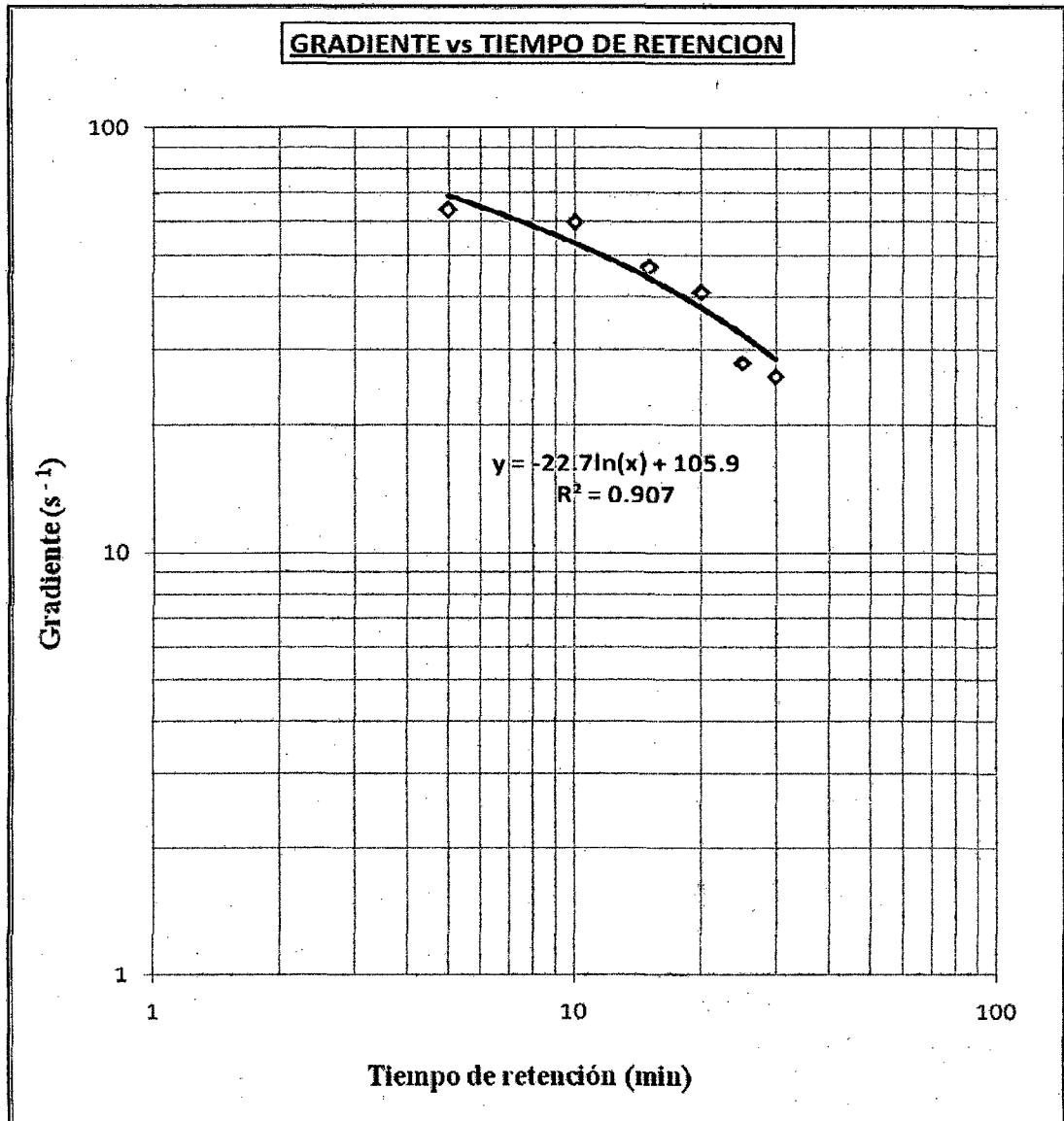
a	b	T
-22.7	105.9	6

Para 3 tramos

- G1= 65.23 s⁻¹
- G2= 49.49 s⁻¹
- G3= 40.29 s⁻¹

Para 3 tramos	
G1	65 s ⁻¹
G2	50 s ⁻¹
G3	20 s ⁻¹

Gráfico 33. Gradiente vs Tiempo de retención IIB



Con los datos obtenidos de tiempo de floculación y gradientes de velocidad óptimos procedemos a realizar los ensayos de sedimentación. Tiempo de sedimentación total de 18 min y Gradientes de 65 s⁻¹, 50 s⁻¹ y 20 s⁻¹

SEDIMENTACIÓN**Características del coagulante:**

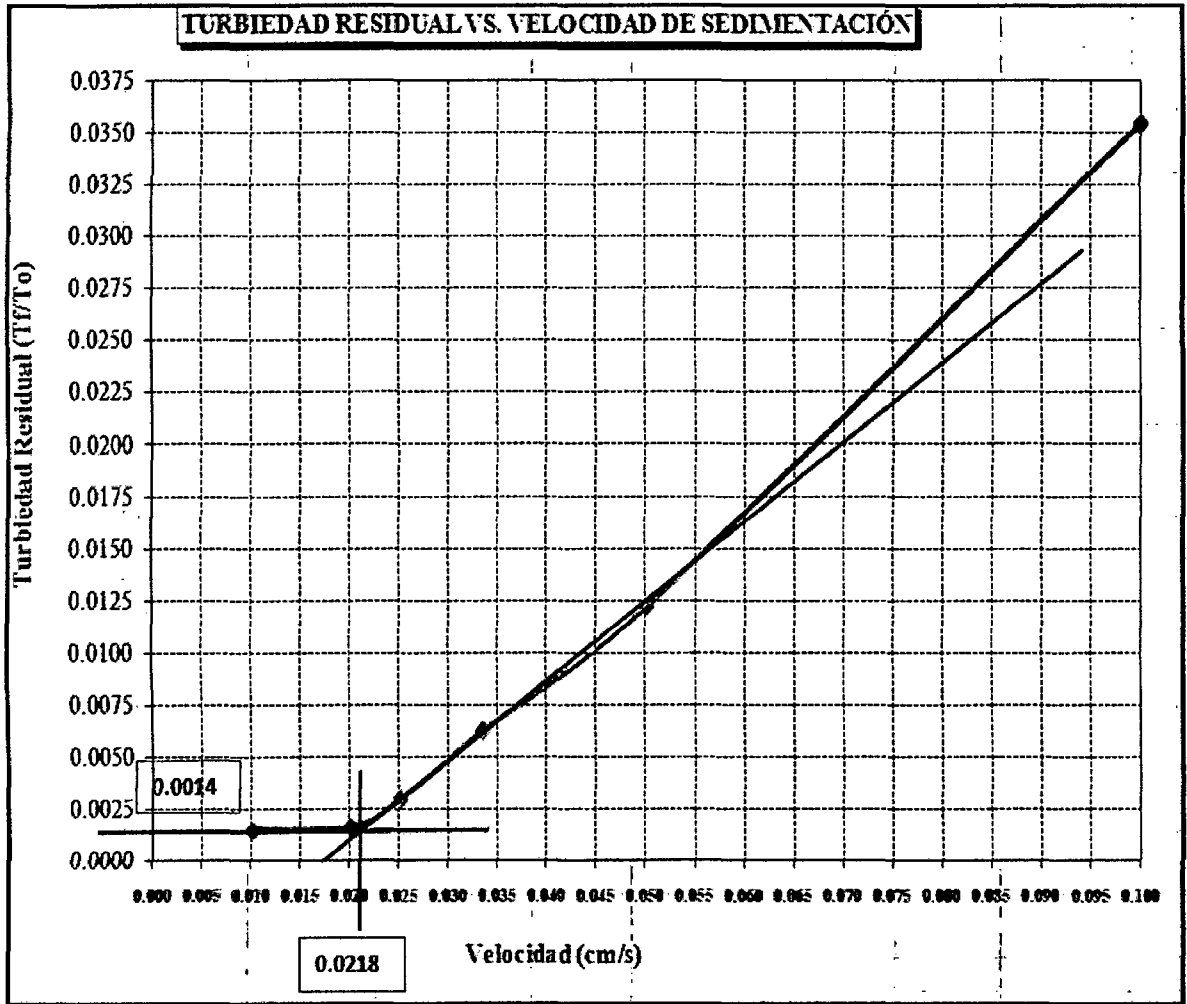
- Concentración optima= 6%
- Dosis optima= 110mg/l
- pH optimo= 7.6

PROCESO	G(s ⁻¹)	RPM	T
Mezcla rápida	720	300	5 s
Floculación 1	65	47	8 min
Floculación 2	50	38	8 min
Floculación 3	20	21	8 min
Sedimentación	0	0	20 min

Cuadro 31. Resultados de ensayo de sedimentación IIB

Jarra	T (s)	Vel (cm/s)	Tf	Tf/To
1	60	0.050	17.700	0.0354
2	120	0.025	6.110	0.0122
3	180	0.017	3.090	0.0062
4	240	0.013	1.440	0.0029
5	300	0.010	0.800	0.0016
6	600	0.005	0.710	0.0014

Gráfico 34. Curva de sedimentación IIB



$a = 0.0218$
$C_f = 0.0014$

Cuadro 32. Selección de la tasa de sedimentación IIB

$q(m^3/m^2/d)$	$V_s(cm/s)$	C_0	$1-(C_0-C_f)$	R_t	$T_r(UNT)$	$T_f(UNT)$
20	0.023	0.0017	1.000	1.0000	499.996	0.004
30	0.035	0.0061	0.995	0.9991	499.563	0.437
40	0.046	0.0107	0.991	0.9975	498.770	1.230
50	0.058	0.0148	0.987	0.9958	497.912	1.988
60	0.069	0.0212	0.980	0.9932	496.604	3.396

$V_{sed} = 50 m^3/m^2/d$

8.2.4 SOLUCION DE SULFATO DE ALUMINIO COMO COAGULANTE PRIMARIO Y SOLUCION DE MORINGA OLEIFERA COMO AYUDANTE DE COAGULACIÓN

DOSIS ÓPTIMA DEL AYUDANTE

Características del coagulante:

- **Concentración= 1.5%**
- **Dosis= 35 mg/l**

PROCESO	G(s ⁻¹)	RPM	T
Mezcla rápida	720	300	5 s
Floculación	37	32	20 min
Sedimentación	0	0	10 min

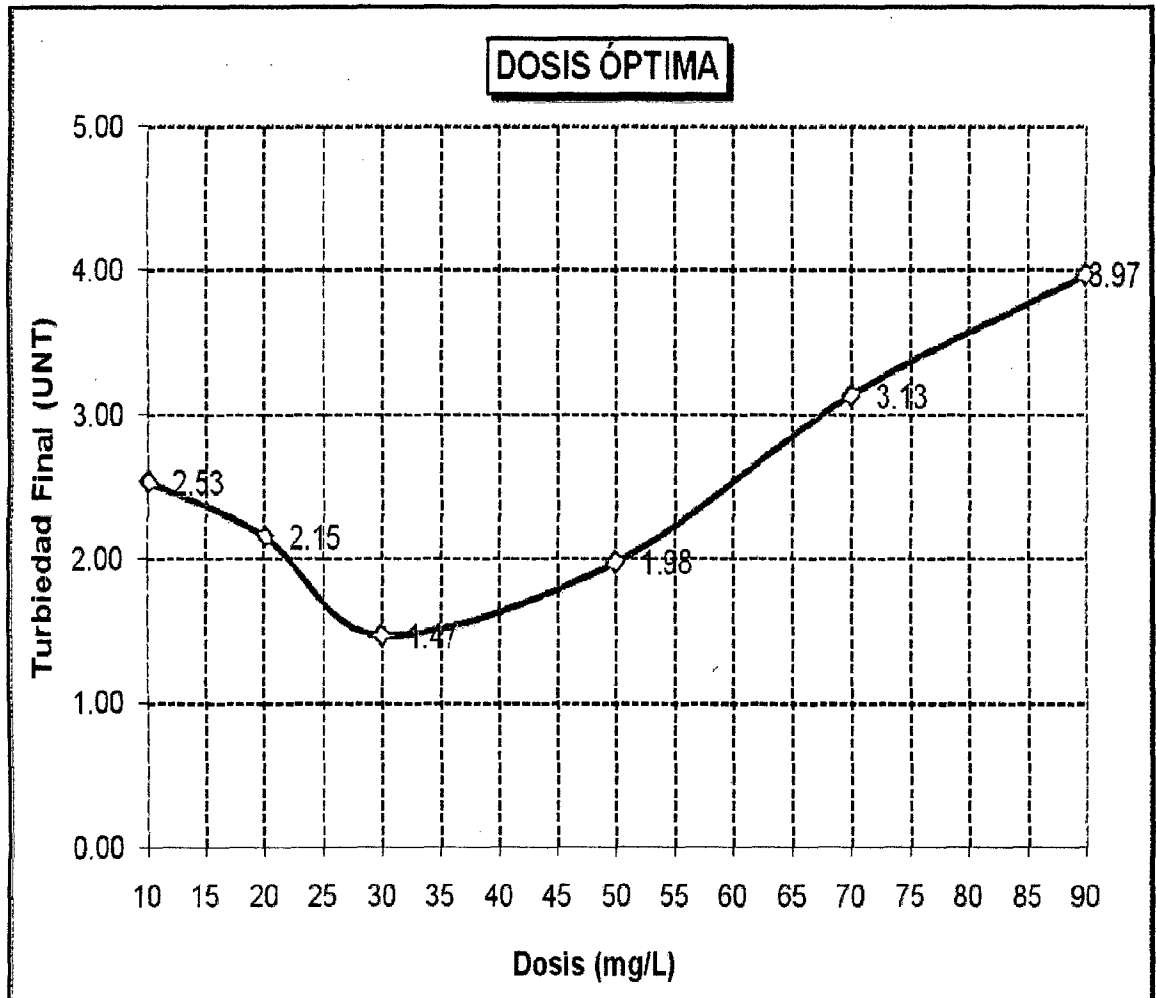
Características del ayudante:

- **Concentración= 1%**
- **Dosis= variable**

Cuadro 33. Dosis óptima del ayudante IIC

Jarra	1	2	3	4	5	6
Dosis ayud. (mg/L)	10	20	30	50	70	90
Vol. ayud 1% (ml)	2	4	6	10	14	18
Turbiedad residual	2.53	2.15	1.47	1.98	3.13	3.97

Gráfico 35. Dosis óptima del ayudante IIC



D_{óptima} ayudante = 30 mg/l

DOSIS ÓPTIMA DEL COAGULANTE CON AYUDANTE

Características del coagulante:

- Concentración= 1.5%
- Dosis= variable

PROCESO	G(s ⁻¹)	RPM	T
Mezcla rápida	720	300	5 s
Floculación	37	32	20 min
Sedimentación	0	0	10 min

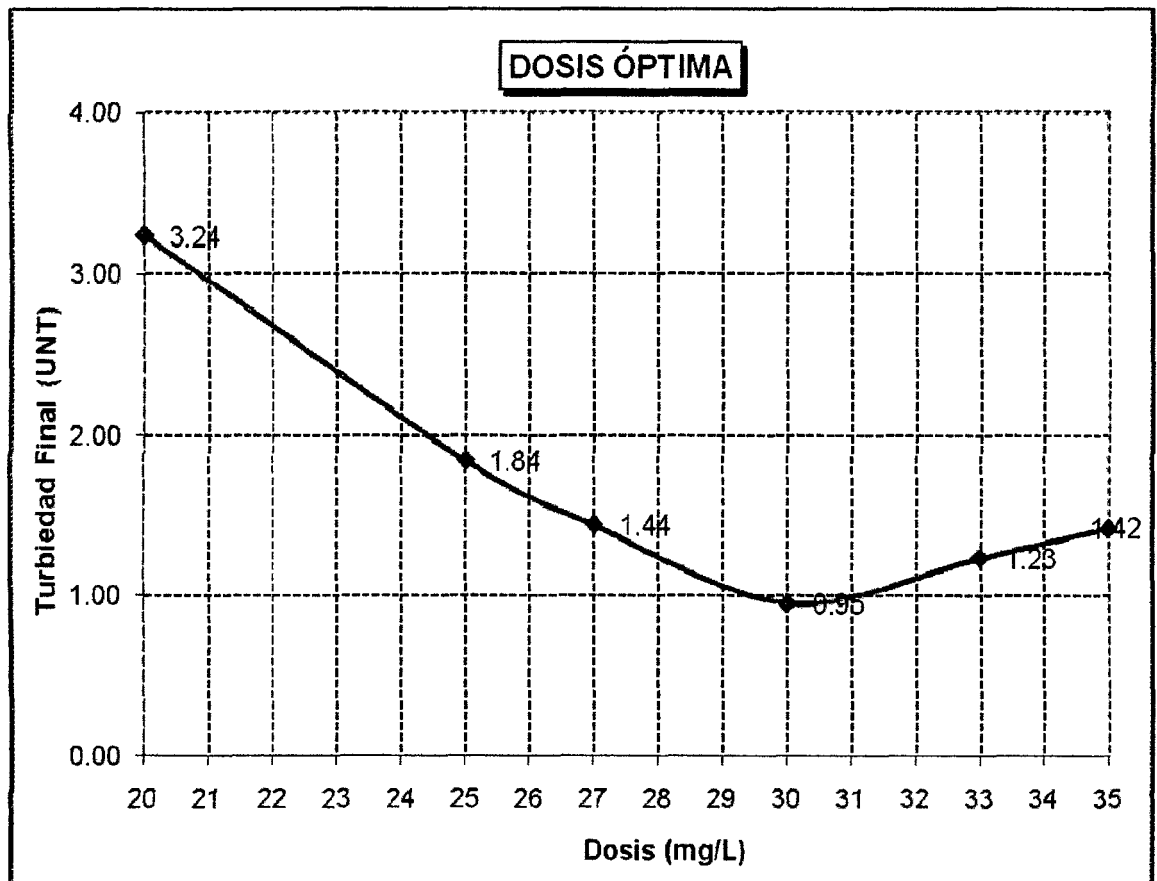
Características del ayudante:

- Concentración= 1%
- Dosis= 30mg/l

Cuadro 34. Dosis óptima del coagulante con ayudante IIC

Jarra	1	2	3	4	5	6
Dosis coag. (mg/L)	20	25	27	30	33	35
Vol. coag. 1.5% (ml)	2.7	3.3	3.6	4	4.4	4.7
Turbiedad residual	3.24	1.84	1.44	0.95	1.23	1.42

Gráfico 36. Dosis óptima del coagulante con ayudante IIC



D_{óptima coagulante} = 30 mg/l

PARAMETROS DE FLOCULACIÓN

Características del coagulante:

- Concentración= 1.5%
- Dosis= 30 mg/l

Características del ayudante:

