

ESTUDIOS DE FLOCULACION PARA EL REEMPLAZO DEL SULFATO DE
ALUMINIO GRANULADO TIPO B COMO COAGULANTE EN LA
POTABILIZACION DE AGUAS DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO EL JARDIN
DE LA CIUDAD DE NEIVA.

JUAN MANUEL QUIZA GÁFARO
FABIAN HUMBERTO ROJAS DÍAZ

UNIVERSIDAD SURCOLOMBIANA
FACULTAD DE EDUCACIÓN
LICENCIATURA EN EDUCACIÓN BÁSICA CON ÉNFASIS EN CIENCIAS
NATURALES Y EDUCACIÓN AMBIENTAL
NEIVA
2013

Estudios de floculación para el reemplazo del sulfato de aluminio granulado tipo B
como coagulante en la potabilización de aguas de la planta de tratamiento El
Jardín de la ciudad de Neiva

Juan Manuel Quiza Gáfaró
Fabián Humberto Rojas Días

Presentado como trabajo de grado para optar el título de:
Licenciado en Educación Básica con Énfasis en Ciencias Naturales y Educación
Ambiental.

Asesor:
Luis Javier Narváez Zamora
Magister en Educación y Licenciado Biología y Química.

Universidad Surcolombiana
Facultad de Educación
Licenciatura en Educación Básica con Énfasis en Ciencias Naturales y Educación
Ambiental
Neiva
2013

Nota de aceptación

Jurado

Jurado

Asesor

Neiva, 31 de Octubre de 2013

DEDICATORIA.

Agradezco en primer lugar a Dios por permitirme llegar donde estoy, por iluminar mi camino, por llenarme de fortaleza y paciencia para guiarme hacia esta gran meta en mi vida pero más que todo le agradezco inmensamente por darme el mejor de los regalos la vida y una maravillosa familia.

A mi hermana y novia les agradezco por su apoyo incondicional, por creer en mí y siempre tener una voz de aliento en los momentos más difíciles, A mis padres por inculcarme todos los valores que hacen de mi la persona que soy, a ellos les dedico todos mis triunfos y éxitos, los amo.

Fabián Humberto Rojas D.

DEDICATORIA.

Dedico este logro como primera medida a Dios por la vida, la salud, la sabiduría y la fortaleza que me ha regalado para culminar esta etapa de mi vida.

A mi núcleo familiar compuesto por mis padres y hermanos, por ser como son y siempre darme los ánimos los motivos y el apoyo para seguir adelante.

Y a todas aquellas personas que con su tiempo dedicación y esfuerzo dieron un impulso para culminar lo que promete ser el final de una etapa y el inicio de otra.

A todos Ustedes muchas gracias los llevaré en mi mente y mi corazón.

Juan Manuel Quizá G.

AGRADECIMIENTOS.

A Dios y a nuestras familias, muchas gracias por el apoyo constante e incondicional que nos brindaron para el cumplimiento de esta gran meta en nuestras vidas.

A la Planta de Tratamiento El Jardín de la ciudad de Neiva, por permitirnos realizar el trabajo en sus instalaciones.

Al ingeniero Carlos Silva por permitir y facilitar la realización del proyecto.

A los operarios quienes fueron guías durante el desarrollo de la investigación.

A la Dra Margarita y Miriam por estar pendientes y ayudar en la elaboración de las pruebas.

A la Ingeniera Eliana Constanza Thola Durán por proporcionar sus conocimientos en el manejo de los equipos de laboratorio, al igual que por su paciencia y dedicación.

Al Ingeniero Cesar Augusto Rojas por suministrar los químicos coagulantes objeto de estudio, proporcionar conocimiento en el manejo de los mismos y dedicar su entera disposición para que todo esto fuera posible.

A nuestro director y asesor Luis Javier Narváez Zamora por el apoyo y colaboración en la realización de este trabajo.

A nuestro jurado y a todos los que de alguna manera aportaron en la realización de este trabajo.

A todos Ustedes muchas gracias.

CONTENIDO.

pág.

LISTADO DE FIGURAS.	i
LISTADO DE TABLAS.	viii
TABLA DE ANEXOS	x
RESUMEN	xi
ABSTRACT	xii
INTRODUCCIÓN	1
1. OBJETIVOS	3
2. MARCO TEÓRICO	4
2.1 El Agua	4
2.1.1 Características físicas	5
2.1.1.1. Turbidez o Turbiedad	5
2.1.1.2. Color Aparente	5
2.1.1.3. Olor y Sabor	5
2.1.1.4. Temperatura	6
2.1.1.5. Conductividad	6
2.1.2 Características Químicas	6
2.1.2.1. pH	6
2.1.2.2. Aluminio Residual	7
2.1.2.3. Dureza	7
2.1.2.4. Alcalinidad Total	8
2.2 HIDROGRAFÍA Y CARACTERÍSTICAS DEL RECURSO HÍDRICO.	8
2.2.1 Localización	9
2.2.2 Geología	9
2.2.3 Climatología de la cuenca	9
2.3 PROCESO DE POTABILIZACIÓN DEL AGUA EN LA CIUDAD.	10
2.3.1 PROCESOS PARA LA POTABILIZACIÓN DEL AGUA	10
2.3.1.1. Coagulación	11
2.3.1.2. Floculación	19
2.3.1.3. Decantación o Sedimentación	20
2.3.1.4. Filtración	20
2.3.1.5. Desinfección	21
2.4 Prueba o Test de Jarras	22
2.3.1 Análisis Físicoquímicos	24
2.5 Marco Legal	25

3. METODOLOGÍA	28
3.1 Generalidades.	28
3.2 Etapa Preliminar.	29
3.2.1 pH.	29
3.2.2 Turbiedad NTU	29
3.2.3 Color UPC	30
3.2.4 Análisis fisicoquímico preliminar de las muestras de agua cruda.	30
3.2.5 Determinación de las dosis optimas de cada coagulante.	30
3.3 Etapa de Ensayos.	32
3.3.1 Agua del Rio Las Ceibas y Zona de Captación.	32
3.3.2 Prueba de Jarras, simulación de procesos para el análisis de coagulantes.	33
3.3.3 Análisis fisicoquímicos post-prueba.	35
3.3.4 Medios y Equipos de Valoración.	35
3.4 Etapa de Análisis.	38
3.4.1 Procedimiento.	38
4. ANALISIS DE RESULTADOS	40
4.1 Aspectos Generales.	40
4.2 Análisis Muestra N° 1	42
4.2.1 Sulfato de Aluminio Granulado Tipo B (SAGB)	43
4.2.2 Mackenfloc II	45
4.2.3 Hidroxicloruro (PAC)	48
4.2.4 Mackenfloc III	51
4.2.5 Mackenfloc I	53
4.2.6 Quinsafloc	55
4.2.7 Sulfato de Aluminio Líquido Tipo B (SALB)	57
4.2.8 Mackenfloc IV	60
4.2.9 Comportamiento y Efectividad Fisicoquímica.	63
4.3 Análisis Muestra N° 2.	68
4.3.1 Sulfato de Aluminio Granulado Tipo B (SAGB)	69
4.3.2 Análisis Mackenfloc IV.	72
4.3.3 Mackenfloc III	74
4.3.4 Mackenfloc II	77
4.3.5 Mackenfloc I	79
4.3.6 Hidroxicloruro (PAC)	81
4.3.7 Sulfato de Aluminio Líquido Tipo B (SALB)	85
4.3.8 Quinsafloc	87
4.3.9 Comportamiento y Efectividad Fisicoquímica.	90
4.4 Análisis Muestra N° 3	95
4.4.1 Sulfato de Aluminio Granulado Tipo B (SAGB)	95
4.4.2 Mackenfloc II	98

4.4.3	Mackenfloc I	101
4.4.4	Hidroxiclورو (PAC)	104
4.4.5	Mackenfloc III	106
4.4.6	Quinsafloc	109
4.4.7	Mackenfloc IV	111
4.4.8	Sulfato de Aluminio Líquido Tipo B	114
4.4.9	Comportamiento y Efectividad Fisicoquímica.	116
4.5	Análisis Muestra N° 4	121
4.5.1	Sulfato de Aluminio Granulado Tipo B (SAGB)	121
4.5.2	Mackenfloc II	124
4.5.3	Hidroxiclورو (PAC)	127
4.5.4	Mackenfloc I	129
4.5.5	Mackenfloc III	132
4.5.6	Quinsafloc	134
4.5.7	Mackenfloc IV	137
4.5.8	Sulfato de Aluminio Líquido Tipo B (SALB)	140
4.5.9	Comportamiento y Efectividad Fisicoquímica.	142
4.6	Análisis Muestra N° 5	147
4.6.1	Sulfato de Aluminio Granulado Tipo B (SAGB)	148
4.6.2	Mackenfloc II	151
4.6.3	Mackenfloc III	153
4.6.4	Mackenfloc IV	155
4.6.5	Hidroxiclورو de Aluminio (PAC)	157
4.6.6	Quinsafloc	159
4.6.7	Mackenfloc I	162
4.6.8	Sulfato de Aluminio Líquido Tipo B (SALB)	164
4.6.9	Comportamiento y Efectividad Fisicoquímica.	166
4.7	Análisis de costos	171
4.7.1	Análisis Muestra N° 1	172
4.7.2	Análisis Muestra N° 2	173
4.7.3	Análisis Muestra N° 3	174
4.7.4	Análisis Muestra N° 4	175
4.7.5	Análisis Muestra N° 5	177
5.	CONCLUSIONES	180
6.	RECOMENDACIONES	182
	REFERENCIAS	183
	ANEXOS	185

LISTADO DE FIGURAS.