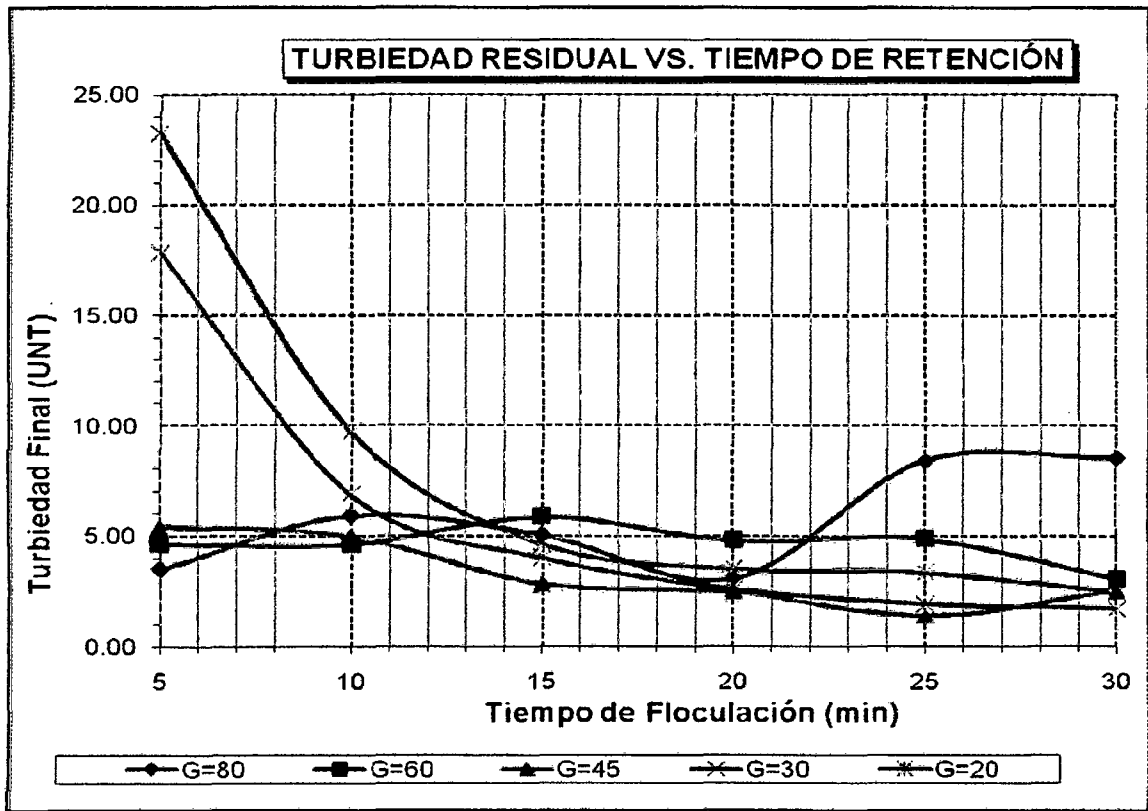
- Concentración= 1%
- Dosis= 30mg/l
- pH optimo= 7.7

PROCESO	G(s ⁻¹)	RPM	T
Mezcla rápida	720	300	5 s
Floculación	37	32	20 min
Sedimentación	0	0	10 min

Cuadro 35. Resultados del ensayo de floculación IIC

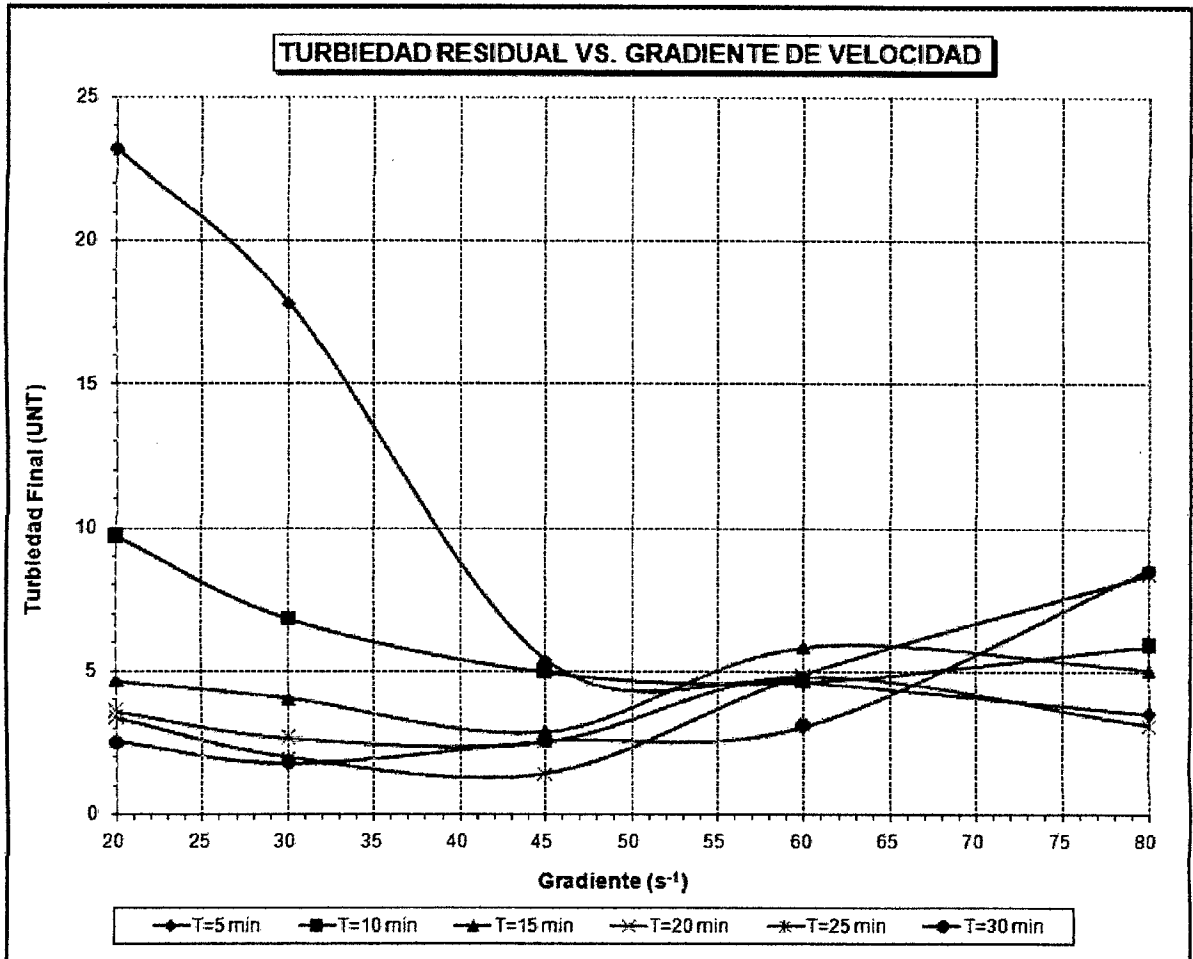
Jarra		1	2	3	4	5	6
Tiempo (min)		5	10	15	20	25	30
Vol. coag. (ml)		4	4	4	4	4	4
Vol. ayud. (ml)		6	6	6	6	6	6
G1=80	55 rpm	3.50	5.90	5.06	3.10	8.39	8.52
G2=60	44 rpm	4.64	4.64	5.85	4.83	4.88	3.07
G3=50	39 rpm	5.39	4.97	2.87	2.52	1.41	2.54
G4=30	27 rpm	17.80	6.83	4.03	2.64	1.96	1.76
G5=20	21 rpm	23.20	9.69	4.66	3.55	3.34	2.50

Gráfico 37. Turbiedad residual vs Tiempo de retención IIC



T_{optimo}=24 min

Gráfico 38. Turbiedad residual vs Gradiente de velocidad IIC



T(min)=	5	10	15	20	25	30
G(s ⁻¹)=	80	55	44	41	41	30

De Formula

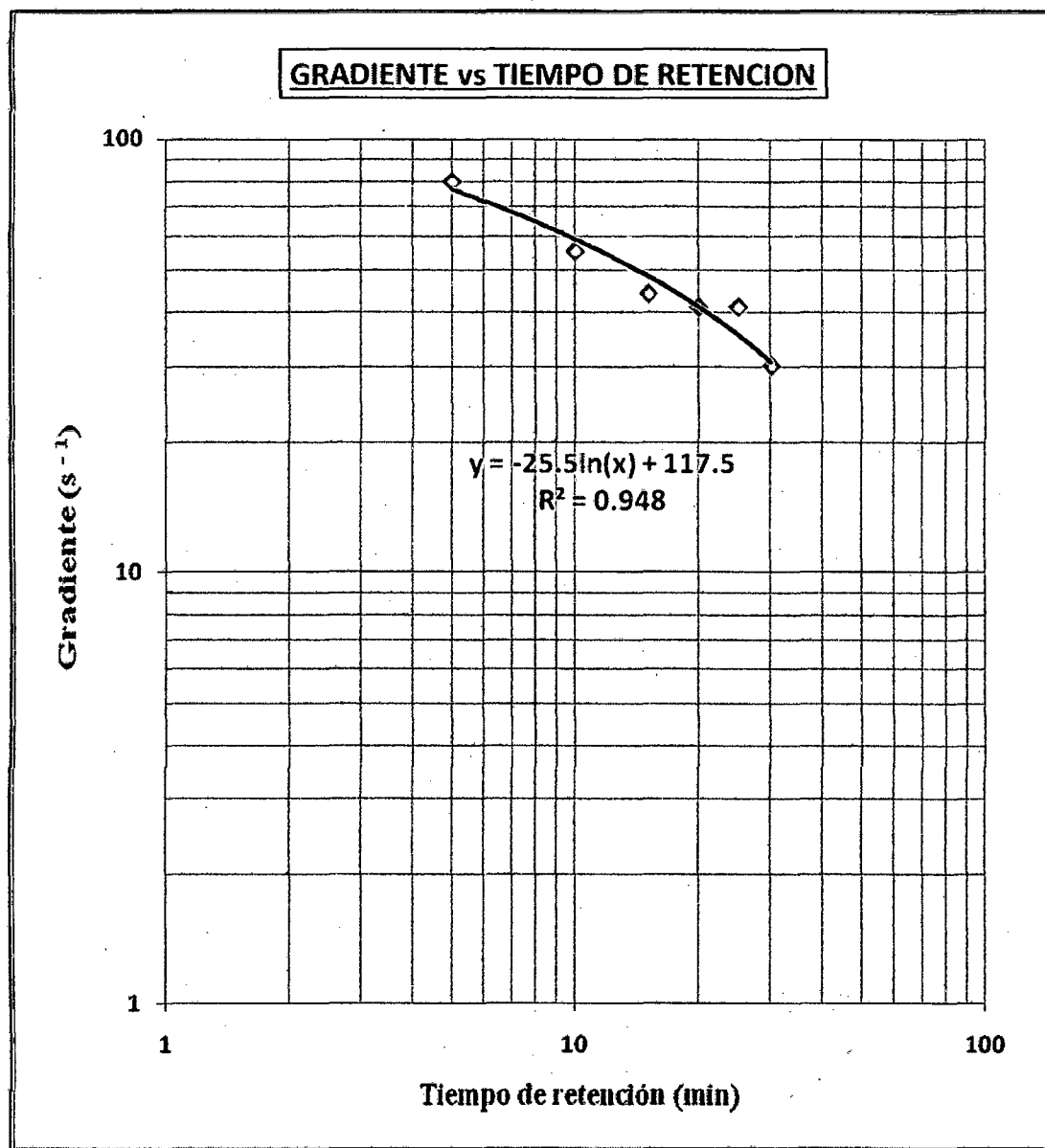
T(min)=	5	10	15	20	25	30
G(s ⁻¹)=	76	59	48	41	35	31

a	b	T
-25.5	117.5	8

Para 3 tramos
 G1= 64.47 s⁻¹
 G2= 46.80 s⁻¹
 G3= 36.46 s⁻¹

Para 3 tramos	
G1	65 s ⁻¹
G2	47 s ⁻¹
G3	20 s ⁻¹

Gráfico 39. Gradiente de velocidad vs Tiempo de retención IIC



Con los datos obtenidos de tiempo de floculación y gradientes de velocidad óptimos procedemos a realizar los ensayos de sedimentación. Tiempo de sedimentación total de 24 min y Gradientes de 65 s⁻¹, 47 s⁻¹ y 20 s⁻¹

SEDIMENTACIÓN**Características del coagulante:**

- Concentración= 1.5%
- Dosis= 30 mg/l

Características del ayudante:

- Concentración= 1%
- Dosis= 30mg/l

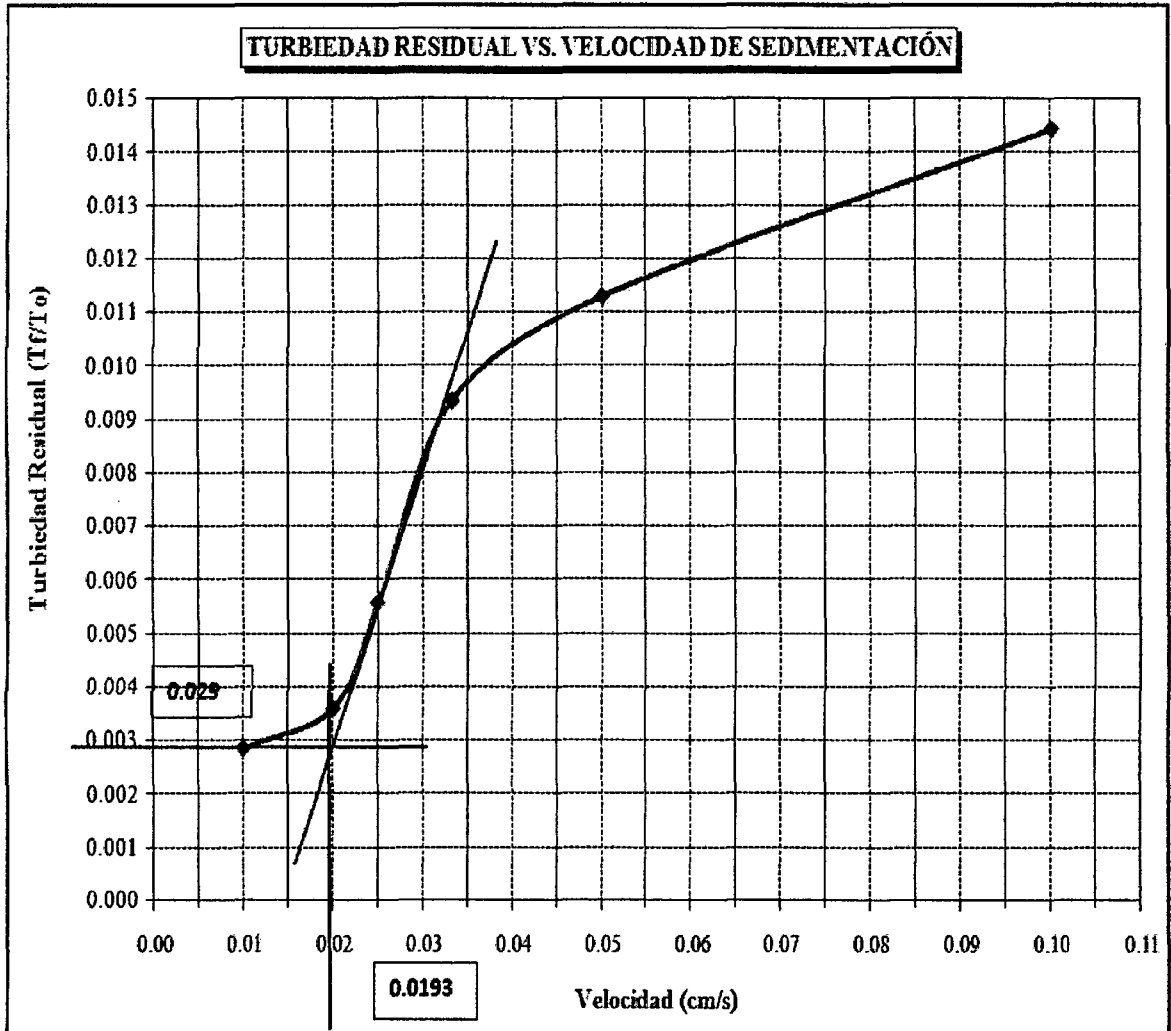
PROCESO	G(s ⁻¹)	RPM	T
Mezcla rápida	720	300	5 s
Floculación 1	65	47	8 min
Floculación 2	47	36	8 min
Floculación 3	20	21	8 min
Sedimentación	0	0	10 min

- pH optimo= 7.6

Cuadro 36. Resultados del ensayo de sedimentación IIC

Jarra	T (s)	V (cm/s)	Tf	Tf / To
1	60	0.100	7.210	0.0144
2	120	0.050	5.640	0.0113
3	180	0.033	4.670	0.0093
4	240	0.025	2.780	0.0056
5	300	0.020	1.790	0.0036
6	600	0.010	1.420	0.0028

Gráfico 40. Curva de sedimentación IIC



a=0.0193
Cf=0.029

Cuadro 37. Selección de la tasa de sedimentación IIC

q(m ³ /m ² /d)	Vs(cm/s)	C ₀	1-(C ₀ -C _f)	R _t	Tr(UNT)	Tf(UNT)
20	0.023	0.0042	0.999	0.9999	499.946	0.054
30	0.035	0.0106	0.992	0.9983	499.145	0.855
40	0.046	0.0111	0.992	0.9976	498.805	1.623
50	0.058	0.0121	0.991	0.9969	498.467	1.952
60	0.069	0.0127	0.990	0.9965	498.231	2.231
70	0.081	0.0129	0.990	0.9962	498.096	2.325

Vsed= 50m³/m²/d

8.3 TURBIEDAD ALTA 2: MUESTRA N° 3, 110 UNT

8.3.1 CARACTERISTICAS DEL AGUA CRUDA

- Procedencia: Rio Rímac
- Fecha de la muestra: 15 de Marzo de 2012
- Alcalinidad: 91 mg/l CO_3Ca
- Dureza total: 184 mg/l CO_3Ca
- Dureza cálcica: 131 mg/l CO_3Ca
- Dureza magnésica: 53 mg/l CO_3Ca
- pH: 7.7

8.3.2 LA SOLUCION DE EXTRACTO DE SEMILLA DE MORINGA OLEIFERA COMO COAGULANTE PRIMARIO

DOSIS ÓPTIMA

Características del coagulante:

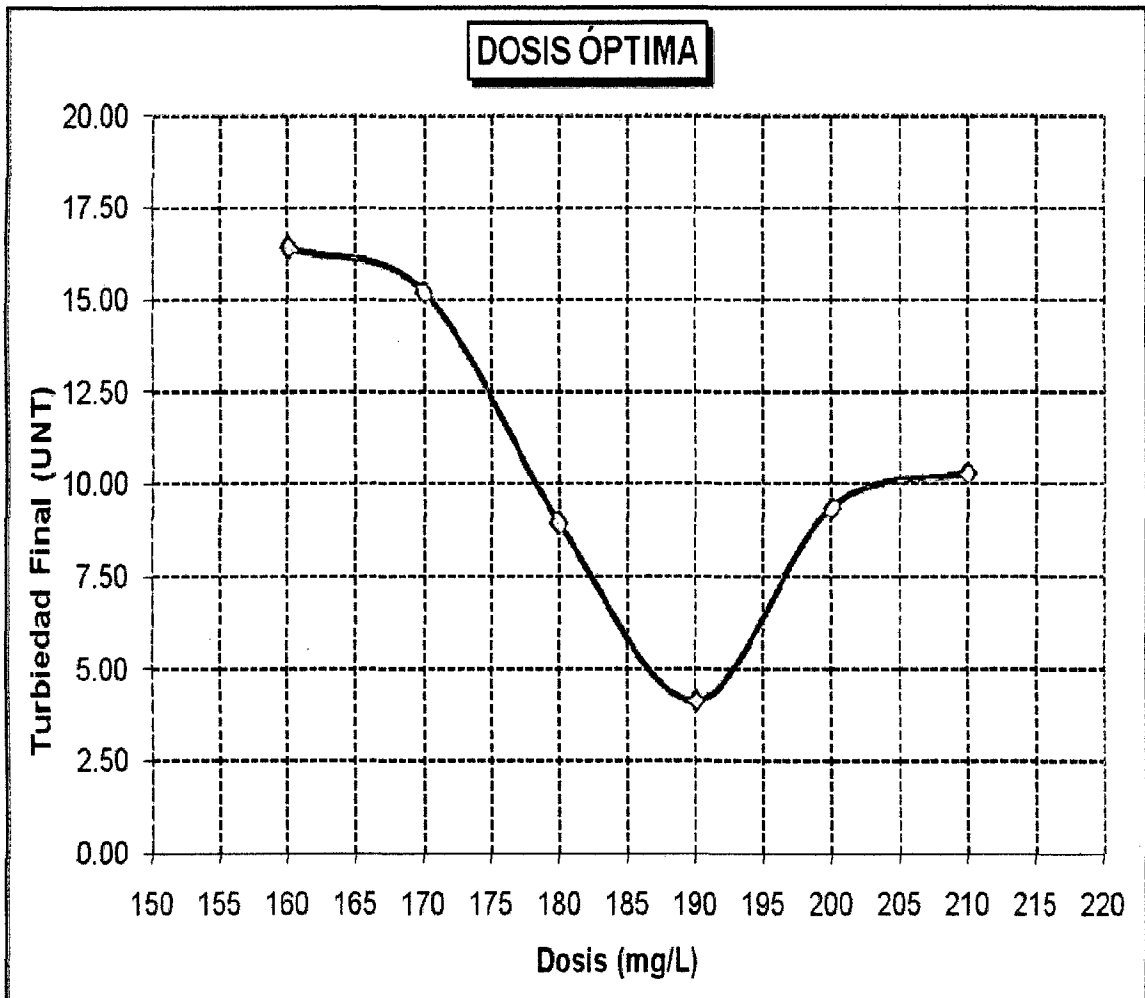
- Concentración= 2%
- Dosis= variable

PROCESO	$\text{G}(\text{s}^{-1})$	RPM	T
Mezcla rápida	720	300	5 s
Floculación	37	32	20 min
Sedimentación	0	0	20 min

Cuadro 38. Dosis óptima de moringa oleifera IIIA

Jarra	1	2	3	4	5	6
Dosis (mg/L)	160	170	180	190	200	210
Vol. Sol. 2%	16	17	18	19	20	21
Turbiedad residual	16.40	15.20	8.94	4.14	9.36	10.30

Gráfico 41. Dosis óptima de moringa oleifera IIIA



D_{óptima} = 190 mg/l

CONCENTRACIÓN ÓPTIMA

Características del coagulante:

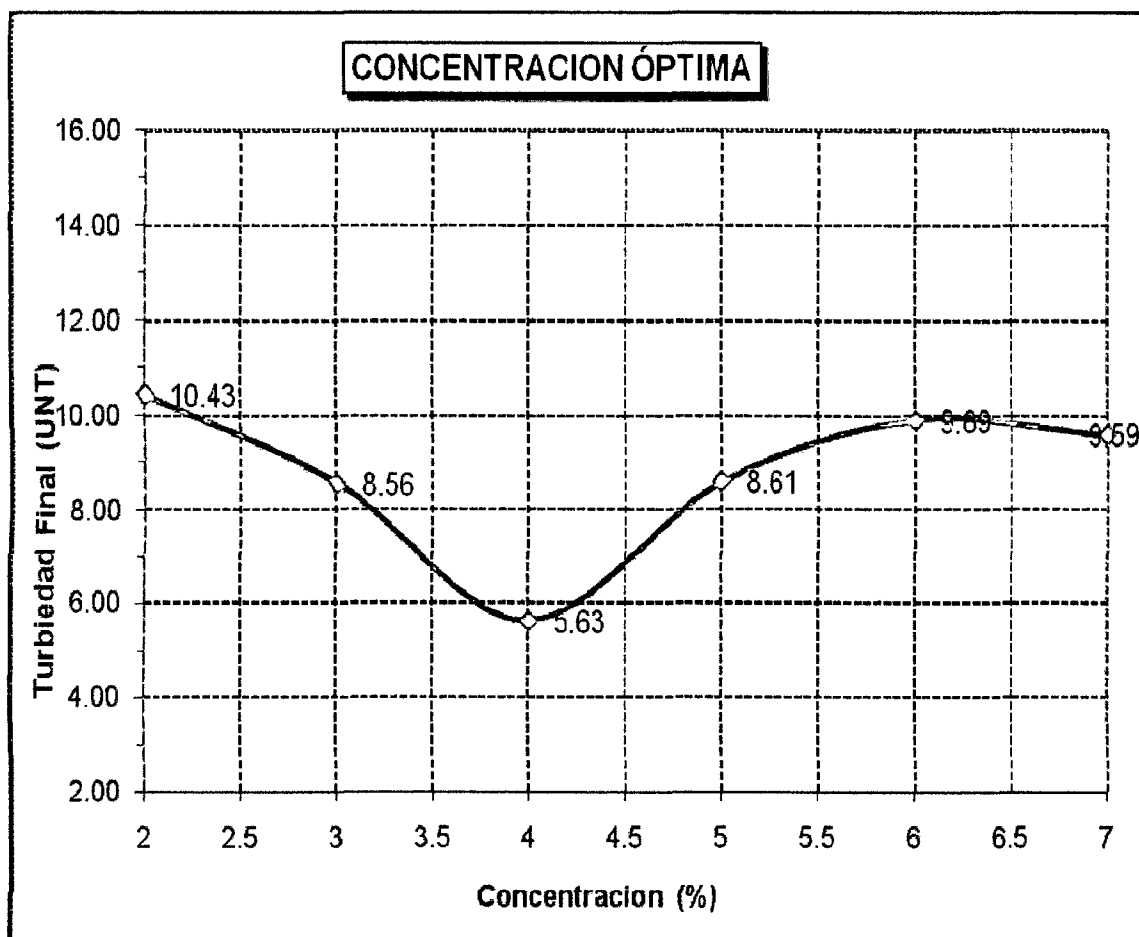
- Concentración= variable
- Dosis optima= 190mg/l

PROCESO	G(s ⁻¹)	RPM	T
Mezcla rápida	720	300	5 s
Floculación	37	32	20 min
Sedimentación	0	0	20 min

Cuadro 39. Concentración óptima de moringa oleifera IIIA

Jarra	1	2	3	4	5	6
Concentración (%)	2	3	4	5	6	7
Vol. Sol.	19	12.7	9.5	7.6	6.3	5.4
Turbiedad residual	10.43	8.56	5.63	8.61	9.89	9.59

Gráfico 42. Concentración óptima de moringa oleifera IIIA



C_{óptima} = 4%

pH ÓPTIMO

Características del coagulante:

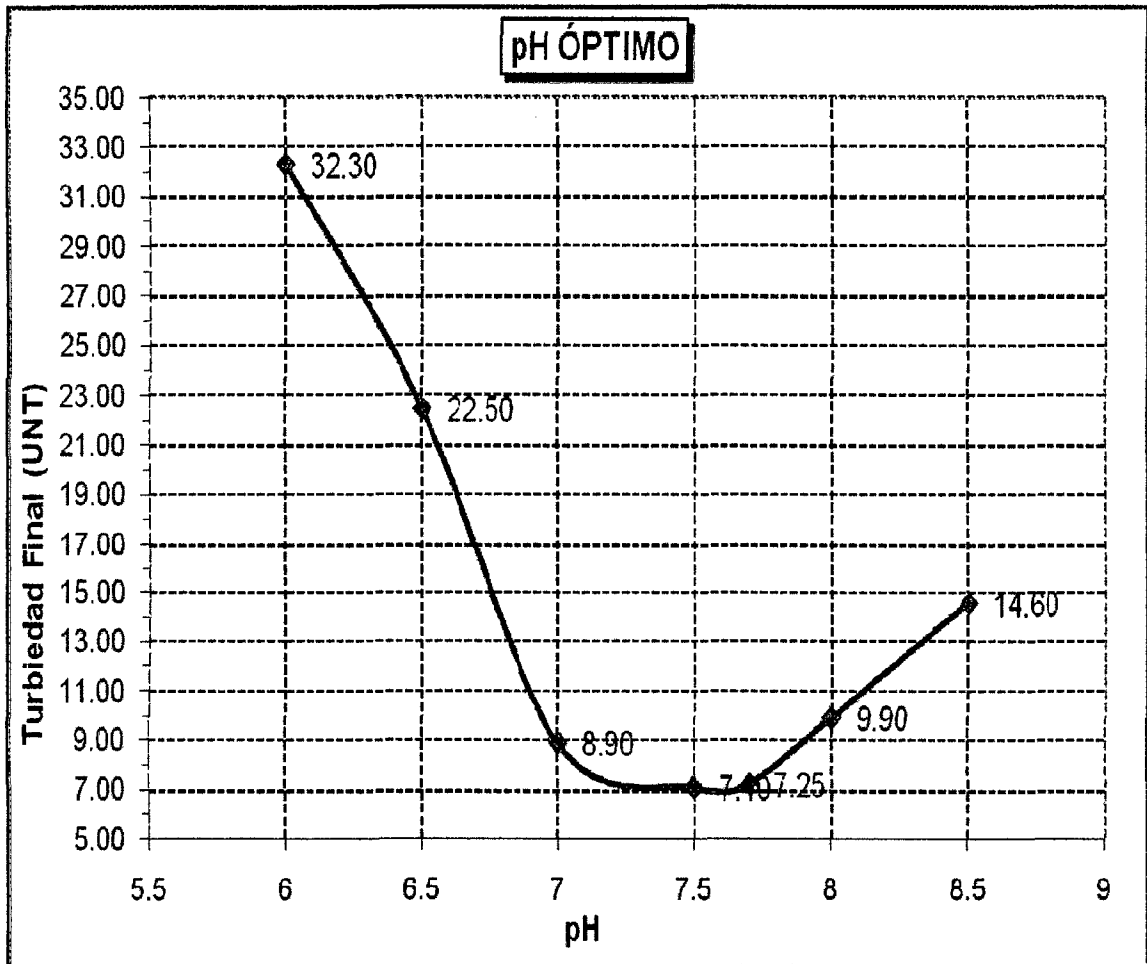
- Concentración optima= 4%
- Dosis optima= 190mg/l
- pH= variable

PROCESO	G(s ⁻¹)	RPM	T
Mezcla rápida	720	300	5 s
Floculación	37	32	20 min
Sedimentación	0	0	20 min

Cuadro 40. pH óptimo IIIA

Jarra	1	2	3	4	5	6	7
pH	6	6.5	7	7.5	7.7	8	8.5
Vol. Sol. 4%	9.5	9.5	9.5	9.5	9.5	9.5	9.5
Turbiedad residual	32.30	22.50	8.90	7.10	7.25	9.90	14.60

Gráfico 43. pH óptimo IIIA



pH_{óptimo} = 7.7 (natural)

PARAMETROS DE FLOCULACIÓN

Características del coagulante:

- Concentración optima= 4%
- Dosis optima= 190mg/l
- pH optimo= 7.7

PROCESO	G(s ⁻¹)	RPM	T
Mezcla rápida	720	300	5 s
Floculación	20-80	21-55	30 min
Sedimentación	0	0	20 min

Cuadro 41. Resultados de ensayo de floculación IIIA

Jarra	1	2	3	4	5	6	
Tiempo (min)	5	10	15	20	25	30	
Vol. Sol. 4% (ml)	9.5	9.5	9.5	9.5	9.5	9.5	
G1= 80	55 rpm	24.60	22.60	14.80	10.90	25.80	14.50
G2= 60	44 rpm	20.40	13.20	13.70	14.20	10.20	9.66
G3= 45	36 rpm	28.30	15.40	8.30	8.68	7.11	7.00
G4= 30	27 rpm	51.90	16.50	9.80	8.30	5.79	6.48
G5= 20	21 rpm	50.00	30.70	11.10	11.60	7.62	6.78

Gráfico 44. Turbiedad residual vs Tiempo de retención IIIA

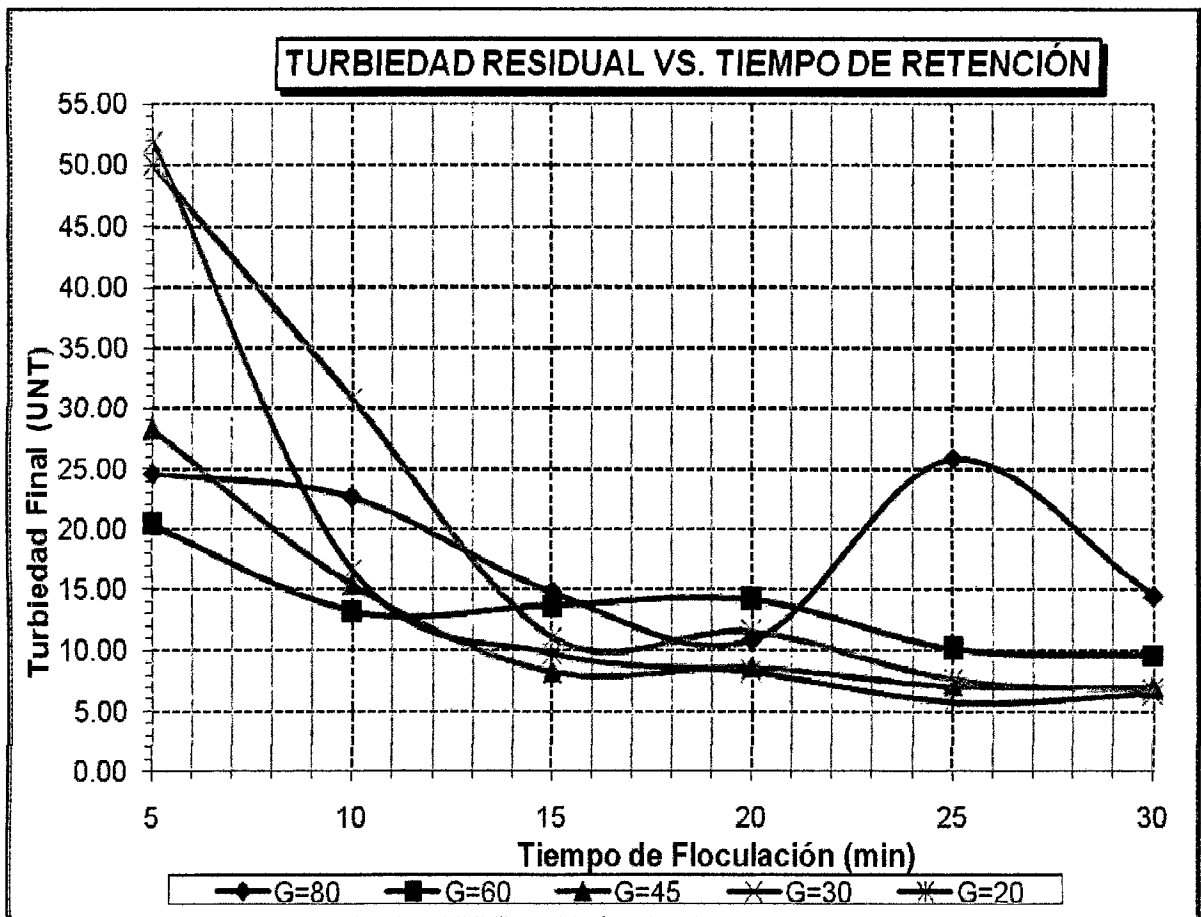
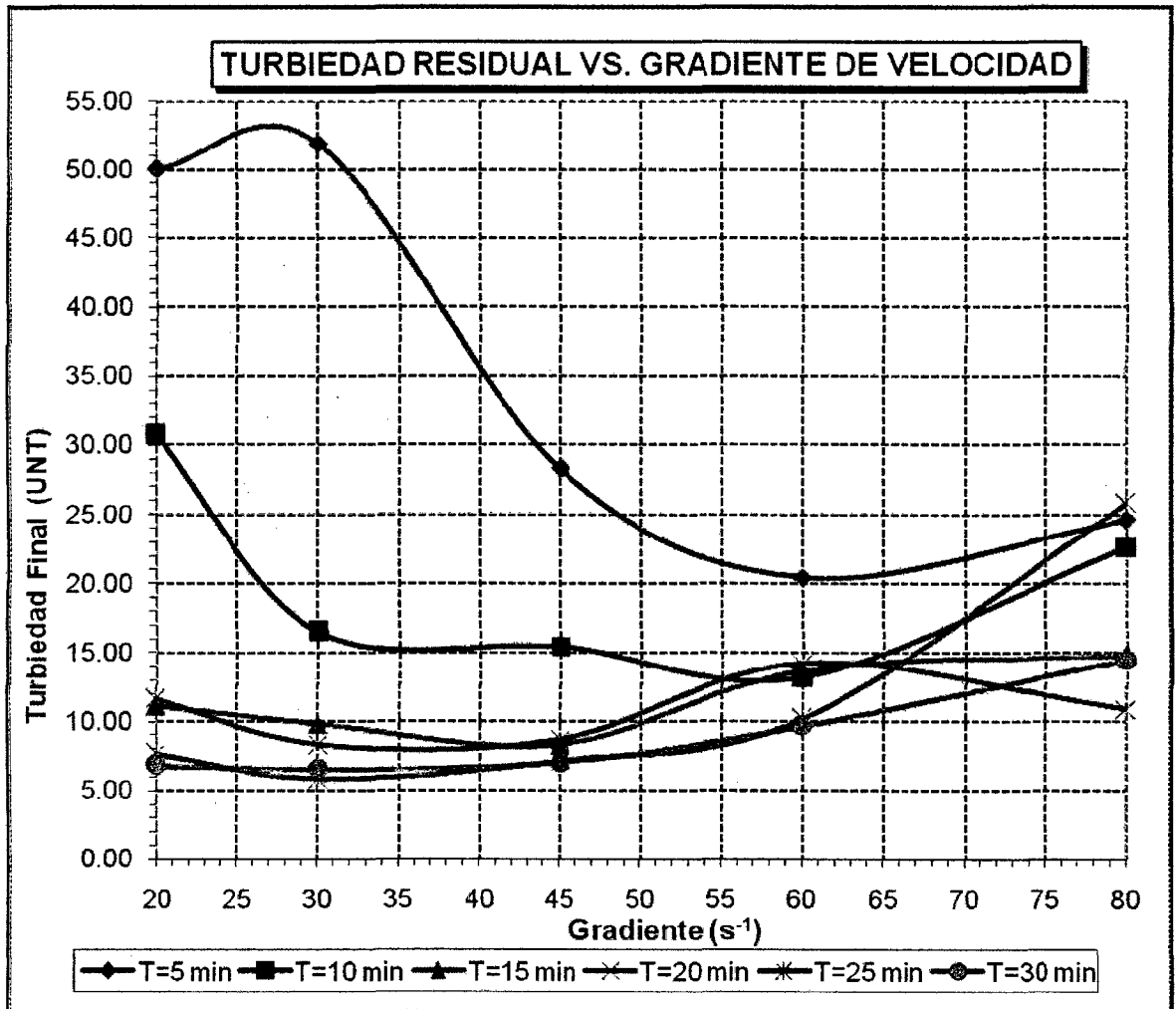


Gráfico 45. Turbiedad residual vs Gradiente de velocidad IIIA



T(min)=	5	10	15	20	25	30
G(s⁻¹)=	62	57	43	36	30	30

De la formula:

T(min)=	5	10	15	20	25	30
G(s⁻¹)=	65	51	43	37	33	29

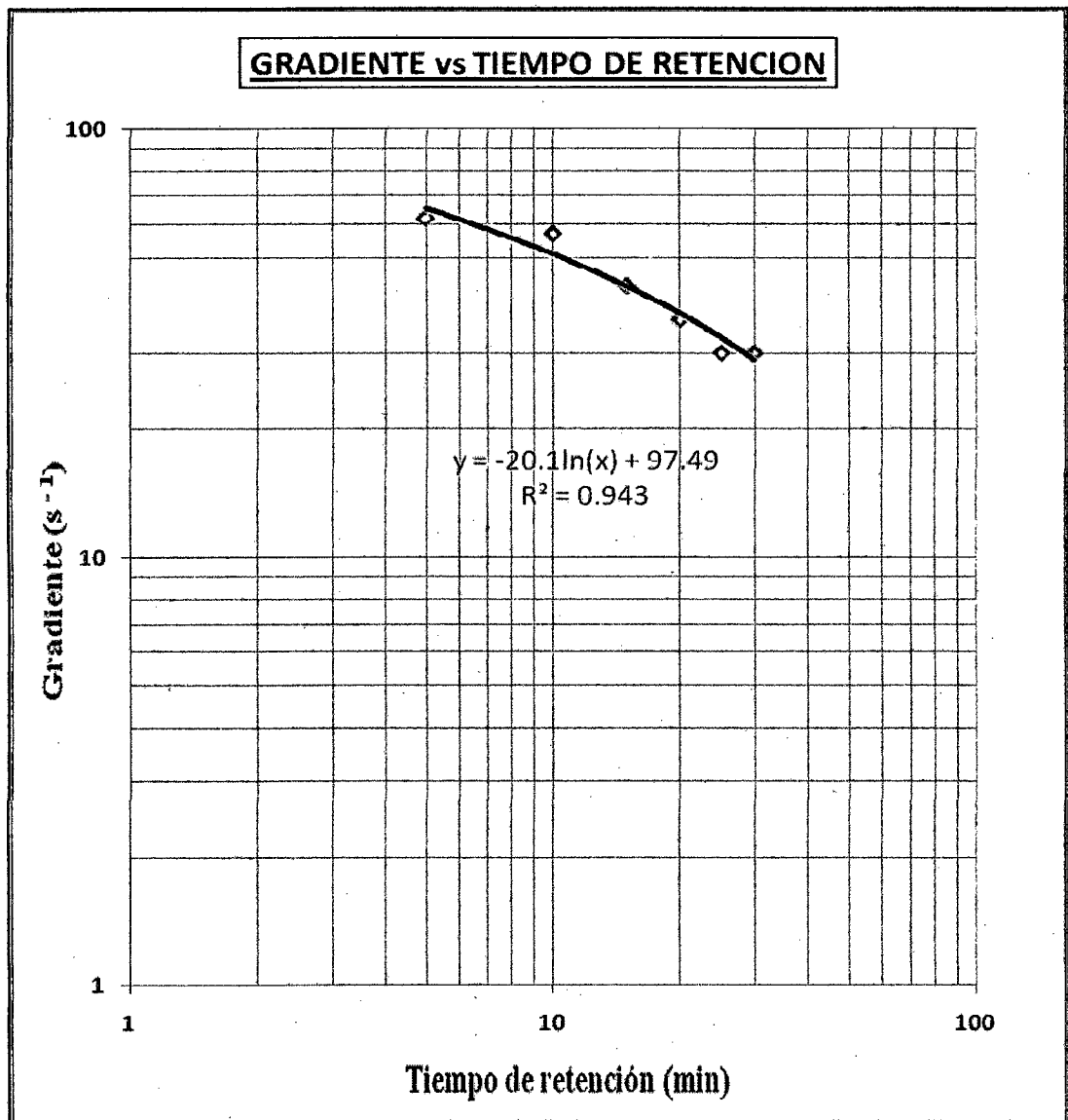
a	b	T
-20.1	97.49	9

Para 3 tramos

- G1= 53.35 s⁻¹
- G2= 39.39 s⁻¹
- G3= 31.24 s⁻¹

Para 3 tramos	
G1	53 s ⁻¹
G2	39 s ⁻¹
G3	20 s ⁻¹

Gráfico 46. Gradiente de velocidad vs Tiempo de retención IIIA



Con los datos obtenidos de tiempo de floculación y gradientes de velocidad óptimos procedemos a realizar los ensayos de sedimentación. Tiempo de sedimentación total de 27 min y Gradientes de 53 s⁻¹, 39 s⁻¹ y 20 s⁻¹

SEDIMENTACIÓN**Características del coagulante:**

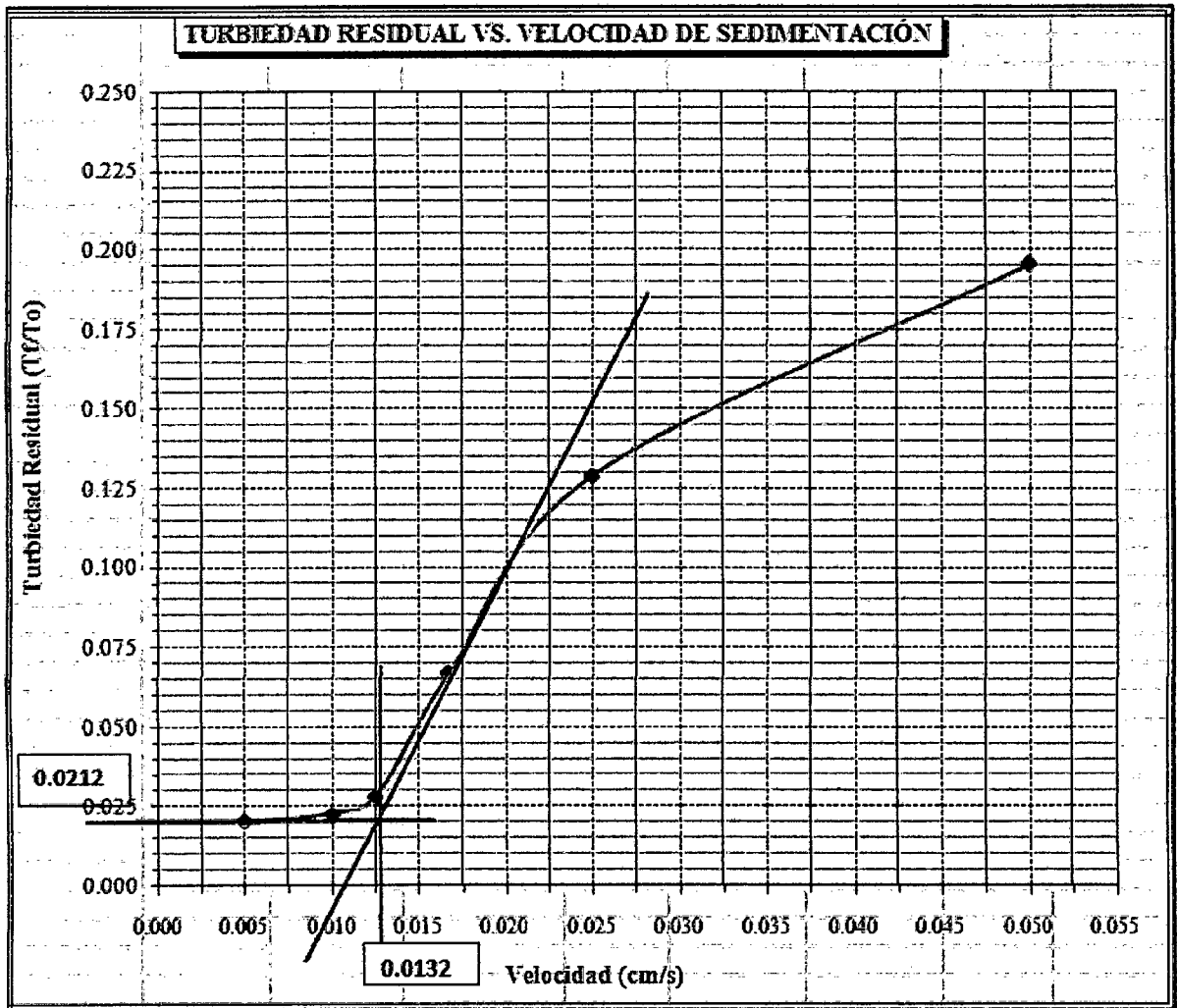
- Concentración optima= 4%
- Dosis optima= 190mg/l
 - pH optimo= 7.7

PROCESO	G(s ⁻¹)	RPM	T
Mezcla rápida	720	300	5 s
Floculación 1	53	40	9 min
Floculación 2	39	31	9 min
Floculación 3	20	21	9 min
Sedimentación	0	0	30 min

Cuadro 42. Resultados de ensayo de sedimentación IIIA

Jarra	T (s)	Vel (cm/s)	Tf	Tf/To
1	120	0.050	21.500	0.1955
2	240	0.025	14.200	0.1291
3	360	0.017	7.340	0.0667
4	480	0.013	3.100	0.0282
5	600	0.010	2.500	0.0227
6	1200	0.005	2.210	0.0201

Gráfico 47. Curva de sedimentación IIIA



$a = 0.0132$
 $C_f = 0.0212$

Cuadro 43. Selección de la tasa de sedimentación IIIA

$q(m^3/m^2/d)$	$V_s(cm/s)$	C_0	$1-(C_0-C_r)$	R_t	$T_r(UNT)$	$T_f(UNT)$
10	0.0116	0.0233	0.998	1.0001	110.016	.
15	0.0174	0.0732	0.948	0.9938	109.315	0.685
20	0.0231	0.1182	0.903	0.9792	107.707	1.435
25	0.0289	0.1392	0.882	0.9679	106.471	1.952
30	0.0347	0.1582	0.863	0.9575	105.330	2.670

$V_{sed} = 25 m^3/m^2/d$

8.3.3 SOLUCION DE SULFATO DE ALUMINIO COMO COAGULANTE PRIMARIO

DOSIS ÓPTIMA

Características del coagulante:

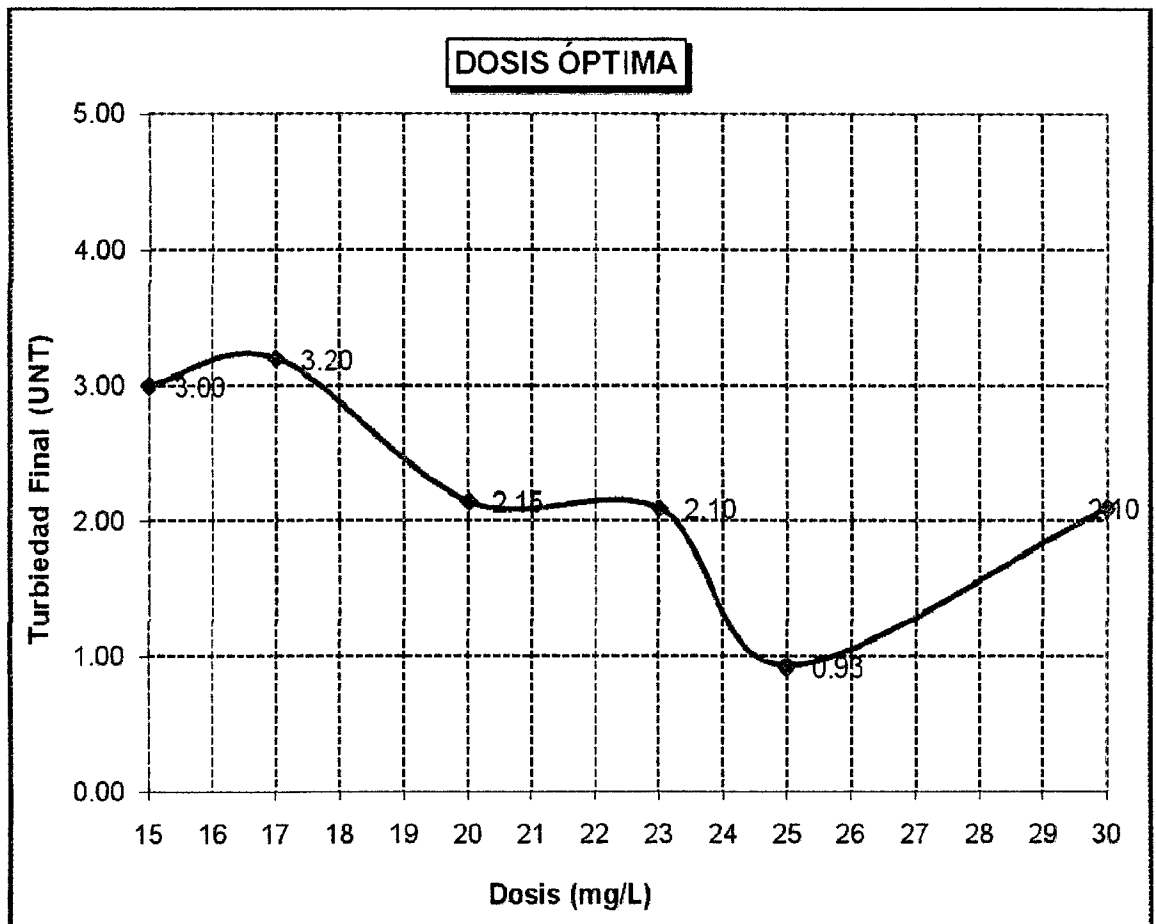
- Concentración= 1%
- Dosis= variable

PROCESO	G(s ⁻¹)	RPM	T
Mezcla rápida	720	300	5 s
Floculación	37	32	20 min
Sedimentación	0	0	10 min

Cuadro 44. Dosis óptima de sulfato de aluminio IIIB

Jarra	1	2	3	4	5	6
Dosis (mg/L)	15	17	20	23	25	30
Vol. Sol. 1%	3	3.4	4	4.6	5	6
Turbiedad residual	3.00	3.20	2.15	2.10	0.93	2.10

Gráfico 48. Dosis óptima de sulfato de aluminio IIIB



D_{óptima} = 25 mg/l

CONCENTRACIÓN ÓPTIMA

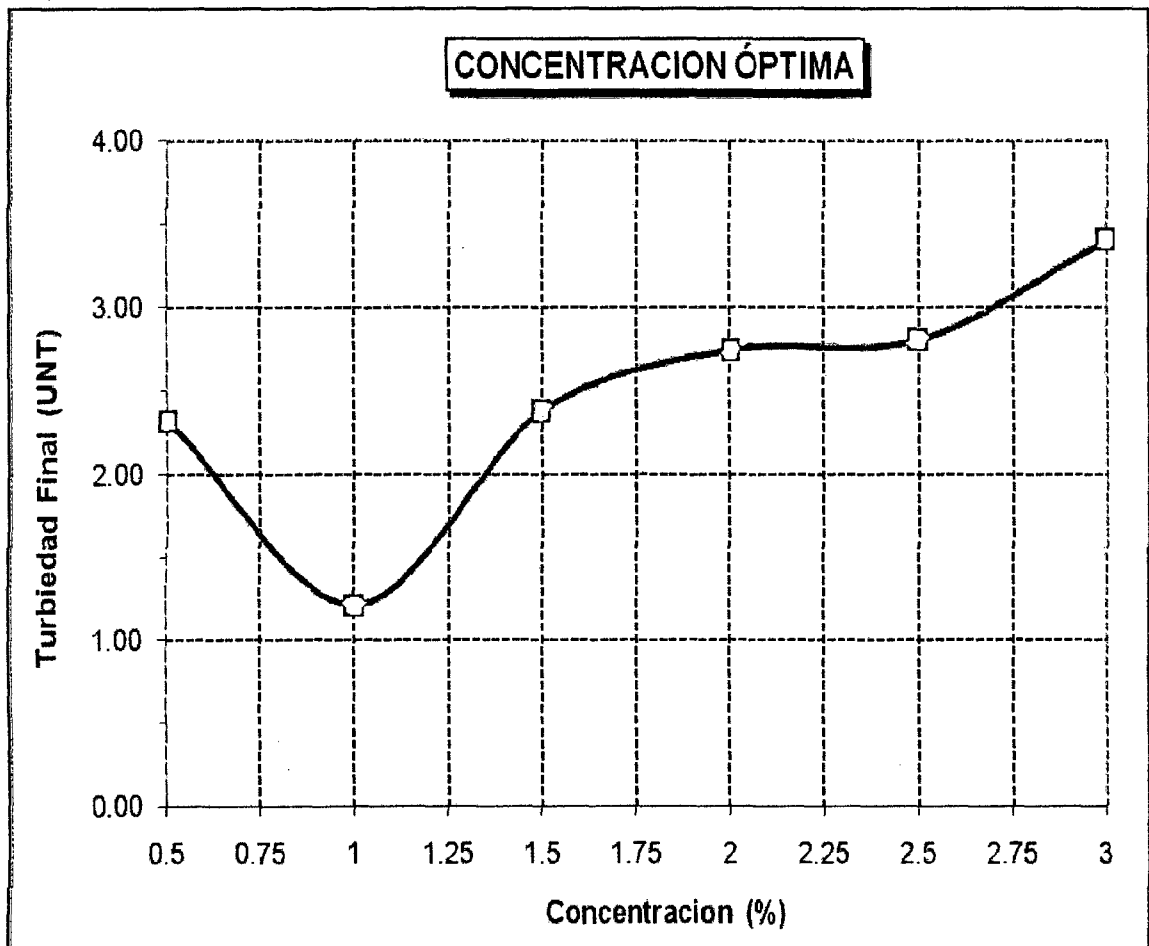
Características del coagulante:

- Concentración= variable
- Dosis optima= 25mg/l

PROCESO	G(s ⁻¹)	RPM	T
Mezcla rápida	720	300	5 s
Floculación	37	32	20 min
Sedimentación	0	0	10 min

Cuadro 45. Concentración óptima de sulfato de aluminio IIIB

Jarra	1	2	3	4	5	6
Concentración (%)	0.5	1	1.5	2	2.5	3
Vol. Sol.	10	5	3.34	2.5	2	1.67
Turbiedad residual	2.32	1.21	2.37	2.74	2.80	3.40

Gráfico 49. Concentración óptima de sulfato de aluminio IIIBC_{óptima} = 1%

pH ÓPTIMO

Características del coagulante:

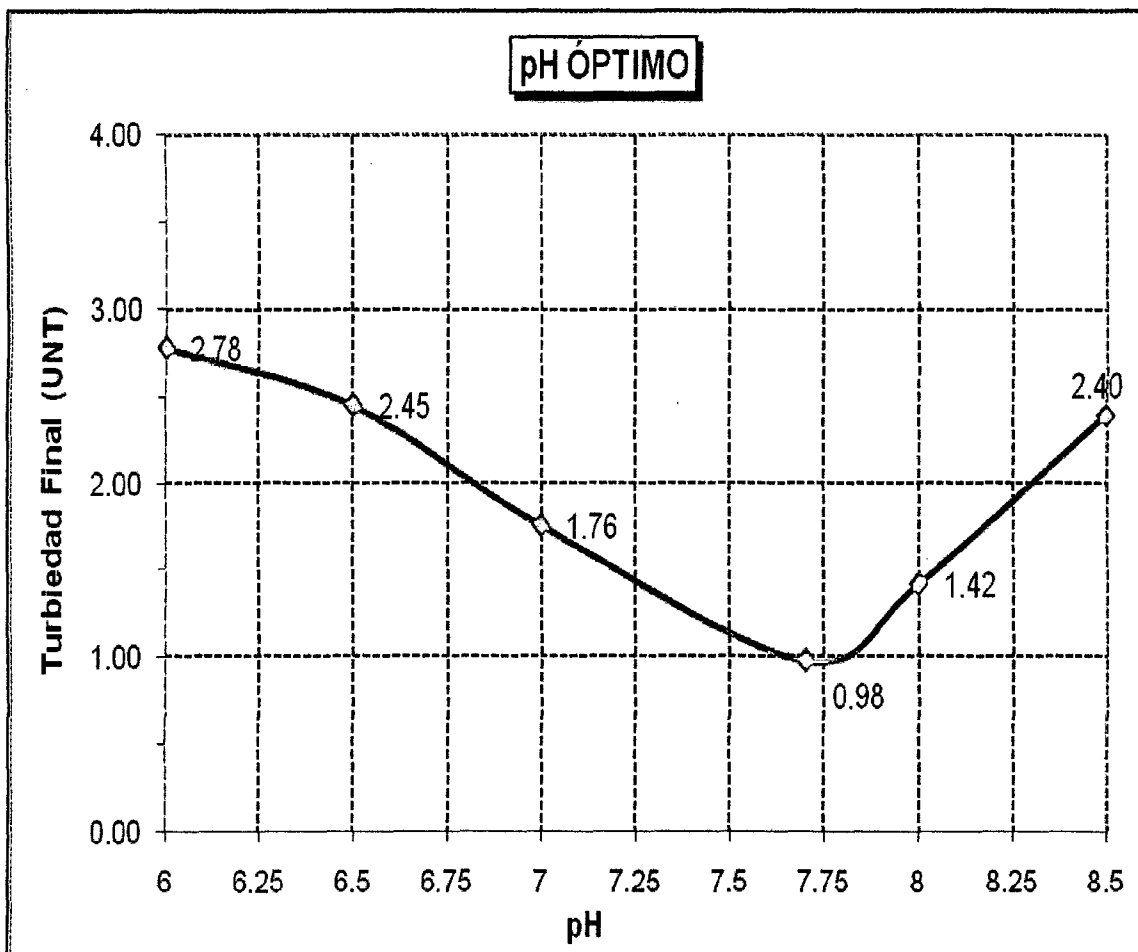
- Concentración optima= 1%
- Dosis optima= 25mg/l
- pH= variable

PROCESO	G(s ⁻¹)	RPM	T
Mezcla rápida	720	300	5 s
Floculación	37	32	20 min
Sedimentación	0	0	10 min

Cuadro 46. pH óptimo IIIB

Jarra	1	2	3	4	5	6	7
pH	6	6.5	7	7.7	8	8.5	6
Vol. Sol. 1.5%	5	5	5	5	5	5	5
Turbiedad residual	2.78	2.45	1.76	0.98	1.42	2.40	2.78

Gráfico 50. pH óptimo IIIB



pH_{óptimo} = 7.7 (natural)

PARAMETROS DE FLOCULACIÓN

Características del coagulante:

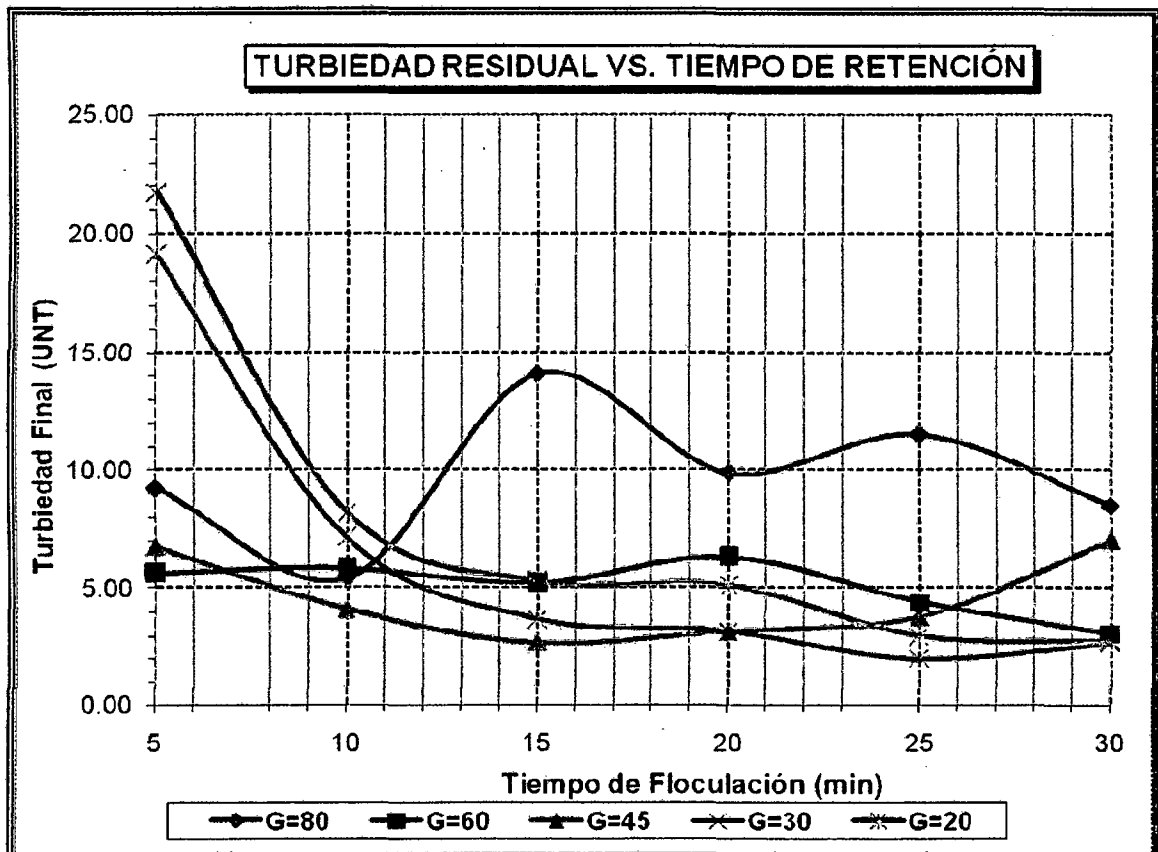
- Concentración optima= 1%
- Dosis optima= 25mg/l
- pH optimo= 7.7

PROCESO	G(s ⁻¹)	RPM	T
Mezcla rápida	720	300	5 s
Floculación	20-80	21-55	30 min
Sedimentación	0	0	10 min

Cuadro 47. Resultados de ensayo de floculación IIB

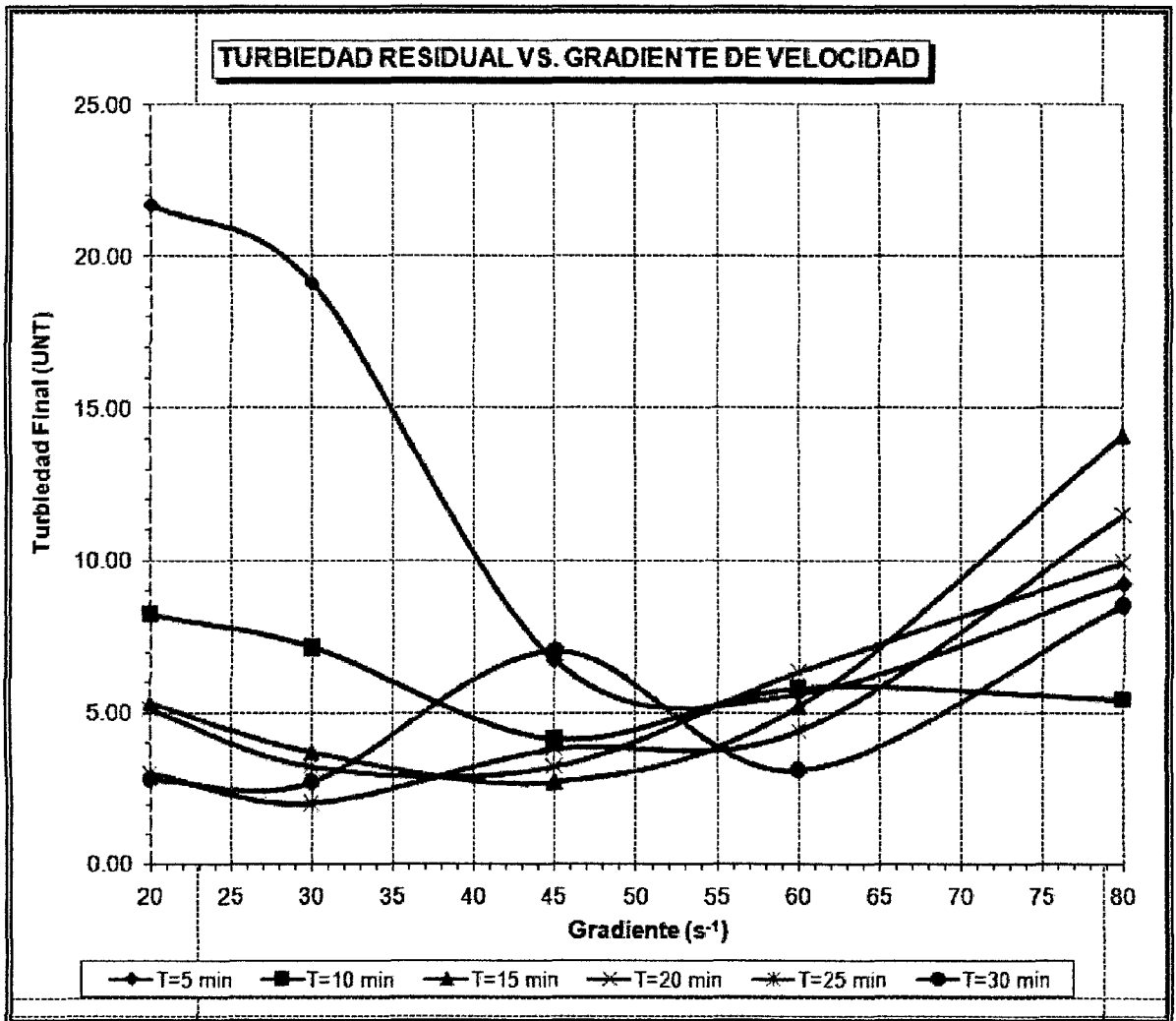
Jarra	1	2	3	4	5	6
Tiempo (min)	5	10	15	20	25	30
Vol. Sol. 1% (ml)	5	5	5	5	5	5
G1= 80 55 rpm	9.20	5.40	14.10	9.90	11.50	8.50
G2= 60 44 rpm	5.60	5.80	5.20	6.30	4.40	3.10
G3= 45 36 rpm	6.70	4.10	2.70	3.20	3.80	7.00
G4= 30 27 rpm	19.10	7.10	3.70	3.20	2.00	2.70
G5= 20 21 rpm	21.70	8.20	5.30	5.10	3.00	2.80

Gráfico 51. Turbiedad residual vs Tiempo de retención IIB



T_{optimo}=24 min

Gráfico 52. Turbiedad residual vs Gradiente de velocidad IIIB



T(min)=	5	10	15	20	25	30
G(s⁻¹)=	53	46	43	39	30	27

De la formula:

T(min)=	5	10	15	20	25	30
G(s⁻¹)=	65	51	43	37	33	29

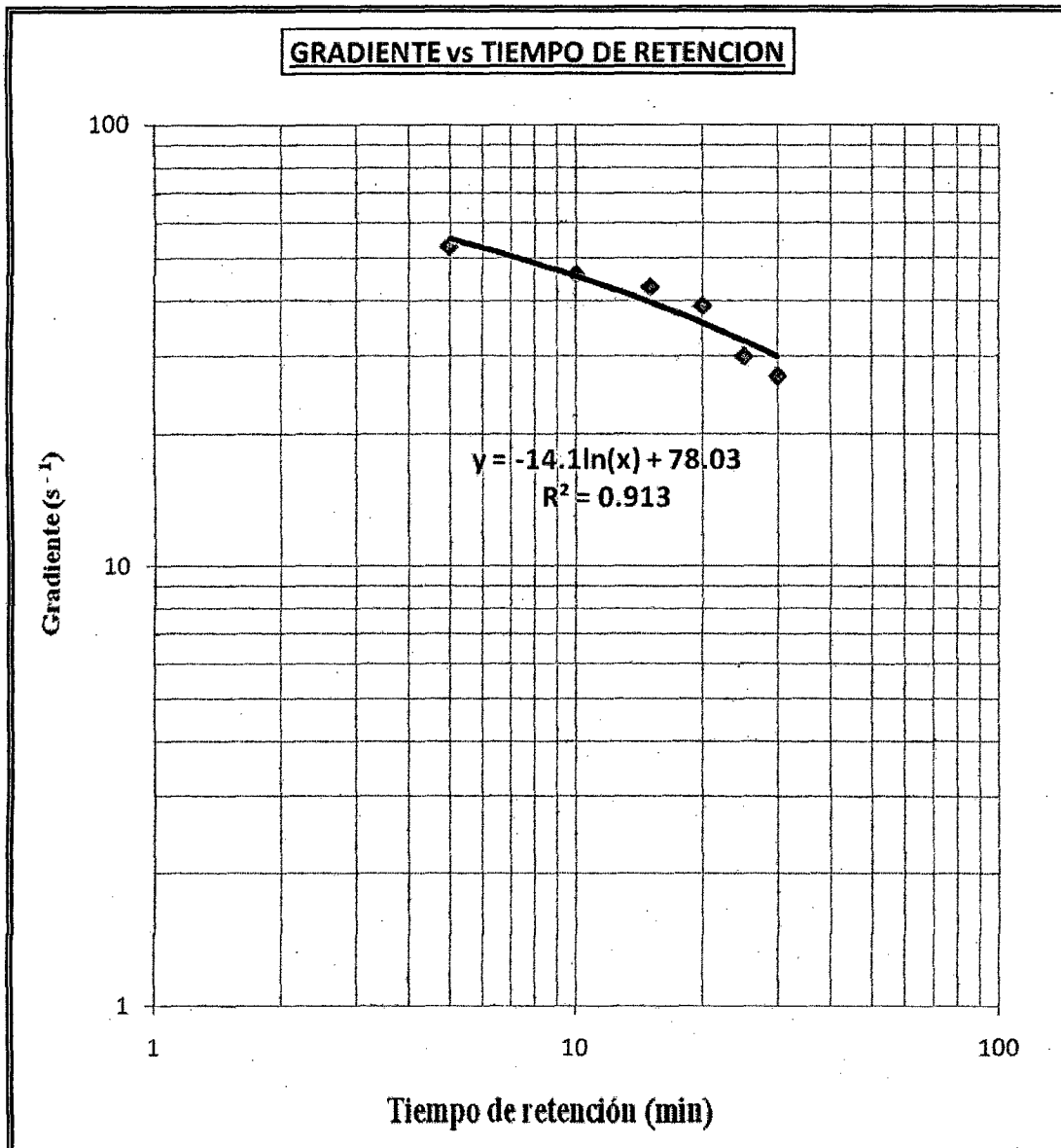
a	b	T
-14.1	78.03	8

Para 3 tramos

- G1= 48.71 s⁻¹
- G2= 39.94 s⁻¹
- G3= 33.22 s⁻¹

Para 3 tramos	
G1	49 s ⁻¹
G2	40 s ⁻¹
G3	20 s ⁻¹

Gráfico 53. Gradiente vs Tiempo de retención IIIB



Con los datos obtenidos de tiempo de floculación y gradientes de velocidad óptimos procedemos a realizar los ensayos de sedimentación. Tiempo de sedimentación total de 24 min y Gradientes de 49 s⁻¹, 40 s⁻¹ y 20 s⁻¹