Figura 1. Principio de floculación _____	18
Figura 2 Finalización de la floculación _____	19
Figura 3 Modelo de Filtro _____	21
Figura 4 Modelo de gráfica Turbiedad residual Vs Dosis de coagulante _____	24
Figura 5 Instalaciones y Laboratorios. _____	28
Figura 6 Cauce normal del afluente rio las ceibas. _____	32
Figura 7 Zona de Captación del Afluente acueducto El Jardín. _____	33
Figura 8 Simulador de procesos, Test de Jarras. _____	34
Figura 9 Equipo de mezcla EQUIFAR, Test de Jarras. _____	35
Figura 10 Espectrofotómetro UV-VIS DR6000 HACH. _____	36
Figura 11 Turbidímetro 2100AN IS HACH. _____	36
Figura 12 Colorímetro NOVA 60, MERCK. _____	36
Figura 13 pH-Metro portátil 330i WTW. _____	37
Figura 14 Test fotométrico completo de aluminio residual, MERCK. _____	37
Figura 15 Material Volumétrico: Beakers 1000ml, probetas 1000ml, jeringas 10cm ³ _____	37
Figura 16 Procedimiento seguido en el laboratorio _____	38
Figura 17 Fase de Mezcla rápida. _____	40
Figura 18 Formación de floc. _____	40
Figura 19 Fase de Mezcla Lenta _____	41
Figura 20 Fase de sedimentación. _____	41
Figura 21 Fase de ejecución de análisis, Test de Aluminio residual. _____	41

LISTADO DE GRAFICAS.

ANALISIS MUESTRA No.1

Grafica. 1 Dosis SAGB Vs Turbiedad residual (Turbiedad permitida 5 UNT) _____	43
Grafica. 2. Dosis SAGB Vs Color residual (Color permitido 15 UPC) _____	44
Grafica. 3. Dosis SAGB Vs pH residual (pH permitido entre 6,5 y 9) _____	44
Grafica. 4. Dosis SAGB Vs Aluminio residual (Aluminio residual permitido 0,2 mg/L) _____	44
Grafica. 5. Dosis Mackenfloc II Vs Turbiedad (Turbiedad permitida 5 UNT) _____	46
Grafica. 6. Dosis Mackenfloc II Vs Color (Color permitido 15 UPC) _____	46
Grafica. 7. Dosis Mackenfloc II Vs pH (pH permitido entre 6,5 y 9) _____	46
Grafica. 8. Dosis Mackenfloc II Vs Aluminio Residual (Aluminio residual permitido 0,2 mg/L) _____	47
Grafica. 9. Dosis (PAC) Vs Turbiedad residual. (Turbiedad permitida 5 UNT) _____	48
Grafica. 10. Dosis (PAC) Vs Color residual (Color permitido 15 UPC) _____	49
Grafica. 11. Dosis (PAC) Vs pH (pH permitido entre 6,5 y 9) _____	49
Grafica. 12. Dosis (PAC) Vs Aluminio residual. (Aluminio residual permitido 0,2 mg/L) _	49
Grafica. 13. Dosis Mackenfloc III Vs Turbiedad residual (Turbiedad permitida 5 UNT) __	51
Grafica. 14. Dosis Mackenfloc III Vs Color residual (Color permitido 15 UPC) _____	52
Grafica. 15. Dosis Mackenfloc III Vs pH (pH permitido entre 6,5 y 9) _____	52
Grafica. 16. Dosis Mackenfloc III Vs Aluminio residual (Aluminio residual permitido 0,2 mg/L) _____	52
Grafica. 17. Dosis Mackenfloc I Vs Turbiedad residual (Turbiedad permitida 5 UNT) ____	53
Grafica. 18. Dosis Mackenfloc I Vs Color residual (Color permitido 15 UPC) _____	54
Grafica. 19. Dosis Mackenfloc I Vs pH (pH permitido entre 6,5 y 9) _____	54
Grafica. 20. Dosis Mackenfloc I Vs Aluminio residual (Aluminio residual permitido 0,2 mg/L) _____	54
Grafica. 21. Dosis Quinsafloc Vs Turbiedad residual (Turbiedad permitida 5 UNT) _____	56
Grafica. 22. Dosis Quinsafloc Vs Color residual (Color permitido 15 UPC) _____	56
Grafica. 23. Dosis Quinsafloc Vs pH (pH permitido entre 6,5 y 9) _____	56
Grafica. 24. Dosis Quinsafloc Vs Aluminio residual (Aluminio residual permitido 0,2 mg/L) _____	57
Grafica. 25. Dosis de SALB. Vs Turbiedad residual (Turbiedad permitida 5 UNT) _____	58
Grafica. 26. Dosis de SALB. Vs color residual (Color permitido 15 UPC) _____	58
Grafica. 27. Dosis de SALB. Vs pH (pH permitido entre 6,5 y 9) _____	59
Grafica. 28. Dosis de SALB. Vs Aluminio residual (Aluminio residual permitido 0,2 mg/L) _____	59
Grafica. 29. Dosis Mackenfloc IV. Vs Turbiedad residual (Turbiedad permitida 5 UNT) _	60
Grafica. 30. Dosis Mackenfloc IV. Vs color residual (Color permitido 15 UPC) _____	61
Grafica. 31. Dosis Mackenfloc IV. Vs pH (pH permitido entre 6,5 y 9) _____	61
Grafica. 32. Dosis Mackenfloc IV. Vs Aluminio residual (Aluminio residual permitido 0,2 mg/L) _____	61
Grafica. 33. Dosis de coagulante Vs Turbiedad residual. (Turbiedad permitida 5 UNT) _	63

Grafica. 34. Dosis de coagulante Vs Color residual. (Color permitido 15 UPC)	64
Grafica. 35. Dosis de coagulante Vs pH residual. (pH permitido entre 6,5 y 9)	65
Grafica. 36. Dosis de coagulante Vs Aluminio residual. (Aluminio residual permitido 0,2 mg/L)	66
ANALISIS MUESTRA No.2	
Grafica. 37. Dosis SAGB Vs Turbiedad. (Turbiedad permitida 5 UNT)	69
Grafica. 38. Dosis SAGB Vs Color residual. (Color permitido 15 UPC)	70
Grafica. 39. Dosis SAGB Vs pH residual. (pH Permitido entre 6,5 y 9)	70
Grafica. 40. Dosis SAGB Vs Aluminio residual. (Aluminio residual permitido 0,2 mg/L)	70
Grafica. 41. Dosis Mackenfloc IV Vs Turbiedad residual. (Turbiedad permitida 5 UNT)	72
Grafica. 42. Dosis Mackenfloc IV Vs Color residual. (Color permitido 15 UPC)	73
Grafica. 43. Dosis Mackenfloc IV Vs pH residual. (pH permitido entre 6,5 y 9)	73
Grafica. 44. Dosis Mackenfloc IV Vs Aluminio residual. (Aluminio residual permitido 0,2 mg/L)	73
Grafica. 45. Dosis Mackenfloc III Vs Turbiedad residual. (Turbiedad permitida 5 UNT)	75
Grafica. 46. Dosis Mackenfloc III Vs Color residual. (Color permitido 15 UPC)	75
Grafica. 47. Dosis Mackenfloc III Vs pH residual. (pH permitido entre 6,5 y 9)	75
Grafica. 48. Dosis Mackenfloc III Vs Aluminio residual. (Aluminio residual permitido 0,2 mg/L)	76
Grafica. 49. Dosis Mackenfloc II Vs Turbiedad residual. (Turbiedad permitida 5 UNT)	77
Grafica. 50. Dosis Mackenfloc II Vs Color residual. (Color permitido 15 UPC)	78
Grafica. 51. Dosis Mackenfloc II Vs pH residual. (pH permitido entre 6,5 y 9)	78
Grafica. 52. Dosis Mackenfloc II Vs Aluminio residual. (Aluminio residual permitido 0,2 mg/L)	78
Grafica. 53. Dosis Mackenfloc I Vs Turbiedad residual. (Turbiedad permitida 5 UNT)	80
Grafica. 54. Dosis Mackenfloc I Vs Color residual. (Color permitido 15 UPC)	80
Grafica. 55. Dosis Mackenfloc I Vs pH residual. (pH permitido entre 6,5 y 9)	80
Grafica. 56. Dosis Mackenfloc I Vs Aluminio residual. (Aluminio residual permitido 0,2 mg/L)	81
Grafica. 57. Dosis (PAC) Vs Turbiedad residual. (Turbiedad permitida 5 UNT)	82
Grafica. 58. Dosis (PAC) Vs Color residual. (Color permitido 15 UPC)	83
Grafica. 59. Dosis (PAC) Vs pH residual. (pH permitido entre 6,5 y 9)	83
Grafica. 60. Dosis (PAC) Vs Aluminio residual. (Aluminio residual permitido 0,2 mg/L)	83
Grafica. 61. Dosis de SALB Vs Turbiedad residual. (Turbiedad Permitida 5 UNT)	85
Grafica. 62. Dosis de SALB Vs Color residual. (Color permitido 15 UPC)	86
Grafica. 63. Dosis de SALB Vs pH residual. (pH permitido entre 6,5 y 9)	86
Grafica. 64. Dosis de SALB Vs Aluminio residual. (Aluminio residual permitido 0,2 mg/L)	86
Grafica. 65. Dosis Quinsafloc Vs Turbiedad residual. (Turbiedad permitida 5 UNT)	88
Grafica. 66. Dosis Quinsafloc Vs Color residual. (Color permitido 15 UPC)	88
Grafica. 67. Dosis Quinsafloc Vs pH residual. (pH permitido entre 6,5 y 9)	88
Grafica. 68. Dosis Quinsafloc Vs Aluminio residual. (Aluminio residual permitido 0,2 mg/L)	89

Grafica. 69. Dosis de coagulante Vs Turbiedad residual. (Turbiedad permitida 5 UNT)	90
Grafica. 70. Dosis de coagulante Vs Color residual. (Color permitido 15 UPC)	91
Grafica. 71. Dosis de coagulante Vs pH residual. (pH permitido entre 6,5 y 9)	92
Grafica. 72. Dosis de coagulante Vs Aluminio residual. (Aluminio residual permitido 0,2 mg/L)	93

ANALISIS MUESTRA No.3

Grafica. 73. Dosis SAGB Vs Turbiedad residual. (Turbiedad permitida 5 UNT)	96
Grafica. 74. Dosis SAGB Vs Color residual. (Color permitido 15 UPC)	97
Grafica. 75. Dosis SAGB Vs pH residual. (pH permitido entre 6,5 y 9)	97
Grafica. 76. Dosis SAGB Vs Aluminio residual. (Aluminio residual permitido 0,2 mg/L)	97
Grafica. 77. Dosis Mackenfloc II Vs Turbiedad residual. (Turbiedad permitida 5 UNT)	99
Grafica. 78. Dosis Mackenfloc II Vs Color residual. (Color permitido 15 UPC)	99
Grafica. 79. Dosis Mackenfloc II Vs pH residual. (pH permitido entre 6,5 y 9)	99
Grafica. 80. Dosis Mackenfloc II Vs Aluminio residual. (Aluminio residual permitido 0,2 mg/L)	100
Grafica. 81. Dosis Mackenfloc I Vs Turbiedad residual. (Turbiedad permitida 5 UNT)	102
Grafica. 82. Dosis Mackenfloc I Vs Color residual. (Color permitido 15 UPC)	102
Grafica. 83. Dosis Mackenfloc I Vs pH residual. (pH permitido entre 6,5 y 9)	102
Grafica. 84. Dosis Mackenfloc I Vs Aluminio residual. (Aluminio residual permitido 0,2 mg/L)	103
Grafica. 85. Dosis (PAC) Vs Turbiedad residual. (Turbiedad permitida 5 UNT)	104
Grafica. 86. Dosis (PAC) Vs Color residual. (Color permitido 15 UPC)	105
Grafica. 87. Dosis (PAC) Vs pH residual. (pH permitido entre 6,5 y 9)	105
Grafica. 88. Dosis (PAC) Vs Aluminio residual. (Aluminio residual permitido 0,2 mg/L)	105
Grafica. 89. Dosis Mackenfloc III Vs Turbiedad residual. (Turbiedad permitida 5 UNT)	107
Grafica. 90. Dosis Mackenfloc III Vs Color residual. (Color permitido 15 UPC)	107
Grafica. 91. Dosis Mackenfloc III Vs pH residual. (pH permitido entre 6,5 y 9)	107
Grafica. 92. Dosis Mackenfloc III Vs Aluminio residual. (Aluminio residual permitido 0,2 mg/L)	108
Grafica. 93. Dosis Quinsafloc Vs Turbiedad residual. (Turbiedad permitida 5 UNT)	109
Grafica. 94. Dosis Quinsafloc Vs Color residual. (Color permitido 15 UPC)	110
Grafica. 95. Dosis Quinsafloc Vs pH residual. (pH permitido entre 6,5 y 9)	110
Grafica. 96. Dosis Quinsafloc Vs Aluminio residual. (Aluminio residual permitido 0,2 mg/L)	110
Grafica. 97. Dosis Mackenfloc IV Vs Turbiedad residual. (Turbiedad permitida 5 UNT)	112
Grafica. 98. Dosis Mackenfloc IV Vs Color residual. (Color permitido 15 UPC)	112
Grafica. 99. Dosis Mackenfloc IV Vs pH residual. (pH permitido entre 6,5 y 9)	112
Grafica. 100. Dosis Mackenfloc IV Vs Aluminio residual. (Aluminio residual permitido 0,2 mg/L)	113
Grafica. 101. Dosis de SALB Vs Turbiedad residual. (Turbiedad permitida 5 UNT)	114
Grafica. 102. Dosis de SALB Vs Color residual. (Color permitido 15 UPC)	115
Grafica. 103. Dosis de SALB Vs pH residual. (pH permitido entre 6,5 y 9)	115

Grafica. 104. Dosis de SALB Vs Aluminio residual. (Aluminio residual permitido 0,2 mg/L)	115
Grafica. 105. Dosis de coagulante Vs Turbiedad residual. (Turbiedad permitida 5 UNT)	116
Grafica. 106. Dosis de coagulante Vs Color residual. (Color permitido 15 UPC)	117
Grafica. 107. Dosis de coagulante Vs pH residual. (pH permitido entre 6,5 y 9)	118
Grafica. 108. Dosis de coagulante Vs Aluminio residual. (Aluminio residual permitido 0,2 mg/L)	119
ANALISIS MUESTRA No.4	
Grafica. 109. Dosis SAGB Vs Turbiedad. (Turbiedad permitida 5 UNT)	122
Grafica. 110. Dosis SAGB Vs Color Real. (Color permitido 15 UPC)	123
Grafica. 111. Dosis SAGB Vs pH. (pH permitido entre 6,5 y 9)	123
Grafica. 112. Dosis SAGB Vs Aluminio residual. (Aluminio residual permitido 0,2 mg/L)	123
Grafica. 113. Dosis Mackenfloc II Vs Turbiedad residual. (Turbiedad permitida 5 UNT)	125
Grafica. 114. Dosis Mackenfloc II Vs Color Real. (Color permitido 15 UPC)	125
Grafica. 115. Dosis Mackenfloc II Vs pH. (pH permitido entre 6,5 y 9)	126
Grafica. 116. Dosis Mackenfloc II Vs Aluminio residual. (Aluminio residual permitido 0,2 mg/L)	126
Grafica. 117. Dosis (PAC) Vs Turbiedad residual. (Turbiedad permitida 5 UNT)	128
Grafica. 118. Dosis (PAC) Vs Color Real. (Color permitido 15 UPC)	128
Grafica. 119. Dosis (PAC) Vs pH. (pH permitido entre 6,5 y 9)	128
Grafica. 120. Dosis (PAC) Vs Aluminio residual. (Aluminio residual permitido 0,2 mg/L)	129
Grafica. 121. Dosis Mackenfloc I Vs Turbiedad residual. (Turbiedad permitida 5 UNT)	130
Grafica. 122. Dosis Mackenfloc I Vs Color Real. (Color permitido 15 UPC)	131
Grafica. 123. Dosis Mackenfloc I Vs pH. (pH permitido entre 6,5 y 9)	131
Grafica. 124. Dosis Mackenfloc I Vs Aluminio residual. (Aluminio residual permitido 0,2 mg/L)	131
Grafica. 125. Dosis Mackenfloc III Vs Turbiedad residual. (Turbiedad permitida 5 UNT)	133
Grafica. 126. Dosis Mackenfloc III Vs Color Real. (Color permitido 15 UPC)	133
Grafica. 127. Dosis Mackenfloc III Vs pH. (pH permitido entre 6,5 y 9)	133
Grafica. 128. Dosis Mackenfloc III Vs Aluminio residual. (Aluminio residual permitido 0,2 mg/L)	134
Grafica. 129. Dosis Quinsafloc Vs Turbiedad residual. (Turbiedad permitida 5 UNT)	135
Grafica. 130. Dosis Quinsafloc Vs Color Real. (Color permitido 15 UPC)	136
Grafica. 131. Dosis Quinsafloc Vs pH. (pH permitido entre 6,5 y 9)	136
Grafica. 132. Dosis Quinsafloc Vs Aluminio residual. (Aluminio residual permitido 0,2 mg/L)	136
Grafica. 133. Dosis Mackenfloc IV Vs Turbiedad residual. (Turbiedad permitida 5 UNT)	138
Grafica. 134. Dosis Mackenfloc IV Vs Color Real. (Color permitido 15 UPC)	138
Grafica. 135. Dosis Mackenfloc IV Vs pH. (pH permitido entre 6,5 y 9)	138
Grafica. 136. Dosis Mackenfloc IV Vs Aluminio residual. (Aluminio residual permitido 0,2 mg/L)	139
Grafica. 137. Dosis de SALB Vs Turbiedad residual. (Turbiedad permitida 5 UNT)	140
Grafica. 138. Dosis de SALB Vs Color Real. (Color permitido 15 UPC)	141