SEDIMENTACIÓN**Características del coagulante:**

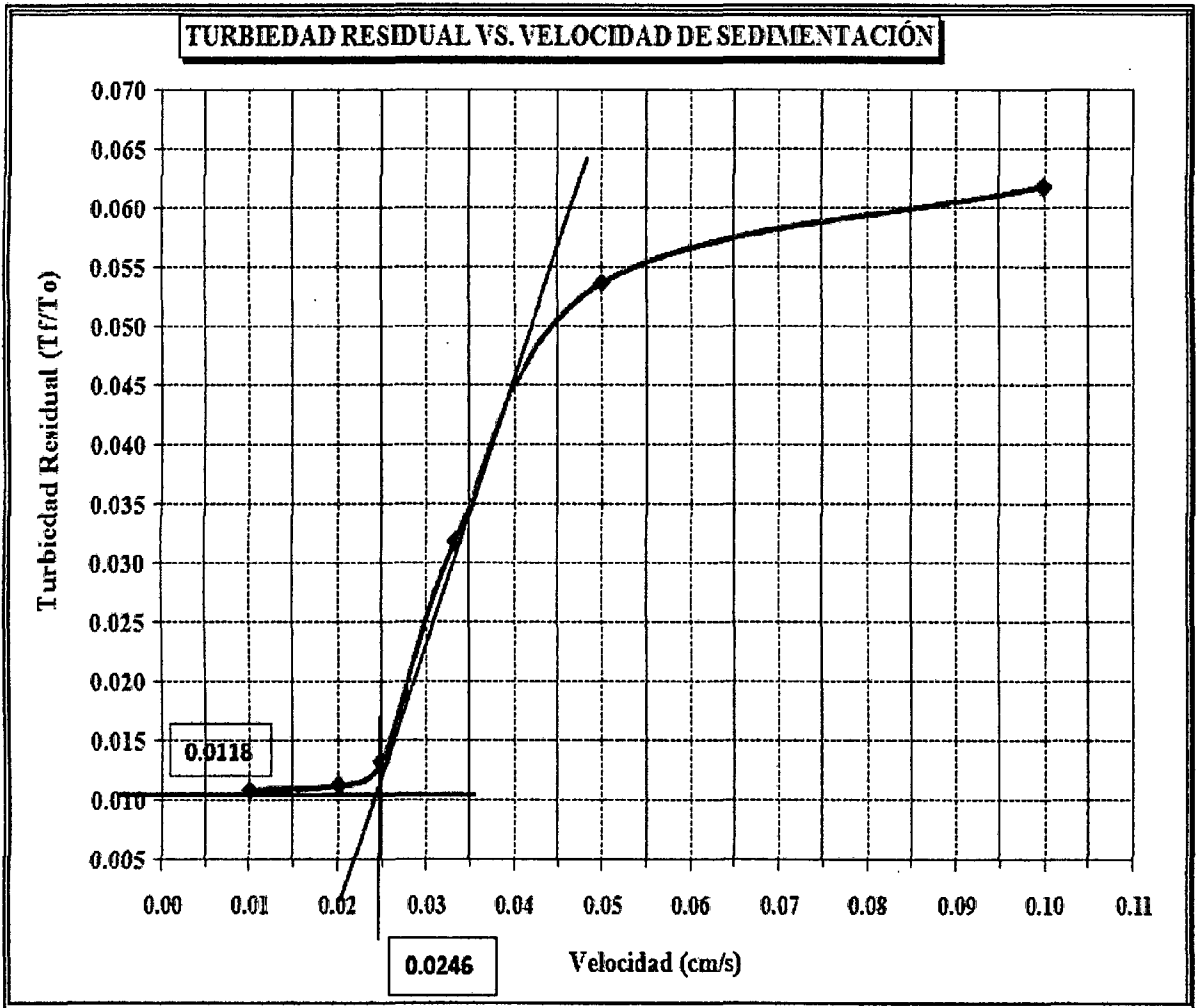
- Concentración optima= 1%
- Dosis optima= 25mg/l
- pH optimo= 7.7

PROCESO	G(s ⁻¹)	RPM	T
Mezcla rápida	720	300	5 s
Floculación 1	49	37	8 min
Floculación 2	40	32	8 min
Floculación 3	20	21	8 min
Sedimentación	0	0	20 min

Cuadro 48. Resultados del ensayo de sedimentación IIIB

Jarra	T (s)	Vel (cm/s)	Tf	Tf/To
1	60	0.050	6.800	0.0618
2	120	0.025	5.900	0.0536
3	180	0.017	3.500	0.0318
4	240	0.013	1.450	0.0132
5	300	0.010	1.230	0.0112
6	600	0.005	1.190	0.0108

Gráfico 54. Curva de sedimentación



$a = 0.0246$
$C_f = 0.0118$

Cuadro 49. Selección de la tasa de sedimentación IIIB

$q(m^3/m^2/d)$	$V_s(cm/s)$	C_0	$1-(C_0-C_f)$	R_t	$T_r(UNT)$	$T_f(UNT)$
20	0.023	0.0109	1.001	1.0000	109.997	0.003
30	0.035	0.0350	0.977	0.9966	109.628	0.372
40	0.046	0.0532	0.959	0.9903	108.933	1.657
50	0.058	0.0562	0.956	0.9872	108.596	1.973
60	0.069	0.0581	0.954	0.9851	108.356	2.260
70	0.081	0.0846	0.927	0.9747	107.212	2.788

$V_{sed} = 50 m^3/m^2/d$

8.3.4 SOLUCION DE SULFATO DE ALUMINIO COMO COAGULANTE PRIMARIO Y SOLUCION DE MORINGA OLEIFERA COMO AYUDANTE DE COAGULACIÓN

DOSIS ÓPTIMA DEL AYUDANTE

Características del coagulante:

- Concentración= 1%
- Dosis= 25 mg/l

PROCESO	G(s ⁻¹)	RPM	T
Mezcla rápida	720	300	5 s
Floculación	37	32	20 min
Sedimentación	0	0	10 min

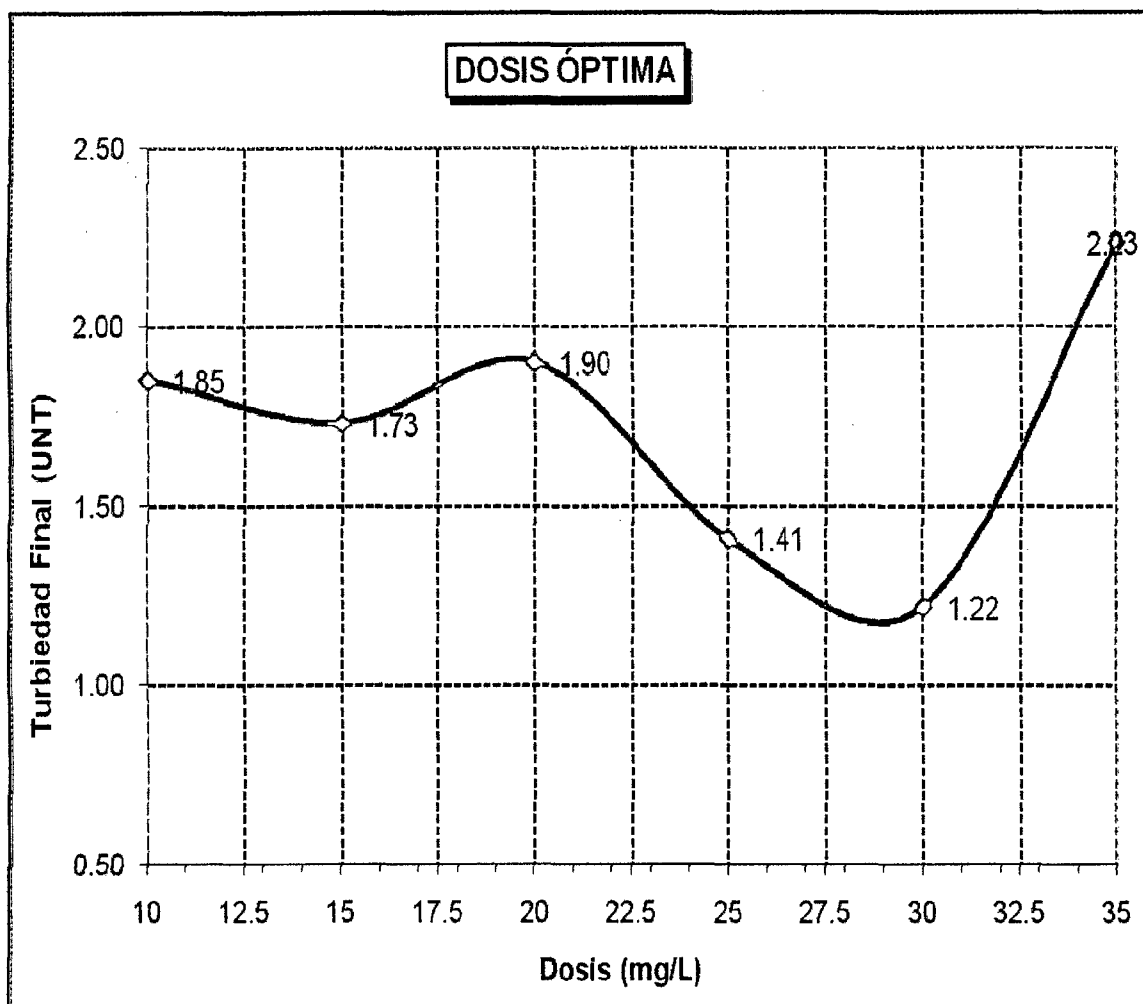
Características del ayudante:

- Concentración= 1%
- Dosis= variable

Cuadro 50. Dosis óptima del ayudante IIIC

Jarra	1	2	3	4	5	6
Dosis ayud. (mg/L)	10	15	20	25	30	35
Vol. ayud 1% (ml)	2	3	4	5	6	7
Turbiedad residual	1.85	1.73	1.90	1.41	1.22	2.23

Gráfico 55. Dosis óptima del ayudante III C



D_{óptima} ayudante = 30 mg/l

DOSIS ÓPTIMA DEL COAGULANTE CON AYUDANTE

Características del coagulante:

- Concentración= 1%
- Dosis= variable

PROCESO	G(s ⁻¹)	RPM	T
Mezcla rápida	720	300	5 s
Floculación	37	32	20 min
Sedimentación	0	0	10 min

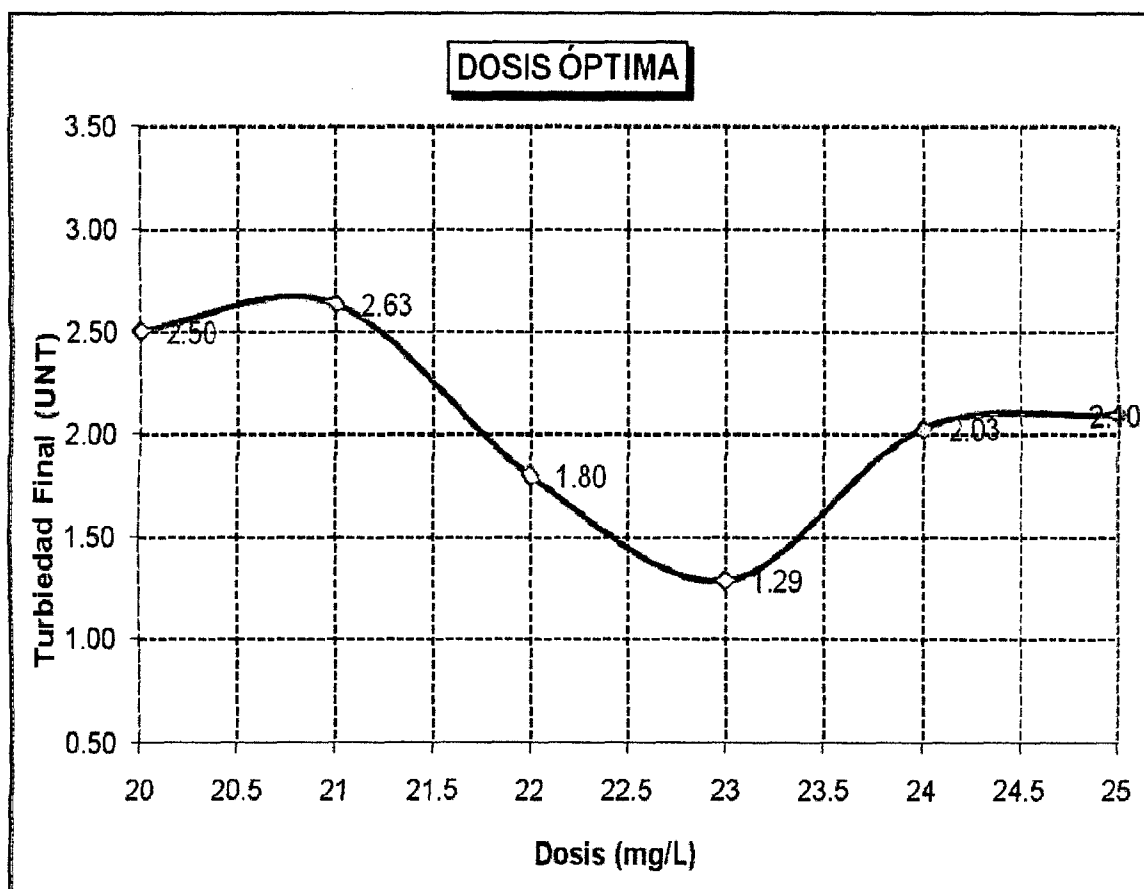
Características del ayudante:

- Concentración= 1%
- Dosis= 30mg/l

Cuadro 51. Dosis óptima del coagulante con ayudante IIC

Jarra	1	2	3	4	5	6
Dosis coag. (mg/L)	20	21	22	23	24	25
Vol. coag. 1.5% (ml)	4	4.2	4.4	4.6	4.8	5
Turbiedad residual	2.50	2.63	1.80	1.29	2.03	2.10

Gráfico 56. Dosis óptima del coagulante con ayudante IIC



D_{óptima coagulante} = 23 mg/l

PARAMETROS DE FLOCULACIÓN

Características del coagulante:

- Concentración= 1%
- Dosis= 23 mg/l

PROCESO	G(s ⁻¹)	RPM	T
Mezcla rápida	720	300	5 s
Floculación	37	32	20 min
Sedimentación	0	0	10 min

Características del ayudante:

- Concentración= 1%
- Dosis= 30 mg/l
- pH optimo= 7.7

Cuadro 52. Resultados del ensayo de floculación IIC

Jarra		1	2	3	4	5	6
Tiempo (min)		5	10	15	20	25	30
Vol. coag. (ml)		4.6	4.6	4.6	4.6	4.6	4.6
Vol. ayud. (ml)		6	6	6	6	6	6
G1=80	55 rpm	5.93	6.68	7.02	6.57	6.45	5.17
G2=60	44 rpm	8.51	4.84	4.15	3.22	5.34	5.97
G3=50	39 rpm	7.50	5.74	3.76	2.42	2.45	2.57
G4=30	27 rpm	12.50	4.98	3.99	1.97	2.07	2.10
G5=20	21 rpm	16.00	7.32	4.50	2.77	2.34	2.25

Gráfico 57. Turbiedad residual vs Tiempo de retención IIC

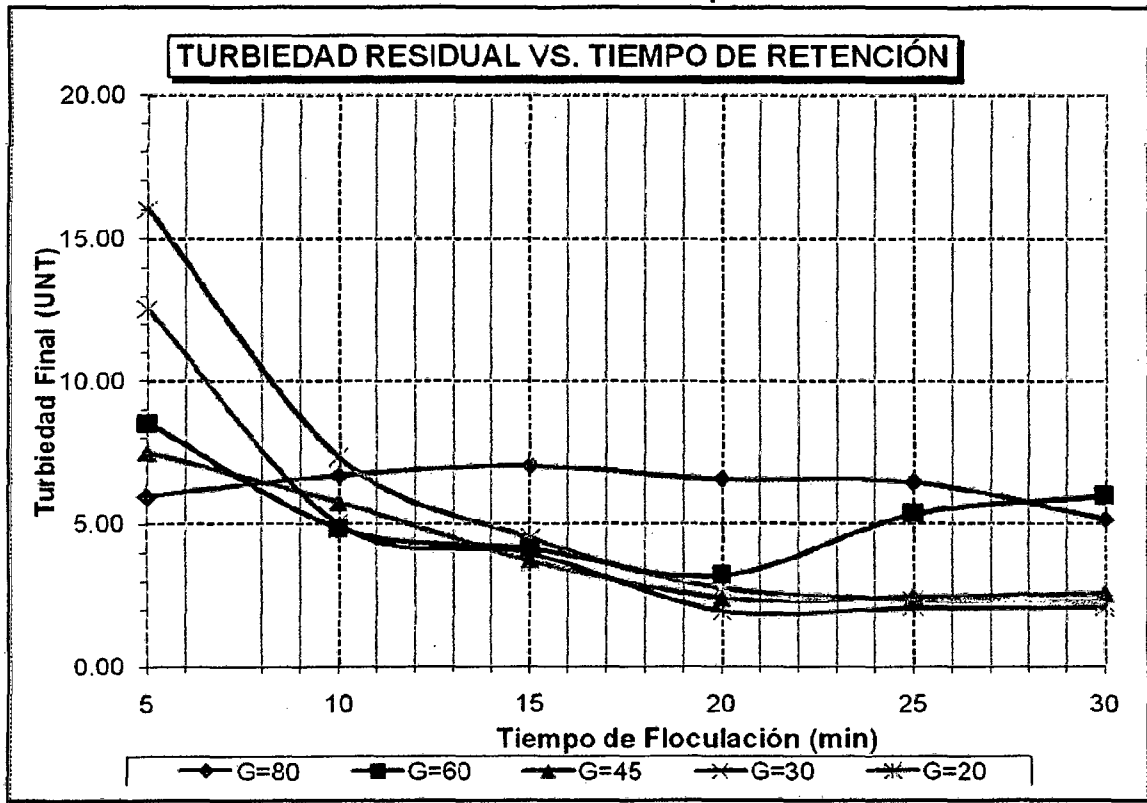
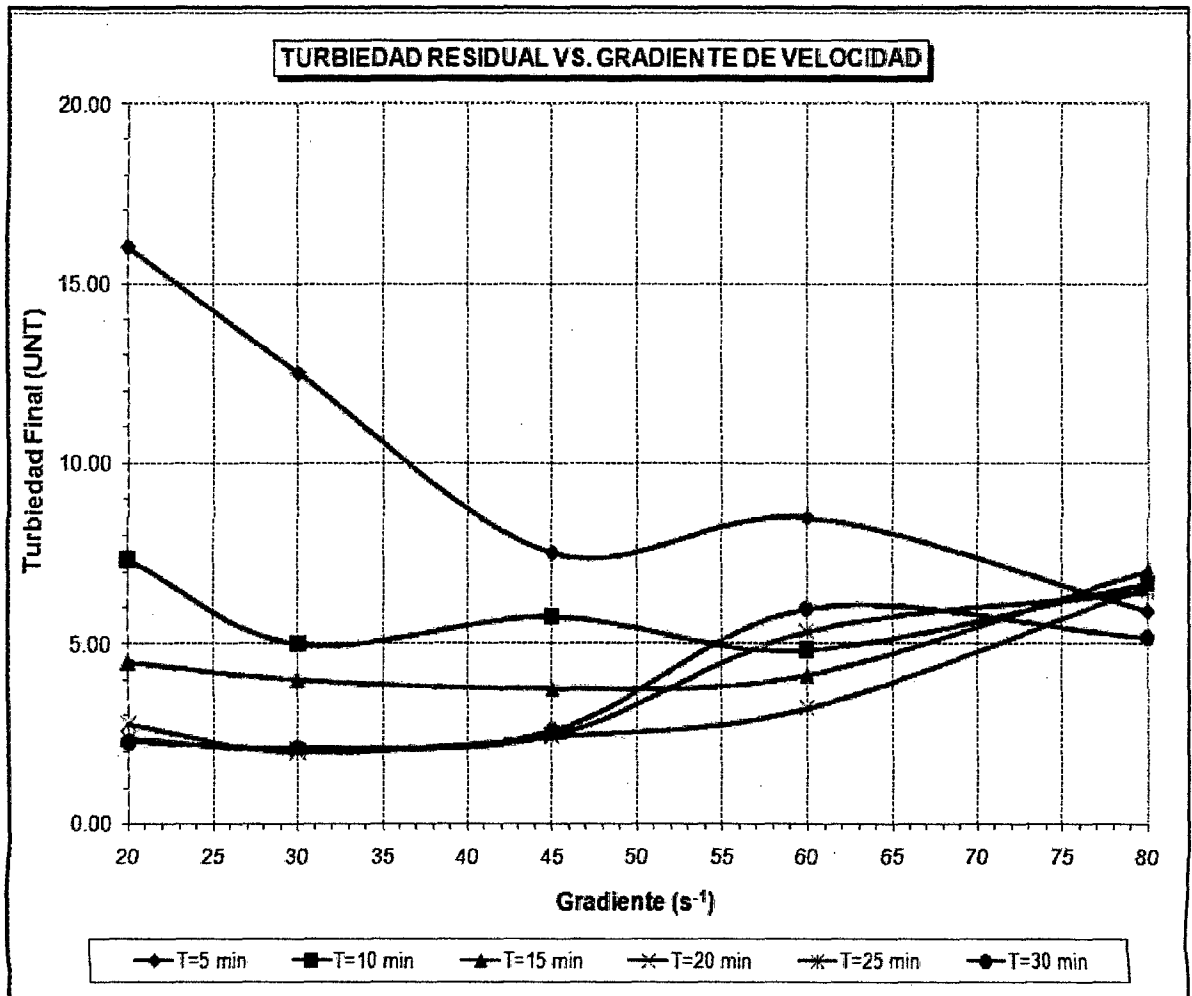