Grafica. 139. Dosis de SALB Vs pH. (pH permitido entre 6,5 y 9)	141
Grafica. 140. Dosis de SALB Vs Aluminio residual. (Aluminio residual permitido 0,2 mg/L)	141
Grafica. 141. Dosis de coagulante Vs Turbiedad residual. (Turbiedad permitida 5 UNT)	143
Grafica. 142. Dosis de coagulante Vs Color real. (Color permitido 15 UPC)	144
Grafica. 143. Dosis de coagulante Vs pH residual. (pH permitido entre 6,5 y 9)	145
Grafica. 144. Dosis de coagulante Vs Aluminio residual. (Aluminio residual permitido 0,2 mg/L)	146
ANALISIS MUESTRA No.5	
Grafica. 145. Dosis SAGB Vs Turbiedad residual. (Turbiedad permitida 5 UNT)	148
Grafica. 146. Dosis SAGB Vs Color residual. (Color permitido 15 UPC)	149
Grafica. 147. Dosis SAGB Vs pH residual. (pH permitido entre 6,5 y 9)	149
Grafica. 148. Dosis SAGB Vs Aluminio residual. (Aluminio residual permitido 0,2 mg/L)	149
Grafica. 149. Dosis Mackenfloc II Vs Turbiedad residual. (Turbiedad permitida 5 UNT)	151
Grafica. 150. Dosis Mackenfloc II Vs Color residual. (Color permitido 15 UPC)	152
Grafica. 151. Dosis Mackenfloc II Vs pH residual. (pH permitido entre 6,5 y 9)	152
Grafica. 152. Dosis Mackenfloc II Vs Aluminio residual. (Aluminio residual permitido 0,2 mg/L)	152
Grafica. 153. Dosis Mackenfloc III Vs Turbiedad residual. (Turbiedad permitida 5 UNT)	153
Grafica. 154. Dosis Mackenfloc III Vs Color residual. (Color permitido 15 UPC)	154
Grafica. 155. Dosis Mackenfloc III Vs pH residual. (pH permitido entre 6,5 y 9)	154
Grafica. 156. Dosis Mackenfloc III Vs Aluminio residual. (Aluminio residual permitido 0,2 mg/L)	154
Grafica. 157. Dosis Mackenfloc IV Vs Turbiedad residual. (Turbiedad permitida 5 UNT)	156
Grafica. 158. Dosis Mackenfloc IV Vs Color residual. (Color permitido 15 UPC)	156
Grafica. 159. Dosis Mackenfloc IV Vs pH residual. (pH permitido entre 6,5 y 9)	156
Grafica. 160. Dosis Mackenfloc IV Vs Aluminio residual. (Aluminio residual permitido 0,2 mg/L)	157
Grafica. 161. Dosis (PAC) Vs Turbiedad residual. (Turbiedad permitida 5 UNT)	158
Grafica. 162. Dosis (PAC) Vs Color residual. (Color permitido 15 UPC)	158
Grafica. 163. Dosis (PAC) Vs pH residual. (pH permitido entre 6,5 y 9)	159
Grafica. 164. Dosis (PAC) Vs Aluminio residual. (Aluminio residual permitido 0,2 mg/L)	159
Grafica. 165. Dosis Quinsafloc Vs Turbiedad residual. (Turbiedad permitida 5 UNT)	160
Grafica. 166. Dosis Quinsafloc Vs Color residual. (Color permitido 15 UPC)	160
Grafica. 167. Dosis Quinsafloc Vs pH residual. (pH permitido entre 6,5 y 9)	161
Grafica. 168. Dosis Quinsafloc Vs Aluminio residual. (Aluminio residual permitido 0,2 mg/L)	161
Grafica. 169. Dosis Mackenfloc I Vs Turbiedad residual. (Turbiedad permitida 5 UNT)	162
Grafica. 170. Dosis Mackenfloc I Vs Color residual. (color permitido 15 UPC)	163
Grafica. 171. Dosis Mackenfloc I Vs pH residual. (pH permitido entre 6,5 y 9)	163
Grafica. 172. Dosis Mackenfloc I Vs Aluminio residual (Aluminio residual permitido 0,2 mg/L)	163

<i>Grafica. 173. Dosis de SALB Vs Turbiedad residual. (Turbiedad permitida 5 UNT)</i>	165
<i>Grafica. 174. Dosis de SALB Vs Color residual. (Color permitido 15 UPC)</i>	165
<i>Grafica. 175. Dosis de SALB Vs pH residual. (pH permitido entre 6,5 y 9)</i>	165
<i>Grafica. 176. Dosis de SALB Vs Aluminio residual. (Aluminio residual permitido 0,2 mg/L)</i>	166
<i>Grafica. 177. Dosis de coagulante Vs Turbiedad residual. (Turbiedad permitida 5 UNT)</i>	167
<i>Grafica. 178. Dosis de coagulante Vs Color Real residual. (Color permitido 15 UPC)</i>	168
<i>Grafica. 179. Dosis de coagulante Vs pH residual. (pH permitido entre 6,5 y 9)</i>	169
<i>Grafica. 180. Dosis de coagulante Vs Aluminio residual. (Aluminio residual permitido 0,2 mg/L)</i>	170

LISTADO DE TABLAS.

Tabla 1. Características del Agua _____	4
Tabla 2. Tamaño de partícula, área superficial y tiempo de sedimentación. _____	12
Tabla 3. Propiedades Mackenfloc I, II, III, IV. _____	14
Tabla 4. Propiedades Quinsafloc _____	16
Tabla 5. Propiedades Hidroxicloruro de aluminio (PAC) _____	17
Tabla 6. Propiedades Sulfato de Aluminio Liquido tipo B _____	17
Tabla 7. Propiedades Sulfato de Aluminio Granulado tipo B _____	18
Tabla 8. Características del Agua _____	27
Tabla 9. Parámetros iniciales de la Muestra N° 1 _____	42
Tabla 10. Coagulantes utilizados en el tratamiento de muestras de agua cruda _____	42
Tabla 11. Resultados prueba realizada con SAGB. _____	43
Tabla 12. Resultados prueba realizada con Mackenfloc II. _____	45
Tabla 13. Resultados prueba realizada con Hidroxicloruro de Aluminio (PAC) _____	48
Tabla 14. Resultados prueba realizada con Mackenfloc III. _____	51
Tabla 15. Resultados prueba realizada con Mackenfloc I. _____	53
Tabla 16. Resultados prueba realizada con QUINSAFLOC _____	55
Tabla 17. Resultados prueba realizada con SALB. _____	57
Tabla 18. Resultados prueba realizada con Mackenfloc IV. _____	60
Tabla 19. Parámetros iniciales de la Muestra de agua No.2 _____	68
Tabla 20. Resultados Prueba realizada con SAGB _____	69
Tabla 21. Resultados Prueba realizada con Mackenfloc IV _____	72
Tabla 22. Resultados Prueba realizada con Mackenfloc III _____	74
Tabla 23. Resultados Prueba realizada con Mackenfloc II _____	77
Tabla 24. Resultados Prueba realizada con Mackenfloc I _____	79
Tabla 25. Resultados Prueba realizada con PAC _____	82
Tabla 26. Resultados Prueba realizada con SALB. _____	85
Tabla 27. Resultados Prueba realizada con Quinsafloc. _____	87
Tabla 28. Parámetros iniciales de la Muestra de agua No.3. _____	95
Tabla 29. Resultados Prueba realizada con SAGB. _____	96
Tabla 30. Resultados Prueba realizada con Mackenfloc II. _____	98
Tabla 31. Resultados Prueba realizada con Mackenfloc I. _____	101
Tabla 32. Resultados Prueba realizada con (PAC). _____	104
Tabla 33. Resultados Prueba realizada con Mackenfloc III. _____	106
Tabla 34. Resultados Prueba realizada con Quinsafloc. _____	109
Tabla 35. Resultados Prueba realizada con Mackenfloc IV. _____	111
Tabla 36. Resultados Prueba realizada con SALB. _____	114
Tabla 37. Parámetros fisicoquímicos Iniciales, Muestra de agua cruda No.4. _____	121
Tabla 38. Resultados Prueba realizada con SAGB. _____	122
Tabla 39. Resultados Prueba realizada con Mackenfloc II. _____	125

Tabla 40. Resultados Prueba realizada con Hidroxicloruro. _____	127
Tabla 41. Resultados Prueba realizada con Mackenfloc I. _____	130
Tabla 42. Resultados Prueba realizada con MACKENFLOC III. _____	132
Tabla 43. Resultados Prueba realizada con QUINSAFLOC. _____	135
Tabla 44. Resultados Prueba realizada con MACKENFLOC IV. _____	137
Tabla 45. Resultados Prueba realizada con sulfato de aluminio líquido tipo B. _____	140
Tabla 46. Parámetros iniciales de la Muestra de agua No.5. _____	147
Tabla 47. Resultados Prueba realizada con SAGB. _____	148
Tabla 48. Resultados Prueba realizada con Mackenfloc II. _____	151
Tabla 49. Resultados Prueba realizada con Mackenfloc III. _____	153
Tabla 50. Resultados Prueba realizada con Mackenfloc IV. _____	155
Tabla 51. Resultados Prueba realizada con (PAC). _____	158
Tabla 52. Resultados Prueba realizada con Quinsafloc. _____	160
Tabla 53. Resultados Prueba realizada con Mackenfloc I. _____	162
Tabla 54. Resultados Prueba realizada con SALB. _____	164
Tabla 55. Precio por Kg de coagulante. _____	172
Tabla 56. Coagulantes seleccionados Muestra N° 1. _____	172
Tabla 57. Coagulantes seleccionados Muestra N° 2. _____	173
Tabla 58. Coagulantes seleccionados Muestra N° 3. _____	174
Tabla 59. Coagulantes seleccionados Muestra N° 4. _____	176
Tabla 60. Coagulantes seleccionados Muestra N° 5. _____	177
Tabla 61. Tasas de reemplazo. _____	178

TABLA DE ANEXOS

No se encuentran elementos de tabla de ilustraciones.

RESUMEN

El objetivo primordial de este estudio fue el identificar dentro de una gama coagulantes, el más idóneo para el remplazo del sulfato de aluminio granulado tipo B utilizado por empresas públicas (EPN) en la potabilización de agua cruda en su planta de tratamiento El Jardín de la ciudad de Neiva.

Esta investigación consistió en evaluar una serie de parámetros fisicoquímicos pre y pos tratamiento del agua tratada con cada uno de los ocho productos facilitados por la industria química QUINSA S.A., con el fin de evaluar su eficiencia y determinar su respectiva efectividad en diferentes situaciones de turbiedad (baja, media y alta) dentro del control de los índices físicos y químicos mínimos establecidos por la constitución colombiana que permiten calificar un cuerpo de agua como apto para su consumo humano.

El desarrollo del estudio fue ejecutado en las instalaciones de los laboratorios de aguas de la planta de tratamiento El Jardín, donde por medio de un test de jarras se pudo identificar el comportamiento de los productos Mackenfloc I, II, III y IV, Hidroxicloruro, Quinsafloc, Sulfato de aluminio liquido tipo B (SALB) y el respectivo sulfato de aluminio granulado tipo B (SAGB), en el tratamiento de aguas. Índices como el pH, el Color la turbiedad y el aluminio residual presentes, fueron analizados detalladamente con la simulación a escala de laboratorio del proceso efectuado por la planta para realizar la primera fase (floculación) de intervención en la potabilización de aguas crudas, sin olvidar que este fue soportado con un estudio de rentabilidad y costos que podrían abarcarse con la implementación de cada uno de los productos.

Los resultados obtenidos durante el estudio fisicoquímico fueron satisfactorios, ya que demostraron que los parámetros iniciales en cada muestra situacional pudieron ser regulados en gran parte por los productos objeto de análisis, sin embargo durante los ensayos se destacaron la acción floculante de los compuestos en diferentes situaciones de turbiedad, donde para turbiedades levemente alteradas (bajas) se destaco la acción de los productos SALB (Sulfato de Aluminio Liquido tipo B) y Mackenfloc III, en turbiedades Medianamente bajas (medio-bajo) el Hidroxicloruro y Mackenfloc III, aguas con niveles de turbiedad media el compuesto I y III de la línea Mackenfloc y en situaciones extremas de alta turbiedad el producto Mackenfloc III y IV.

Según el análisis de costos respectivo el producto quimio más rentable para el tratamiento de aguas en su primera fase (flocucion) es el Mackenfloc II, esto se debe que aunque su costo de adquisición es más elevado, su dosificación es más regulada y mínima con respecto al sulfato de aluminio granulado tipo B utilizado en la actualidad, ya que este producto posee tecnologia quimica tipo blends que permite elevar la su eficiencia en diferentes situaciones de turbiedad presentes en aguas dispuestas para su potabilización y posterior consumo.

ABSTRACT

The primary objective of the study was to identify within a range coagulants, the most ideal for replacement of aluminum sulfate granulated type B used by public (EPN) in the raw water potabilization treatment plant in El Jardín of Neiva city.

This research consisted of evaluating a series of physicochemical parameters pre and post treatment of the water treated with each of the eight products facilitated by QUINSA SA chemical industry, in order to assess their effectiveness and to determine their individual effectiveness in different situations turbidity (low, medium and high) within the control of physical and chemical indexes minimums established by the Colombian constitution that allow a body of water qualify as suitable for human consumption.

The development of the study was executed in the laboratory facilities waters treatment Plant Garden, where by means of a test of jars is I can identify Mackenfloc product behavior I, II, III and IV, hydroxy chloride, Quinsafloc , aluminum sulfate liquid type B (SALB) and the respective granulated aluminum sulphate type B (SAGB) in wastewater treatment. Indexes as pH, turbidity and color residual aluminum present, were analyzed in detail with the laboratory-scale simulation of the process effected by the plant for the first phase (flocculation) intervention in crude water purification, not forgetting this was supported by a study of performance and costs that may encompassed with the implementation of each one of the products.

The results obtained during the study were satisfactory physicochemical as showed that the initial parameters in each sample situational might be regulated in large part by the products under analysis, however during the rehearsals highlighted flocculant action of the compounds in different situations turbidity, where for turbidity slightly altered (low), the action feature SALB product (Liquid Aluminum Sulfate type B) and Mackenfloc III, Moderately low turbidity (lower middle) and Mackenfloc chlorohydrate III, with water levels of average turbidity III compound I and Mackenfloc line and in extreme high turbidity the product Mackenfloc III and IV.

According to the respective cost analysis chemo most profitable product for water treatment in the first phase (flocculation) is the Mackenfloc II, this is because that although the acquisition cost is higher, your schedule is more regulated and minimal with respect granular aluminum sulphate type B currently used, since this product has such blends tecnologia chemical which can raise the efficiency in different situations present in water turbidity arranged for purification and later consumption.

INTRODUCCIÓN

El agua es muy importante en la vida de todo ser humano, por ello, requiere de un tratamiento especial para potabilizarla, pues no toda el agua puede ser consumida directamente de la fuente de donde proviene. Para ello, se realizan una serie de procedimientos con sustancias químicas seleccionadas que ayudan a fin de volverla apta para el consumo humano, de acuerdo con la Resolución 2115 de 2007 de los Ministerios de Ambiente, Protección Social y Vivienda y Desarrollo Territorial.

El proceso de la potabilización de cuerpos de agua aptos para el consumo humano en el municipio de Neiva funciona como primera medida con la canalización del afluente hasta la planta de tratamiento, donde se realiza en primera instancia un análisis fisicoquímico preliminar donde se evalúa las condiciones con la cual el líquido ingresa a las instalaciones, una vez se encuentra canalizado se toman muestras del medio para realizar también un análisis microbiológico que permita establecer la microbiota que la compone, con ello se ajustan los parámetros mínimos legales para su acondicionamiento con cloro y su respectivo control. Una vez tomados estos análisis se determina la naturaleza del agua para iniciar con el proceso de coagulación, sedimentación, filtración y desinfección.

Dentro de las pruebas preliminares es necesario establecer las condiciones de turbiedad, color y pH con las cuales ingresa el fluido a tratar para así establecer la dosis adecuada para iniciar el proceso de sedimentación por medio de la floculación de partículas sólidas suspendidas en el agua, esto se realiza por medio de un Test de jarras que es realizada en el laboratorio en un equipo especializado, llamado floc-tester, el cual simula a baja escala el procedimiento que se realiza en una planta de tratamiento de aguas. Este proyecto pretende analizar una serie de sustancias químicas alternativas a las usadas actualmente con el fin de encontrar un producto más acorde e idóneo, con un amplio espectro de acción que permita alcanzar estándares de eficiencia y efectividad óptimas para la potabilización de aguas para el consumo de la población Neivana, para ello se realizan 5 pruebas por agente coagulante (los cuales fueron facilitados por la empresa Química Integrada S.A. – QUINSA con marca registrada y disposición en el mercado), mackenfloc I, II, III, IV, quinsafloc, sulfato de aluminio líquido tipo B, hidroxiclورو de aluminio (PAC), dependiendo de la calidad de los datos obtenidos, posteriormente, se procede a realizar los análisis fisicoquímicos correspondientes para contrastarlos con los resultados antes del tratamiento, con el fin de determinar la eficacia de cada producto y determinar cuál de ellos es el de mejor desempeño coagulante.

A continuación se plantean los objetivos propuestos, los materiales a utilizar, el procedimiento y las actividades correspondientes, el tiempo estimado de ejecución del proyecto de investigación en la planta de tratamiento de aguas El Jardín de la ciudad de Neiva

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

A partir del siglo XXI, la comunidad internacional colocó sus ojos en el medio ambiente debido al deterioro de zonas boscosas, erosión de suelos, sequías, reducción de la capa de ozono, cambio en el patrón climático etc. Todo esto debido al consumismo desmedido del ser humano y peor aun a la falta de cultura ambiental que conlleva a la contaminación del planeta en sus diferentes ámbitos. Una de ellas y quizá la más importante, la contaminación de nuestros recursos hídricos. Todo ser vivo necesita del agua para vivir, no es coincidencia que se llame líquido vital ya que de ello nuestro cuerpo está constituido en un 72% y sin ella no se puede sobrevivir más de 6 días. Ahora bien, el agua no se puede consumir de cualquier fuente sin el proceso de potabilización correspondiente, debido a que sus características fisicoquímicas y microbiológicas no son las más adecuadas para nuestro organismo. Para esto, se requieren sustancias químicas comúnmente llamadas coagulantes o floculantes para remover impurezas de sustancias coloidales presentes en el agua y de esta forma prepararla para su posterior desinfección.