Gráfico 58. Turbiedad residual vs Gradiente de velocidad IIC



T(min)=	5	10	15	20	25	30
G(s⁻¹)=	80	59	50	32	30	30

De Formula

T(min)=	5	10	15	20	25	30
G(s⁻¹)=	80	59	47	38	31	26

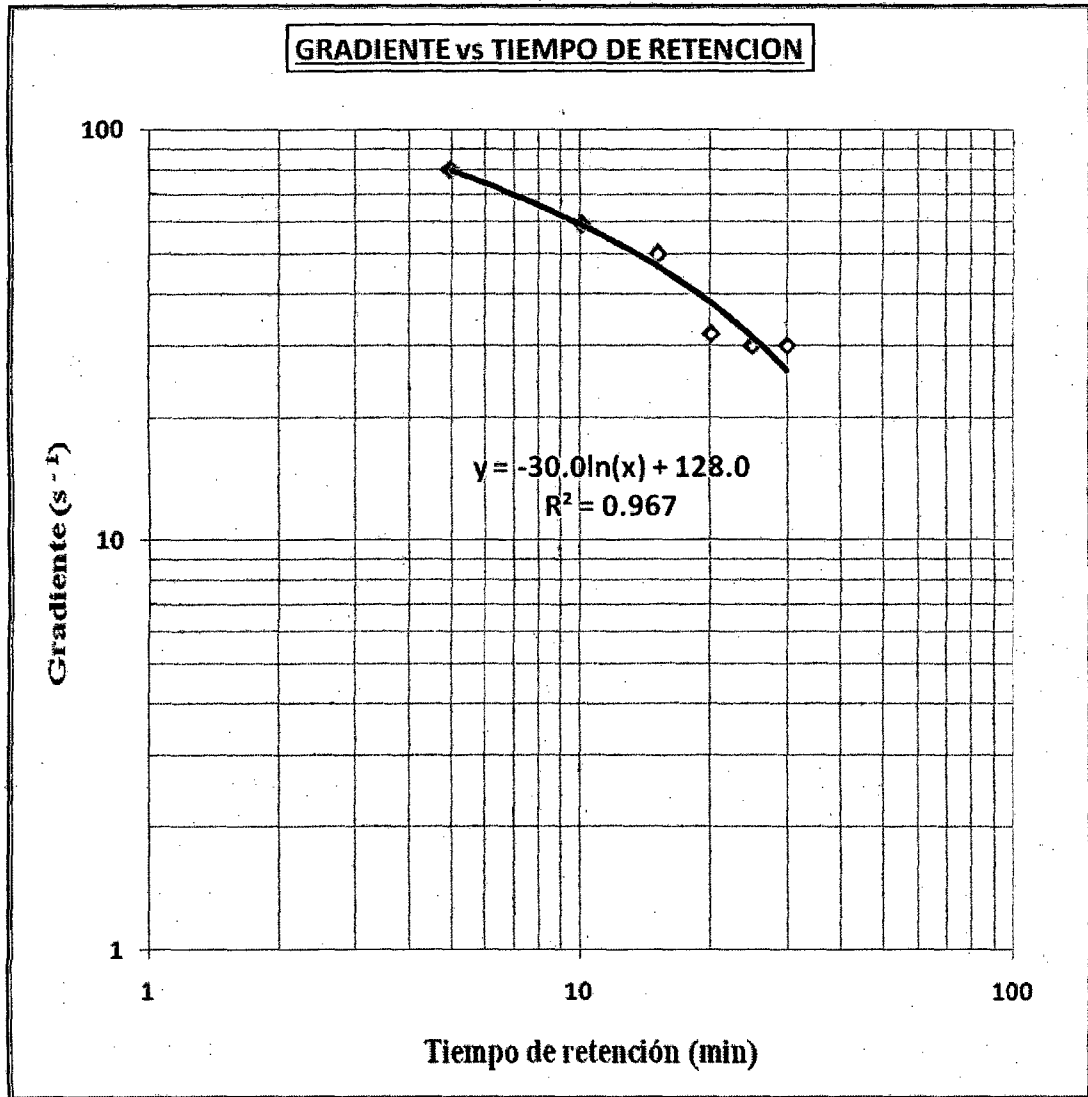
a	b	T
-30	128	7

Para 3 tramos

- G1= 69.62 s⁻¹
- G2= 48.83 s⁻¹
- G3= 36.66 s⁻¹

Para 3 tramos	
G1	69 s ⁻¹
G2	49 s ⁻¹
G3	20 s ⁻¹

Gráfico 59. Gradiente de velocidad vs Tiempo de retención IIC



Con los datos obtenidos de tiempo de floculación y gradientes de velocidad óptimos procedemos a realizar los ensayos de sedimentación. Tiempo de sedimentación total de 21 min y Gradientes de 69 s⁻¹, 49 s⁻¹ y 20 s⁻¹

SEDIMENTACIÓN**Características del coagulante:**

- Concentración= 1%
- Dosis= 23 mg/l

Características del ayudante:

- Concentración= 1%
- Dosis= 30mg/l

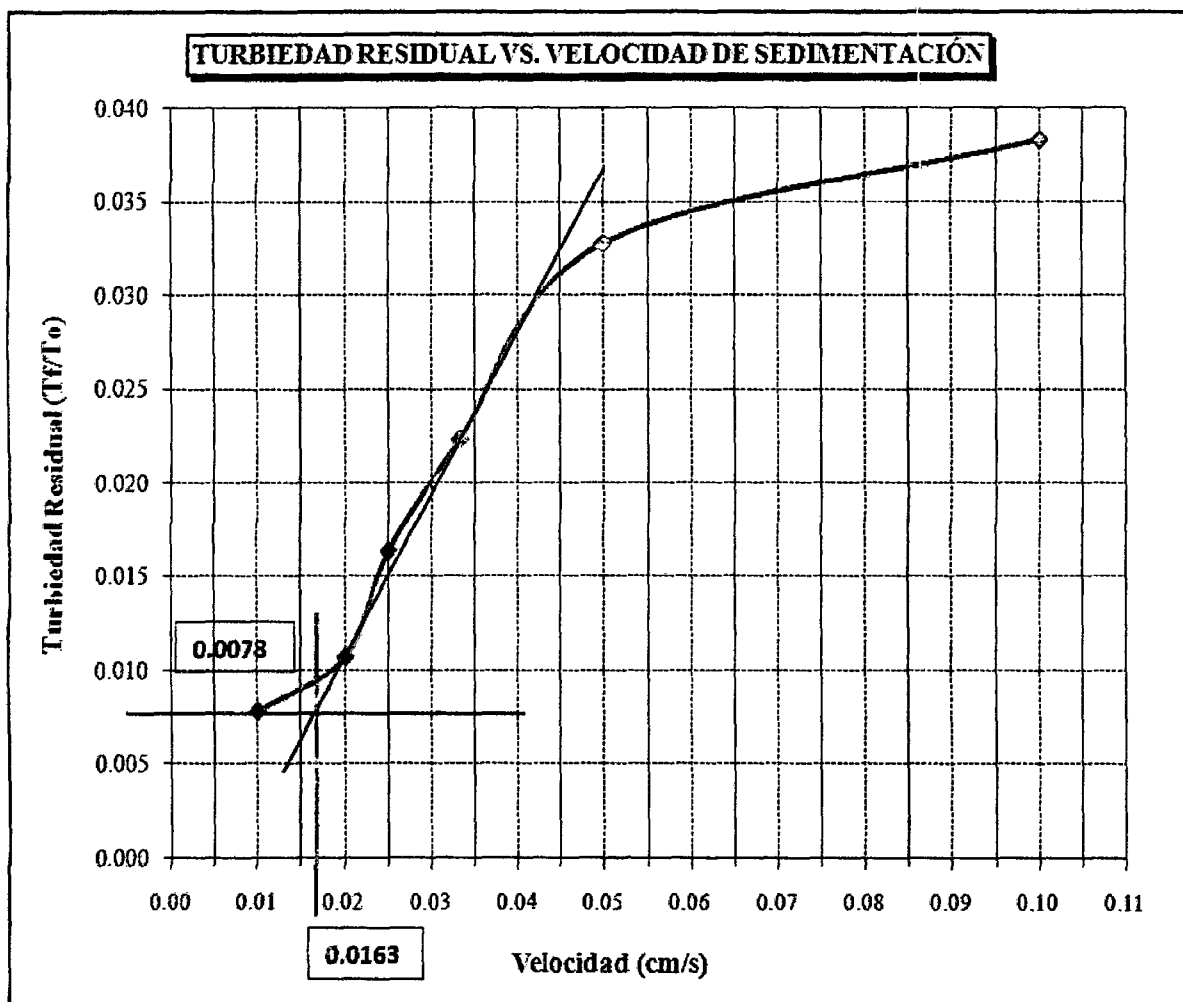
PROCESO	G(s ⁻¹)	RPM	T
Mezcla rápida	720	300	5 s
Floculación 1	69	49	8 min
Floculación 2	49	37	8 min
Floculación 3	20	21	8 min
Sedimentación	0	0	10 min

- pH optimo= 7.7

Cuadro 53. Resultados del ensayo de sedimentación IIIC

Jarra	T (s)	V (cm/s)	Tf	Tf / To
1	60	0.100	4.210	0.0383
2	120	0.050	3.600	0.0327
3	180	0.033	2.450	0.0223
4	240	0.025	1.790	0.0163
5	300	0.020	1.170	0.0106
6	600	0.010	0.850	0.0077

Gráfico 60. Curva de sedimentación IIC



$$a=0.0163$$

$$Cf=0.078$$

Cuadro 54. Selección de la tasa de sedimentación IIC

$q(m^3/m^2/d)$	$V_s(cm/s)$	C_0	$1-(C_0-C_f)$	R_t	$T_r(UNT)$	$T_f(UNT)$
20	0.023	0.0042	0.999	0.9999	499.946	0.054
30	0.035	0.0106	0.992	0.9983	499.145	0.855
40	0.046	0.0111	0.992	0.9976	498.805	1.623
50	0.058	0.0121	0.991	0.9969	498.467	1.952
60	0.069	0.0127	0.990	0.9965	498.231	2.231
70	0.081	0.0129	0.990	0.9962	498.096	2.325

$$V_{sed} = 50 m^3/m^2/d$$

CAPÍTULO 9
ANÁLISIS COSTO
TRATAMIENTO

CAPÍTULO 9

ANÁLISIS COSTO TRATAMIENTO

9.1 DISCUSIÓN DE COSTOS – ANÁLISIS COMPARATIVO DE COSTOS DE COAGULANTES.

Tomando como base los resultados obtenidos en el presente trabajo de investigación, y considerando la misma muestra de agua para cada caso se puede hacer un análisis económico entre el Sulfato de aluminio y la moringa oleifera empleados solo como coagulantes primarios. Determinando si la posibilidad de utilizar la moringa oleifera en lugar de sulfato de aluminio es económicamente viable en la actualidad.

El precio del Kg de Sulfato de Aluminio tipo B200 considerados en este trabajo se estableció según el precio cotizado por la empresa Químicos Goicochea S.R. Ltda, en S./2.00 por cada kg en su presentación de bolsas x 50 Kg.

El precio del Kg de extracto de semilla de Moringa Oleifera para el análisis comparativos de S./ 0.50 Kg, estimación realizada por el Ingeniero Jorge Chepote, promotor de este producto, este costo bajaría si se incrementa la demanda indica.

9.1.1. PARA EL AGUA DE 30 UNT (Muestra I) (ver capítulo 8).

La dosis de Sulfato de Aluminio para el agua antes señalada fue:

$$D_{\text{sulfato de aluminio}} = 20 \text{ mg/l}$$

Entonces el costo de tratar el agua para 1000 m³ cuando se utiliza solo Sulfato de Aluminio sería:

$$C = 20 \text{ mg/l} \times 2.00 \text{ S/./Kg}$$

$$C = 40 \text{ S/./1000m}^3$$

La dosis de Moringa Oleifera para el agua antes señalada fue:

$$D_{\text{moringa oleifera}} = 110 \text{ mg/l}$$

Entonces el costo de tratar el agua para 1000 m^3 cuando se utiliza solo Moringa Oleifera seria:

$$C = 110 \text{ mg/l} \times 0.50 \text{ S/./Kg}$$

$$C = 55 \text{ S/./1000m}^3$$

La dosis de Sulfato de Aluminio + Moringa Oleifera para el agua antes señalada fue:

$$D_{\text{sulfato de aluminio}} = 20 \text{ mg/l}$$

$$D_{\text{moringa oleifera}} = 20 \text{ mg/l}$$

Entonces el costo de tratar el agua para 1000 m^3 cuando se utiliza Sulfato de Aluminio + Moringa Oleifera seria:

$$C = 20 \text{ mg/l} \times 2.00 \text{ S/./Kg} + 20 \text{ mg/l} \times 0.50 \text{ S/./Kg}$$

$$C = 50 \text{ S/./1000m}^3$$

El costo de tratar un m^3 de agua con solución de moringa oleifera como coagulante primario, es ligeramente mayor en comparación que si emplease sulfato de aluminio para la misma muestra, según indican los resultados. El costo también es ligeramente mayor si se desea utilizar la solución de moringa oleifera como ayudante de coagulación del sulfato de aluminio.

Para la muestra I la dosis de solución de moringa oleifera fue de 110 mg/l, lo que generaría un costo de 55 soles por 1000 m^3 de agua a tratar, mientras que la dosis de sulfato de Aluminio fue de 20 mg/l, lo que generaría un

costo de 40 soles por 1000 m³ de agua a tratar, las dosis del sulfato de aluminio + moringa oleifera fue de 20 mg/l, lo que generaría un costo de 50 soles por 1000 m³ de agua a tratar

Cuadro 55. Análisis costo tratamiento Muestra I, 30 UNT

INSUMOS	PRECIO SOLES kg	DOSIS Kg/m ³	COSTO Kg/m ³	TOTAL Kg/m ³	TOTAL Kg/1000 m ³	COSTO TOTAL Kg/m ³
SULFATO DE ALUMINIO	S/. 2.00	0.020	2.00 x 0.020	S/. 0.040	S/. 40.00	S/. 40.00
MORINGA OLEIFERA	S/. 0.50	0.110	0.50 x 0.110	S/. 0.055	S/. 55.00	S/. 55.00
SULFATO DE ALUMINIO + MORINGA OLEIFERA	S/. 2.00	0.020	2.00 x 0.020	S/. 0.040	S/. 40.00	S/. 50.00
	S/. 0.50	0.020	0.50 x 0.020	S/. 0.010	S/. 10.00	

9.1.2. PARA EL AGUA DE 500 UNT (Muestra II) (ver capítulo 8)

La dosis de Sulfato de Aluminio para el agua antes señalada fue:

$$D_{\text{sulfato de aluminio}} = 35 \text{ mg/l}$$

Entonces el costo de tratar el agua para 1000 m³ cuando se utiliza solo Sulfato de Aluminio sería:

$$C = 35 \text{ mg/l} \times 2.00 \text{ S/. /Kg}$$

$$C = 70 \text{ S/. /1000m}^3$$

La dosis de Moringa Oleifera para el agua antes señalada fue:

$$D_{\text{moringa oleifera}} = 90 \text{ mg/l}$$

Entonces el costo de tratar el agua para 1000 m³ cuando se utiliza solo Moringa Oleifera sería:

$$C = 90 \text{ mg/l} \times 0.50 \text{ S/./Kg}$$

$$C = 45 \text{ S/./1000m}^3$$

La dosis de Sulfato de Aluminio + Moringa Oleifera para el agua antes señalada fue:

$$D_{\text{sulfato de aluminio}} = 30 \text{ mg/l}$$

$$D_{\text{moringa oleifera}} = 30 \text{ mg/l}$$

Entonces el costo de tratar el agua para 1000 m³ cuando se utiliza Sulfato de Aluminio + Moringa Oleifera seria:

$$C = 30 \text{ mg/l} \times 2.00 \text{ S/./Kg} + 30 \text{ mg/l} \times 0.50 \text{ S/./Kg}$$

$$C = 75 \text{ S/./1000m}^3$$

El costo de tratar un m³ de agua con solución de moringa oleifera como coagulante primario, es considerablemente menor en comparación que si emplease sulfato de aluminio para la misma muestra, según indican los resultados. El costo es ligeramente mayor si se desea utilizar la solución de moringa oleifera como ayudante de coagulación del sulfato de aluminio.