En la planta de tratamiento de aguas El Jardín de la ciudad de Neiva, se utilizan el sulfato de aluminio tipo B granulado (coagulante principal) y el hidroxiclorigenato de aluminio, PAC (como ayudante) para clarificar el agua que se distribuye en gran parte de la ciudad de Neiva. De manera puntual, con este proyecto de investigación, se plantea sustituir el coagulante principal por uno de mayor rendimiento, un coagulante que sea óptimo en aguas de alta y baja turbiedad, un coagulante que produzca floc lo suficientemente pesado para que la precipitación y el arrastre sea eficaz y elimine la mayor contaminación posible, un coagulante que no genere riesgo de aumento de aluminio residual ni cambios en el pH, un coagulante que no tenga tantas desventajas y que no sea un riesgo para la salud humana, de esta forma poder distribuir un líquido de mejor calidad sanitaria.

1. OBJETIVOS

General

- Identificar mediante ensayos de tratabilidad a escala de laboratorio los coagulantes: Mackenfloc I, II, III, y IV, Quinsafloc, sulfato de aluminio tipo B líquido e hidroxiclورو de aluminio (PAC), como posibles sustitutos del sulfato de aluminio tipo B granulado utilizado en la actualidad en el proceso de coagulación del agua en la planta de tratamiento El Jardín de la ciudad de Neiva.

Específicos

- Evaluar el comportamiento fisicoquímico de los siete coagulantes candidatos para el remplazo del sulfato de aluminio granulado tipo B de la planta de tratamiento El Jardín de la ciudad de Neiva, apoyados mediante un test de jarras.
- Realizar un estudio económico para la adquisición de los productos candidatos para el remplazo del sulfato de aluminio granulado tipo B.
- Establecer y comprobar mediante gráficos de Turbiedad Residual, color, pH y Aluminio residual frente a la dosis del coagulante aplicado, el desempeño de cada coagulante, utilizando como variable de referencia o control, el esquema del sulfato de aluminio tipo B granulado.
- Determinar con certeza la efectividad de cada producto coagulante de acuerdo a las medidas establecidas en la resolución 2115 de 2007 capítulo II características físicas y químicas del agua para consumo humano.

2. MARCO TEÓRICO

2.1 El Agua

De acuerdo con Erazo “Nuestro planeta está cubierto en sus tres cuartas partes de agua, el 70% de ésta la componen los mares y océanos; el restante porcentaje corresponde a aguas freáticas, ríos, nieves eternas, humedad del suelo; por lo que el agua dulce que sirve para nuestro consumo llega solo al 2.5% del total”¹. Por desgracia, así como se necesita este líquido vital para poder vivir, también se utiliza como vertedero de desperdicios ya sean sanitarios, industriales, radioactivos etc. Contaminando nuestras propias fuentes de abastecimiento, cambiando sus características fisicoquímicas y haciéndolas inapropiadas para el consumo humano. Dicho lo anterior, a continuación se presentaran las características fisicoquímicas, establecidas en la tabla 1, que se tienen en cuenta al momento de potabilizar el agua, como lo muestra Murillo².

Tabla 1. Características del Agua

Físicas	Turbiedad, Color, Olor, Sabor, Temperatura, Sólidos, Conductividad
Químicas	pH, Dureza, Acidez/ alcalinidad, Fosfatos, sulfatos, Fe, Mn, Cloruros, Oxígeno disuelto, Grasas y/o aceites, Amoníaco, Hg. Ag. Pb. Zn. Cr. Cu. B.Cd. Ba. As., Al Nitratos, Pesticidas, etc

Fuente: Murillo, D, 2011. Tabla tomada de:

<http://repositorio.utp.edu.co/tesisdigitales/texto/628161M977.pdf>

¹ ERAZO, Ana Lucia. Evaluación del comportamiento inicial del pino (*pinus radiata*) mediante la aplicación de retenedores de agua en tanlagua. san Antonio de pichincha: Universidad Técnica del Norte, 2011. p. 1.

² ARBOLEDA, J. Teoría y Práctica de la Purificación del Agua, citado por MURILLO, Diana. Análisis de la influencia de dos materias primas coagulantes en el aluminio residual del agua tratada. Pereira: Universidad Tecnológica de Pereira, 2011. p. 23.

2.1.1 Características físicas

2.1.1.1. Turbidez o Turbiedad

Los altos valores de turbidez en una muestra de agua se toman como signo de contaminación cuando hablamos de agua apta para el consumo humano. De acuerdo con el manual de análisis de agua de HACH “La turbidez está causada por sólidos suspendidos incluyendo limo, arcilla, algas y demás plánctones, microbios, materia orgánica y otras partículas delgadas insolubles en los medios de muestra”³. Lo cual origina que el paso de la luz se vea afectado por dichas partículas en suspensión.

Se mide en unidades nefelométricas de turbiedad UNT y su valor máximo aceptable es de 5.

2.1.1.2. Color Aparente

Desde la escuela se tiene la idea de que el agua es incolora, si en algún momento se llega a observar agua con cierta tonalidad es muy probable que no se beba, debido a que se sospecha que posee propiedades y material indeseable. El agua obtiene tonalidades por diferentes medios ya sea por aguas contaminadas de residuos industriales, sanitarios o por desechos orgánicos en descomposición etc.

El color aparente, se refiere al producto de suspensiones no naturales producto de lo mencionado con anterioridad, que interfiere con la calidad del agua. Para removerlo se utilizan sales de aluminio o de hierro trivalentes, dando como resultado la clarificación de la muestra de agua.

Según lo descrito por el Laboratorio de Ingeniería Sanitaria y Ambiental “La unidad de color es el color producido por un mg/L de platino, en la forma de ion cloroplatinato; y se denominan unidades de color en la escala Platino-Cobalto (UC Pt-Co).”⁴, en otras palabras se mide en unidades de platino cobalto UPC y el valor máximo aceptable es de 15.

2.1.1.3. Olor y Sabor

Estas dos características se encuentran íntimamente relacionadas. Generalmente el agua que se encuentra contaminada, tiende a tener colores pardos, rojizos, verdosos debido a compuestos húmicos, férricos o pigmentos de algas etc. respectivamente.

Cuando ya se encuentra agua contaminada como tal, se da por presencia de compuestos químicos como fenoles, hidrocarburos, cloruros, cloratos, desechos industriales, material orgánico en descomposición etc.

³ HACH, Company. Manual de análisis de agua. Loveland, Colorado. 2000. p. 66.

⁴ LABORATORIO DE INGENIERIA SANITARIA Y AMBIENTAL. Practicas de abastecimiento de agua potable y alcantarillado. Practica N° 1 características físicas. Ciudad de México: Universidad Nacional Autónoma de Mexico (UNAM). 2013. p. 2.

Según Trojan UV Factsheet “Las algas y las bacterias son las principales causas de problemas con el olor y el sabor del agua potable. Sin embargo, los vertidos químicos y de aguas residuales también generan productos químicos que pueden alterar el olor y el sabor, tanto en aguas superficiales como en aguas subterráneas”⁵.

Las unidades de medida para estos parámetros no existen, solamente si se detecta o no el olor y el sabor en la muestra de agua.

2.1.1.4. Temperatura

La temperatura es un aspecto muy importante en este proceso, pues el aumento de ella disminuye la solubilidad de gases (O_2) y aumenta en general la de las sales. La contaminación térmica es producida generalmente por industrias, centrales nucleares entre otras. De acuerdo con Murillo “La temperatura del agua varía según la región geográfica y el clima. En general, mientras no exceda los $30^{\circ}C$ no presenta un problema mayor”⁶.

2.1.1.5. Conductividad

La conductividad es la medida que tiene en este caso el cuerpo de agua para transmitir electricidad y varía de acuerdo con la cantidad de iones que contenga y el sitio por el cual transcurre la cuenca del río, así como lo estipula Goyenola quien dice que “La conductividad en los cuerpos de agua dulce se encuentra primariamente determinada por la geología del área a través de la cual fluye el agua”⁷

El agua pura tiene muy baja conductividad. La unidad de medida es el microsiemens/cm y el máximo valor permitido es de 1000 microsiemens/cm.

2.1.2 Características Químicas

2.1.2.1. pH

Se usa para determinar la concentración molar de iones hidrogeno [H^+] en una solución. De acuerdo con León, Caudillo, Méndez y Monroy “La concentración de iones H^+ indica el grado de acidez, o basicidad, de una disolución acuosa a $25^{\circ}C$ ”⁸. Generalmente, las aguas naturales poseen un pH ligeramente ácido debido

⁵ TROJAN UV FACTSHEET. Tratamiento de contaminantes medioambientales. Ontario. Canadá. 2008. p. 1.

⁶MURILLO, Diana. Análisis de la influencia de dos materias primas coagulantes en el aluminio residual del agua tratada. Pereira: Universidad Tecnológica de Pereira, 2011. p. 25.

⁷ GOYENOLA, Guillermo. Guía para la utilización de las Valijas Viajeras – Conductividad. Uruguay: Red MAPSA, 2007. p. 1.

⁸ LEÓN, R, CAUDILLO, R, MÉNDEZ, O y MONROY, R. El pH y sus efectos. México: Universidad Nacional Autónoma de México, (S.A). p. 2.

al dióxido de carbono, ácidos húmicos, ácidos sulfúricos etc. Que se depositan por procesos naturales.

Por el contrario, las aguas contaminadas tienden a ser muy ácidas, debido al vertimiento de material industrial o minero en los afluentes, de esta forma dificulta el proceso de los coagulantes en el tratamiento de agua.