Para la muestra II la dosis de solución de moringa oleifera fue de 90 mg/l, lo que generaría un costo de 45 soles por 1000 m³ de agua a tratar, mientras que la dosis de sulfato de Aluminio fue de 35 mg/l, lo que generaría un costo de 70 soles por 1000 m³ de agua a tratar, las dosis del sulfato de aluminio + moringa oleifera fue de 30 mg/l, lo que generaría un costo de 75 soles por 1000 m³ de agua a tratar.

Cuadro 56. Análisis costo tratamiento Muestra II, 500 UNT

INSUMOS	PRECIO SOLES kg	DOSIS Kg/m ³	COSTO Kg/m ³	TOTAL Kg/m ³	TOTAL Kg/1000m ³	COSTO TOTAL Kg/m ³
SULFATO DE ALUMINIO	S/. 2.00	0.035	2.00 x 0.035	S/. 0.070	S/. 70.00	S/. 70.00
MORINGA OLEIFERA	S/. 0.50	0.090	0.50 x 0.090	S/. 0.045	S/. 45.00	S/. 45.00
SULFATO DE ALUMINIO + MORINGA OLEIFERA	S/. 2.00	0.030	2.00 x 0.030	S/. 0.060	S/. 60.00	S/. 75.00
	S/. 0.50	0.030	0.50 x 0.030	S/. 0.015	S/. 15.00	

9.1.3. PARA EL AGUA DE 110 UNT (Muestra III) (ver capítulo 8)

La dosis de Sulfato de Aluminio para el agua antes señalada fue:

$$D_{\text{sulfato de aluminio}} = 25 \text{ mg/l}$$

Entonces el costo de tratar el agua para 1000 m³ cuando se utiliza solo Sulfato de Aluminio sería:

$$C = 25 \text{ mg/l} \times 2.00 \text{ S/. /Kg}$$

$$C = 50 \text{ S/. /1000m}^3$$

La dosis de Moringa Oleifera para el agua antes señalada fue:

$$D_{\text{moringa oleifera}} = 190 \text{ mg/l}$$

Entonces el costo de tratar el agua para 1000 m³ cuando se utiliza solo Moringa Oleifera sería:

$$C = 190 \text{ mg/l} \times 0.50 \text{ S./Kg}$$

$$C = 95 \text{ S./1000m}^3$$

La dosis de Sulfato de Aluminio + Moringa Oleifera para el agua antes señalada fue:

$$D_{\text{sulfato de aluminio}} = 23 \text{ mg/l}$$

$$D_{\text{moringa oleifera}} = 30 \text{ mg/l}$$

Entonces el costo de tratar el agua para 1000 m³ cuando se utiliza Sulfato de Aluminio + Moringa Oleifera sería:

$$C = 23 \text{ mg/l} \times 2.00 \text{ S./Kg} + 30 \text{ mg/l} \times 0.50 \text{ S./Kg}$$

$$C = 61 \text{ S./1000m}^3$$

El costo de tratar un m³ de agua con solución de moringa oleifera como coagulante primario, es considerablemente mayor en comparación que si emplease sulfato de aluminio para la misma muestra, según indican los resultados. El costo es ligeramente mayor si se desea utilizar la solución de moringa oleifera como ayudante de coagulación del sulfato de aluminio.

Para la muestra III la dosis de solución de moringa oleifera fue de 25 mg/l, lo que generaría un costo de 50 soles por 1000 m³ de agua a tratar, mientras que la dosis de sulfato de Aluminio fue de 190 mg/l, lo que generaría un costo de 95 soles por 1000 m³ de agua a tratar, las dosis del sulfato de aluminio + moringa oleifera fue de 23 mg/l y 30 mg/l respectivamente, lo que generaría un costo de 61 soles por 1000 m³ de agua a tratar

Cuadro 57. Análisis costo tratamiento Muestra III, 110 UNT

INSUMOS	PRECIO SOLES kg	DOSIS Kg/m ³	COSTO Kg/m ³	TOTAL Kg/m ³	TOTAL Kg/1000m ³	COSTO TOTAL Kg/m ³
SULFATO DE ALUMINIO	S/. 2.00	0.025	2.00 x 0.025	S/. 0.050	S/. 50.00	S/. 50.00
MORINGA OLEIFERA	S/. 0.50	0.190	0.50 x 0.190	S/. 0.095	S/. 95.00	S/. 95.00
SULFATO DE ALUMINIO + MORINGA OLEIFERA	S/. 2.00	0.023	2.00 x 0.023	S/. 0.046	S/. 46.00	S/. 61.00
	S/. 0.50	0.030	0.50 x 0.030	S/. 0.015	S/. 15.00	

CAPÍTULO 10
CONCLUSIONES

CAPÍTULO 10

CONCLUSIONES

- Los resultados obtenidos muestran que la solución del extracto de la semilla de moringa oleífera como coagulante natural primario resultó ser muy eficiente, lográndose reducir la turbiedad como se muestra a continuación: Muestra I: 30 UNT y Alcalinidad de 86 mg/lit CaCO₃, tasa de sedimentación óptima 17 m³/m²/d, Muestra II: 500 UNT y Alcalinidad de 95 mg/lit CaCO₃, tasa de sedimentación óptima 20 m³/m²/d, Muestra III: 110 UNT y Alcalinidad de 91 mg/lit CaCO₃, tasa de sedimentación óptima 25 m³/m²/d, éstas tasas permiten obtener un efluente menor a los 2 UNT según las recomendaciones establecidas por la E.P.A. y normas nacionales.
- Se llegó a la conclusión que el sulfato de aluminio es más eficiente que la moringa oleífera, esto se puede verificar ya que la tasa de sedimentación para la Muestra I (30 UNT) fue de 50 m³/m²/d en comparación a los 17 m³/m²/d de la moringa oleífera, Muestra II (500 UNT) fue de 50 m³/m²/d en comparación a los 20 m³/m²/d de la moringa oleífera y Muestra III (110 UNT) fue de 50 m³/m²/d en comparación a los 25 m³/m²/d de la moringa oleífera.
- Las dosis de moringa oleífera no se incrementaron conforme se incrementó la turbiedad, como es el caso del sulfato de aluminio, ya que las dosis para las muestra I (30 UNT), muestra II (500 UNT), muestra III (110 UNT), fueron: 110 mg/l, 90 mg/l y 190 mg/l respectivamente.
- La utilización de moringa oleífera como ayudante de coagulación resultó ser eficiente en la muestra II y muestra III, ya que en estos casos se logra reducir la dosis de sulfato de aluminio, en el caso de la muestra II se reduce de 35 mg/l hasta 30 mg/l y en el caso de la muestra III se reduce de 25 mg/l hasta 23 mg/l.
- Se estima que el costo a tratar un m³ de agua con moringa oleífera comparable al tratarse con sulfato de aluminio, ya que para la muestra II, el costo

a tratarse con moringa oleifera resultó mucho menor, en el caso de las demás muestras el costo se incrementa. Debido a que el costo del extracto de semilla de moringa oleifera no está establecido en el mercado, esta puede reducirse conforme sea difundido en nuestro país.

- Se ha observado que el extracto de semilla de moringa oleifera posee un poder bactericida capaz de reducir la concentración de coliformes totales y coliformes fecales, estas mediciones se realizaron en la muestra II y muestra III aquellas que dieron mejores resultados.

Muestra II	Antes del tratamiento	Después del tratamiento
Coliformes Fecales	15x10 ² NMP/100ml	150 NMP/100ml
Coliformes Totales	21x10 ² NMP/100ml	200 NMP/100ml
Muestra III	Antes del tratamiento	Después del tratamiento
Coliformes Fecales	14 NMP/100ml	3 NMP/100ml
Coliformes Totales	23 NMP/100ml	4 NMP/100ml

- La adición del extracto de la semilla de moringa oleifera incrementa el contenido del Carbono Orgánico Total al agua tratada, esto se comprobó en la muestra II y muestra III.

Muestra II	Antes del tratamiento	Después del tratamiento
Carbono Orgánico Total	5 mg/l	6mg/l.
Muestra III	Antes del tratamiento	Después del tratamiento
Carbono Orgánico Total	5 mg/l	15 mg/l.

- En este trabajo se ha presentado una alternativa real para utilizar un producto natural con características coagulantes en el tratamiento de agua para consumo humano arrojando resultados alentadores en el proceso de coagulación

CAPÍTULO 11
RECOMENDACIONES

CAPÍTULO 11

RECOMENDACIONES

Con los resultados obtenidos en la presente investigación se recomienda lo siguiente:

- Debido a que la *Moringa Oleifera* ya se encuentra en nuestro país, se recomienda continuar investigaciones con el extracto de semilla de *Moringa Oleifera* para así comprobar realmente su utilización como coagulante primario y ayudante de coagulación en el proceso del tratamiento de agua para consumo humano.
- Debido a que el extracto de semilla de *Moringa Oleifera* tiene propiedades bactericidas, ésta puede utilizarse también en el tratamiento de aguas residuales, se recomienda realizar investigaciones en nuestro medio en ésta área de la Ingeniería Sanitaria.
- Se podría recomendar la utilización desolución del extracto de semilla de *Moringa Oleifera* como coagulante primario para el tratamiento de agua en zonas rurales, también en lugares donde no se pueda contar fácilmente con un coagulante sintético.
- Tener cuidado con el almacenamiento del extracto de semilla de *moringa oleifera*, garantizar que no entre en contacto con la humedad, y tiene que guardarse en empaques secos y en la medida que sea posible herméticos, ya que la humedad echa a perder el extracto por el crecimiento de hongos.

CAPÍTULO 12
BIBLIOGRAFÍA

CAPÍTULO 12**BIBLIOGRAFÍA**

1. Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente, CEPIS - Tratamiento de Agua Para Consumo Humano-Plantas de Filtración Rápida- Manual I y Manual III – 2004.
2. Cooperación Técnica República Federal de Alemania – Uso Apropiado de Coagulantes Naturales para el Abastecimiento de Agua en el medio Rural- Jahn Samia Al Azharia - LIMA CEPIS – 1989.
3. Dr. Cliff J. Kirchner, Jorge Arboleda V. – Polímeros naturales y su aplicación como ayudantes de coagulación. CEPIS – 1975.
4. Andia Cárdenas Yolanda – Tratamiento de Agua – Coagulación y Floculación – SEDAPAL – 2000.
5. Arboleda Valencia, Jorge – Teoría y práctica de la purificación del agua – Editorial Mc Graw Hill – 2000.
6. Letterman, Raymond – Coagulación y floculación en calidad y tratamiento del agua – Madrid – Mc Graw Hill – 2000.
7. (*) - Utilización de la solución de harina de haba (Vicia Faba) como coagulante natural para remover turbiedad en el Tratamiento de Agua Potable – 2009 – Aroni Contreras Jaime Enrique y Sánchez Anderson Miguel.
Aplicación de la Harina de Plátano como ayudante de coagulación en el Tratamiento de Agua de la localidad de Jaén – 2009 – Claudia Michelle Abad Razuri y Gissella María Quintanilla Mendoza.
Utilización de las Semillas de Tara (Caesalpinia Spinoza) como ayudante de coagulación en el Tratamiento de Aguas – 2010 – Edwar Alejandro Aguilar Ascón.

8. Balbir Mathur - Árboles para la vida – Una asociación sin fines de lucro - Libro de Moringa - 2005

CAPÍTULO 13

REFERENCIAS

CAPÍTULO 13

REFERENCIAS

- 1.- <http://www.scielo.cl/pdf/infotec/v20n5/art02.pdf>, consultado el 12 de Julio del 2010, consultado el 23 de Setiembre de 2011.
- 2.- http://www.smbb.com.mx/congresos%20smbb/acapulco09/TRABAJOS/AREA_IV/CIV-54.pdf, consultado el 14 de Agosto del 2011.
- 3.- <http://www.seace.gob.pe/mon/docs/procesos/2010/2383/124197512rad02DA5.pdf>, consultado el 17 de Agosto del 2011.
- 4- ROMERO R. Transferencia de metales en pacientes sometidos a hemodiálisis en hospitales de Maracaibo, Universidad del Zulia, 1989 – Página 2 de la Referencia 8.
- 5- MILLER R.G. KOPFLER F.C. STROBER J.A. J Am Wat Wks Assoc, 1984 “Uso de la Moringa Oleifera como coagulante en la potabilización de las aguas” - Página 2 de la Referencia 8.
- 6- Moringa Oleifera seeds as natural coagulant for water treatment - Eman N. Ali, Suleyman A. Muyibi, Hamzah M. Salleh, Mohd Ramlan M. Salleh and Md Zahangir Alam - Thirteenth International Water Technology Conference, IWTC 13 2009, Hurghada, Egypt.
- 7- Validación de la efectividad de la semilla de Moringa Oleifera como coagulante natural del agua, destinada al consumo humano, Morocelí, Honduras-Eliana Núñez Ponce – 2007. http://zamo-oti-02.zamorano.edu/tesis_infolib/2007/T2455.pdf, consultado el 12 de Agosto del 2011.

8- Uso de la Moringa Oleífera como coagulante en la Potabilización de las Aguas - Iván Mendoza, Nola Fernández, Gretty Ettiene y Altamira Díaz - Laboratorio Ambiental, Instituto para la Conservación del Lago de Maracaibo (ICLAM). Maracaibo-Venezuela 2000. <http://www.revistas.luz.edu.ve/index.php/cien/article/viewFile/2088/2019>, consultado el 29 de Julio del 2011.

9- Gobierno Regional de ICA – Se promueve la propagación de moringa como alternativa para combatir la desnutrición infantil <http://190.81.122.209/ica/sites/default/files/NOTA%20N%20034%20.pdf>, consultado el 13 de Diciembre de 2011

CAPÍTULO 14
ANEXOS

CAPÍTULO 14

ANEXO

14.1 MEDICION DE COLIFORMES FECALES Y TOTALES EN LA MUESTRA II Y MUESTRA III

A continuación se adjunta los resultados de Análisis Microbiológico para la Muestra II y Muestra III

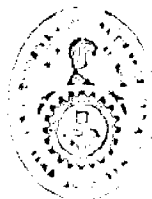
LEYENDA:

Caso de la Muestra III

Antes del tratamiento: M1
Después del tratamiento: M2

Caso de la Muestra II

Antes del tratamiento: M3
Después del tratamiento: M4



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA

FACULTAD DE INGENIERÍA AMBIENTAL LABORATORIO DE INVESTIGACION DEL AGUA

INFORME DE ANÁLISIS N°136-2012 LIA-FIA

Solicitante : EDGAR ALDANA RIVERA
 Proyecto : Tesis
 Tipo de muestra : El que se indica en la referencia (*)
 Procedencia : El que se indica en la referencia
 Fecha de muestreo : 04-05-2012 Hora: El que se indica en la referencia
 Fecha de recepción : 10-05-2012

Referencia:

M1: Agua Superficial sin tratar Rio Rimac Atarjea – Fecha : 04-05-2012 Hora: 10:00 a.m.
 M2: Agua Superficial tratada Rio Rimac Atarjea – Fecha: 04-05-2012 Hora: 10:00 a.m.
 M3: Agua Superficial sin tratar Rio Rimac Atarjea – Fecha: 05-05-2012 Hora: 10:00 a.m.
 M4: Agua Superficial tratada Rio Rimac Atarjea – Fecha: 05-05-2012 Hora: 10:00 a.m.

RESULTADOS DE ANÁLISIS MICROBIOLÓGICO

PARAMETRO	UNIDAD	M1	M2	M3	M4	METODO
Coliformes Fecales	NMP/100 ml	14	3	15x10 ²	150	Tubos múltiples
Coliformes Totales	NMP/100 ml	23	4	21x10 ²	200	Tubos múltiples

Los análisis se han efectuado tomando los MÉTODOS NORMALIZADOS PARA EL ANÁLISIS DE AGUAS POTABLES Y RESIDUALES APHA –AWWA-WPCF 19 edición.

Lima, 17 de Mayo del 2012

ING. VALÉRY R. BAUTINO CASCO
 JEFE DEL LAB. DE INVESTIGACIÓN DEL AGUA
 FACULTAD DE INGENIERÍA AMBIENTAL - UNAI

(*) La muestra fue tomada por el solicitante

14.2 MEDICION DE CARBONO ORGÁNICO TOTAL EN LA MUESTRA II Y MUESTRA III

A continuación se adjunta los resultados de Análisis de Carbono Orgánico Total para la Muestra II y Muestra III

LEYENDA:

Caso de la Muestra III

Antes del tratamiento:	Muestra 1
Después del tratamiento:	Muestra 2

Caso de la Muestra II

Antes del tratamiento:	Muestra 3
Después del tratamiento:	Muestra 4



ENVIROLAB PERU S.A.C.

Environmental Laboratories Perú S.A.C.

INFORME DE ENSAYO

Nº 1205129

Solicitante: ALDANA RIVERA EDGAR ALBERTO

Domicilio Legal: Av. Tupac Amaru Nº 210 Int. PB-M
Rímac

Tipo de Muestra: Agua Superficial

Plan de Muestreo: ...

Solicitud de Análisis: MAY-129

Procedencia de la Muestra: Río Rímac

Fecha de Ingreso: 2012-05-09

Código ENVIROLAB-PERU: 1205129


Referencia: Cotización 12808


Análisis :		♣ Carbono Orgánico Total		Método de Referencia:	Walkley & Black	
Código de laboratorio	Descripción de muestra	Fecha de Muestra	Límite de Cuantificación	Resultado	Unidad	Fecha de Análisis
1205129-01	Muestra 1	2012-05-04	5	R < 5	mg/l.	2012-05-18
1205129-02	Muestra 2	2012-05-04	5	R 15	mg/l.	2012-05-18
1205129-03	Muestra 3	2012-05-05	5	R < 5	mg/l.	2012-05-18
1205129-04	Muestra 4	2012-05-05	5	R 6	mg/l.	2012-05-18

Condición y Estado de la Muestra Ensayada:

Nota: La muestra llegó a temperatura ambiente al Laboratorio.
La fecha de muestreo es dato proporcionado por el Cliente.
"R" Resultado referencial, tiempo de vida vencido.

Carbono Orgánico Total: Método Modificado Walkley & Black.


LUIS BUENO CARBAJAL
Gerente General
C.I.P. Nº 6618
Lima, Perú, 2012-05-21


ENRIQUE QUEVEDO BACIGALUPO
Jefe de Laboratorio

NOTE: - Los resultados presentados corresponden sólo a la muestra indicada.
♣ Los métodos subcontratados en la matriz indicada, no han sido acreditados por el SNA.