El índice de potencial de hidrogeno debe estar entre 6.5 y 9 como máximo para consumo humano.

2.1.2.2. Aluminio Residual

Para determinar el aluminio residual, se pueden utilizar diferentes métodos. Pero el que se implementará en esta investigación, es uno muy particular que tiene que ver con la aplicación de una técnica presentada en kits de ensayo que contiene varios reactivos ya preparados para la determinación de aluminio residual. De acuerdo con laboratorios Merck

Los kits de ensayo con reactivos Spectroquant[®] contienen mezclas de reactivos preparadas y muy estables en un diseño fácil de usar. La selección del formato de cubeta más apropiado le facilita variar el rango de medida según lo necesite. Los reactivos vienen en forma líquida o en polvos, y se añaden a la muestra mediante un cuentagotas, una pipeta o una cucharilla graduada. Las excepcionales características de estos productos son un tiempo de validez extremadamente largo (hasta tres años) y eliminación de la necesidad de refrigeración⁹

Una vez se han determinado las características del kit de aluminio residual, se procede a seguir las instrucciones para la preparación la reacción pertinente que permita determinar el nivel de aluminio en la muestra. Para ello se siguen las instrucciones elaboradas por productos spectroquant¹⁰ donde dice que se prepara una muestra de 5,0 mL preferiblemente pipeteada en un tubo de ensayo. Posteriormente se adiciona una microcucharada de reactivo Al-1 y agitar vigorosamente hasta que el reactivo se haya disuelto completamente. Luego se añade con una pipeta 1,2 mL de reactivo Al-2 y se mezcla. Por último se añade 0,25 mL de Al-3 y se mezcla. Se deja en reposo durante 2 min con el fin de que la mezcla reaccione, luego introducir la muestra en la cubeta de medición y medir en el fotómetro.

2.1.2.3. Dureza

De acuerdo con Rodríguez y Rodríguez “El término dureza del agua se refiere a la cantidad de sales de calcio y magnesio disueltas en el agua. Estos minerales tienen su origen en las formaciones rocosas calcáreas, y pueden ser encontrados, en mayor o menor grado, en la mayoría de las aguas naturales”¹¹.

⁹ MERCK MILLIPORE. Spectroquant – ensayos. Colombia, 2013. p. 1.

¹⁰ SPECTROQUANT. Aluminio residual: técnica. En: Test aluminio. Alemania. 2008. p. 2.

¹¹ RODRÍGUEZ, Sergio y RODRÍGUEZ, Roberto. La dureza del agua. Argentina: Universidad Tecnológica Nacional, 2010. p. 6.

La dureza por lo general se expresa en miligramos de carbonato de calcio CaCO_3 .
Clasificación:

- 0 - 75 mg de CaCO_3/L blandas
- 75 - 150 mg de CaCO_3/L moderadamente duras
- 150 - 300 mg de CaCO_3/L duras
- 300 mg de CaCO_3/L muy duras

2.1.2.4. Alcalinidad Total

La alcalinidad total es la capacidad del agua para neutralizar ácidos, principalmente las sales provenientes de ácidos débiles como hidróxidos, carbonatos, bicarbonatos, fosfatos, silicatos, entre otros que aportan a la alcalinidad total.

Ahora bien, en el proceso de coagulación la alcalinidad es de suma importancia según los estipula Murillo donde dice que “En la coagulación química del agua, las sustancias usadas como coagulantes reaccionan para formar precipitados hidróxidos insolubles. Los iones H^+ originados reaccionan con la alcalinidad del agua y, por tanto, la alcalinidad actúa como buffer del agua en un intervalo de pH en el que el coagulante puede ser efectivo. Por consiguiente, para que ocurra una coagulación completa y efectiva es necesario un exceso de alcalinidad”¹².

La alcalinidad se determina mediante la titulación con un ácido fuerte y se emplean indicadores como el verde de bromocresol, fenolftaleína, anaranjado de metilo. Su unidad de medida es el mg/L de CaCO_3 .

2.2 HIDROGRAFÍA Y CARACTERÍSTICAS DEL RECURSO HÍDRICO.

La Cuenca Hidrográfica del Río Las Ceibas concentra el mayor interés en el departamento del Huila en primera instancia por ser la fuente abastecedora del acueducto de la ciudad de Neiva que alberga cerca del 30% de la población departamental, así como por el alto grado de deterioro ambiental, por las condiciones de amenaza que ofrece su régimen torrencial y por su elevada fragilidad, resultante de la fuerte intervención antrópica, lo que le imprime un componente de gestión del riesgo; adicionalmente, la cuenca del río Las Ceibas se encuentra, a nivel nacional, dentro de las fuentes hídricas más afectadas por contaminación de origen fecal, que superan los 2000 microorganismos/100 mL (NMP)” .

¹² MURILLO. Op. cit., p. 26.

2.2.1 Localización

La cuenca hidrográfica del Río Las Ceibas se localiza en el costado oriental de la ciudad de Neiva, sobre la vertiente occidental de la cordillera oriental, delimitada por accidentes geográficos muy definidos, que van desde las altas montañas, que dividen al municipio con el departamento del Caquetá, hasta su desembocadura en las aguas del río Magdalena, en un área aproximada de 29.968,14 Ha, representando el 18.3 % del municipio de Neiva. El río Las Ceibas, se constituye en la principal fuente hídrica de la ciudad de Neiva, de ella se abastece el acueducto municipal; su cauce principal nace en el cerro Santa Rosalía. La cuenca alcanza una altura máxima de 3.150

m.s.n.m. en los ecosistemas estratégicos de Santa Rosalía (costado nororiental de la cuenca) y La Siberia. La cota más baja esta a una altura de 430 m.s.n.m. que coincide con la zona urbana de la ciudad de Neiva.

La Cuenca presenta una forma de pera en la parte alta y media-alta y una forma rectangular en la parte baja y media, la cual posee una dirección Este – Oeste, recorre inicialmente una zona de relieve muy escarpado sobre la cordillera oriental, pasando luego por un sector ondulado en su parte media, para finalmente presentar una topografía casi plana. La cuenca hidrográfica del Río Las Ceibas, limita por el Norte con la subcuenca del Río Fortalecillas, mediante las lomas de Santa Rita, cerros de San Antonio, San Miguel y Yucales. Por el sur, con el cerro Neiva, cuchillas de San Bartolo, Motilón y divisorias de aguas de la microcuenca del Río Loro. Por el oriente, con la subcuenca del Río Balsillas, mediante la cuchilla el refugio, que separa los departamentos del Huila y Caquetá.

2.2.2 Geología

Desde el punto de vista regional, el área de la cuenca del río Las Ceibas corresponde a tres bloques principales: el Valle de Magdalena dominado por rocas sedimentarias suave a moderadamente plegadas; el flanco bajo de la Cordillera Oriental dominado por rocas sedimentarias terciarias a cretácicas moderada a fuertemente plegadas en el Sinclinal de San Antonio; y la zona alta caracterizada por rocas ígneo-metamórficas altamente fracturadas del Macizo de Garzón.

2.2.3 Climatología de la cuenca

El clima que se da en la cuenca del río Ceibas está determinado principalmente por la ubicación del área en la zona tropical bajo la influencia de la Zona de Convergencia Intertropical, su localización en la vertiente occidental de la Cordillera Oriental y la altitud sobre el nivel del mar de diferentes sectores de la cuenca. La localización de la cuenca en la vertiente occidental de la Cordillera Oriental configura una exposición particular de la cuenca a los alisios, que la ubican casi permanentemente en sotavento bajo la influencia de la parte seca de

un efecto föhn³, que se manifiesta en las altas temperaturas, en particular en la parte baja de la cuenca, y precipitaciones relativamente bajas, por lo que los pisos climáticos que se encuentran en la cuenca generalmente pertenecen a la categoría de seco. Esto explica el por qué dentro de la cuenca los acumulados anuales no sobrepasan los 2.000 mm (en la parte alta) en comparación con el extremo suroriental de la cuenca donde sobrepasan los 3.000 mm Otro aspecto a resaltar del clima de la región es que dada la ubicación de la cuenca en relación con el valle del río Magdalena, la frecuencia de la circulación-valle montaña y montaña-valle (debido al calentamiento que se presenta principalmente por el calentamiento en la parte baja de la cuenca) podría jugar un papel importante en determinadas épocas del año y generar precipitaciones abundantes en la parte alta de la cuenca.

2.3 PROCESO DE POTABILIZACIÓN DEL AGUA EN LA CIUDAD.

En la actualidad, la ciudad de Neiva ha tenido un crecimiento exponencial, no solo en el ámbito económico sino también en la parte poblacional. De acuerdo con lo anterior, las Empresas Públicas de Neiva buscan garantizar el servicio de agua potable para todos los rincones de la ciudad de Neiva.

De acuerdo con Romero, el significado de agua potable es el siguiente:

Se denomina agua potable al agua "bebible" en el sentido que puede ser consumida por personas y animales sin riesgo de contraer enfermedades. El término se aplica al agua que ha sido tratada para su consumo humano según unos estándares de calidad determinados por las autoridades locales e internacionales. Al proceso de conversión de agua común en agua potable se le denomina potabilización, el cual suele consistir en un *stripping* de los compuestos volátiles seguido de la precipitación de impurezas con floculantes, filtración y desinfección con cloro u ozono.¹³

Teniendo en cuenta lo anterior, no se puede utilizar el agua que llega de la fuente (en este caso de la cuenca hidrográfica río las Ceibas) directamente, sin antes realizar el debido proceso, esto con el fin de garantizar a los habitantes de la ciudad de Neiva que el agua que van a consumir es de calidad y no una fuente de contaminación.

2.3.1 PROCESOS PARA LA POTABILIZACIÓN DEL AGUA

Como su nombre lo indica, a continuación se presentan los procesos que se deben efectuar al momento de potabilizar el agua. Pero antes, Castrillón y Giraldo plantean que:

¹³ ROMERO, Mynor. Tratamiento utilizado en potabilización de agua. Vista hermosa III, Guatemala: Universidad Rafael Landívar, 2009. p. 2.

Para lograr la potabilización de agua es preciso someter a la misma a varios tratamientos elementales, que comprenden la clarificación, desinfección y acondicionamiento químico y organoléptico. De este modo la clarificación incluye la coagulación – floculación, proceso mediante el cual las partículas presentes en el agua se aglomeran formando pequeñas masas que presentan un peso específico mayor que el del agua, de esta forma las partículas sedimentan y permiten que el agua alcance las características idóneas para el consumo humano¹⁴

Dicho lo anterior, el agua, una vez captada de su fuente natural a través de una bocatoma conducida por un canal, donde se experimenta un proceso de liberación de materiales sólidos de tamaño considerable, llega a la planta de tratamiento, donde es sometida en una serie de procesos descritos a continuación.

2.3.1.1. Coagulación

La coagulación, es el primer paso en el proceso de potabilización del agua y se entiende como la desestabilización de las moléculas contaminantes (no sedimentables) a partir de agentes químicos llamados coagulantes. Consta de 5 pasos o etapas fundamentales, según lo menciona Vázquez en su trabajo:

1. Hidrólisis de los coagulantes y desestabilización de las partículas existentes en la suspensión.
2. Precipitación y formación de compuestos que se polimerizan.
3. Adsorción de las cadenas poliméricas en la superficie de los coloides
4. Adsorción mutua entre coloides.
5. Acción de barrido y precipitación¹⁵.

Las aguas no tratadas, son un foco de contaminación para la salud pública ya que contienen sólidos no sedimentables los cuales según Murillo se dividen en 3 tipos:

Suspendidos, coloidales y disueltos. Los sólidos suspendidos son transportados gracias a la acción de arrastre y soporte del movimiento del agua; los más pequeños (menos de 0.01mm) no sedimentan rápidamente y se consideran sólidos no sedimentables, y los más grandes (mayores de 0.01mm) son generalmente sedimentables.

Los sólidos coloidales consisten en limo fino, bacterias, partículas causantes de color, virus, etc., los cuales no sedimentan sino después de periodos

¹⁴ CASTRILLÓN, D y GIRALDO, M. Determinación de las dosis óptimas del coagulante sulfato de aluminio granulado tipo b en función de la turbiedad y el color para la potabilización del agua en la planta de tratamiento de villa santana. Pereira: Universidad tecnológica de Pereira, 2012. p. 12.

¹⁵ VÁZQUEZ, Osvaldo. Extracción de coagulantes naturales del nopal y aplicación en la clarificación de aguas superficiales. Nuevo león, Monterrey: Universidad Autónoma de nuevo León, 1994. p. 26.

razonables, y su efecto global se traduce en el color y la turbiedad de aguas sedimentadas sin coagulación. Los sólidos disueltos, materia orgánica e inorgánica, son invisibles por separado, no son sedimentables y globalmente causan diferentes problemas de olor, sabor, color y salud, a menos que sean precipitados y removidos mediante métodos físicos y químicos¹⁶.

Ahora bien, en caso de no utilizar los coagulantes para la remoción de estas partículas, se tardaría una eternidad para esperar la precipitación por sedimentación simple. A continuación, se presenta La tabla 2, donde explica Londoño¹⁷ el tiempo estimado de sedimentación simple por partícula no sedimentable.

Tabla 2. Tamaño de partícula, área superficial y tiempo de sedimentación.

Diámetro de partícula mm.	Escala de tamaño.	Área superficial.	Tiempo de sedimentación.
10	Grava	3,15 Cm ²	0,3 s
1	Arena Fina	31,50Cm ²	3 s
0,1	Arena Gruesa	315,00Cm ²	38 s
0,01	Sedimento	3150,00 Cm ²	33 min
0,001	Bacteria	3,15 m ²	55 h
0,0001	Partícula Coloidal	31,50 m ²	230 días
0,00001	Partícula Coloidal	0,83 Ha	6,3 años
0,000001	Partícula Coloidal	2,83Ha	63 años

Fuente: Londoño, A, 2012. Tabla tomada de: http://www.virtual.unal.edu.co/cursos/sedes/manizales/4090020/files/pdf/cap_1+.pdf

De acuerdo con lo anterior, los coagulantes se utilizan para incrementar rápidamente el tamaño de aquellas partículas no sedimentables mediante la formación de floc, ya que según Garcés “las impurezas coloidales presentan una

¹⁶ MURILLO. Op. Cit., p. 30.

¹⁷ LONDOÑO, Adela. Línea de profundización I: Ambiental. Fundamentos sobre química ambiental. Capítulo I el agua. Manizales: Universidad nacional de Colombia sede Manizales, 2012. p. 12.

carga superficial negativa, que impide que las partículas se aproximen unas a otras y que las lleva a permanecer en un medio que favorece su estabilidad”¹⁸. Allí es donde entra a trabajar el coagulante (generalmente sales de aluminio o de hierro), ya que por estar cargado positivamente neutraliza las cargas lo que ayuda a que las partículas se acerquen y formen una partícula de mayor tamaño llamado floc y este a su vez se precipita por sedimentación simple aclarando de esta forma el agua de impurezas. Ahora bien, es necesario tener en cuenta que para cada valor de turbiedad se necesita una dosificación diferente y si no se aplica lo necesario se puede afectar el proceso, como lo plantea Restrepo M. donde dice que “En la adición de coagulante debe tenerse en cuenta que para cada valor de turbiedad existe una dosificación óptima que produce el agua más clara posible. Si se adiciona menos de esta dosis, las cargas que se agregan no son suficientes para producir una buena coagulación, y por ende, una buena clarificación. A su vez, por encima de la dosificación óptima el exceso de cargas positivas produce una dispersión de las partículas, que enturbia el agua”¹⁹.

Para los procesos de potabilización de agua se emplean dos tipos de coagulantes:

- **Polielectrolitos:** Un polielectrolito, es un polímero que se disocia en especies cargadas en solución denominadas macroiones, las cuales están formadas por grupos iónicos de monómeros (unidades básicas) unidas por enlaces covalentes que se repiten.
- **Coagulantes Metálicos:** Llamados así por la presencia de iones metálicos en su estructura. Se clasifican en tres tipos. Sales de aluminio, sales de hierro y compuestos varios. Históricamente se han empleado este tipo de sustancias en la clarificación del agua debido a que sirven como coagulantes-floculantes simultáneamente, su bajo costo y su fácil manejo.

En este proyecto se trabajara con los siguientes coagulantes:

- **Mackenfloc I, II, III, IV.**²⁰²¹²²²³

¹⁸ GARCÉS, Rosa. Obtención de la mínima dosis de reemplazo de policloruro de aluminio en aguas y aguas de Pereira. Pereira: Universidad Tecnológica de Pereira, 2010. p. 26.

¹⁹ RESTREPO, María. Empresas municipales de Cali EMCALI E.I.C.E E.S.P prueba de jarras. Cali. Empresas municipales de Cali (EMCALI), 1999. p. 4.

(*) ROJAS, Cesar. Química integrada S.A. Quinsa. Aipe, Huila. Observación inédita, 2012.

²⁰ QUIMICA INTEGRADA S.A. QUINSA. Mackenfloc I. Aipe, Huila. 2012.p. 1.

²¹ QUIMICA INTEGRADA S.A. QUINSA. Mackenfloc II. Op. Cit. p. 1.

²² QUIMICA INTEGRADA S.A. QUINSA. Mackenfloc III. Op. Cit. p. 1.

²³ QUIMICA INTEGRADA S.A. QUINSA. Mackenfloc IV. Op. Cit. p. 1.

El ingeniero Cesar Rojas (*) señala que estos son productos formulados y balanceados de forma estequiométrica a partir de mezclas de sales inorgánicas con sales orgánicas, se conocen como “blends” o “mix” y en muchos países están incluidos dentro de la generación de los “coagulantes inteligentes” o coagulantes de última generación. Son coagulantes líquidos, cada uno con una particularidad especial de formulación de acuerdo con los parámetros físico-químicos contenidos en el agua que se requieren remover, como los que presenta la fuente del río Las Ceibas.

Características:

- ✓ Es un coagulante líquido, color ámbar, miscible con agua, formulado con base en sales de hierro y aluminio.
- ✓ Es un excelente coagulante en el tratamiento de aguas potables, residuales. Debido a su poder oxidante remueve materia orgánica, reduce la DBO, color orgánico, metales pesados.
- ✓ Logra mayores velocidades de decantación, debido a la relación entre las sales de hierro y aluminio.
- ✓ Posee una buena capacidad floculante, con la formación de flóculos de tamaño considerable y uniforme, que decantan con mayor rapidez dejando una turbiedad residual más baja que los tratamientos con productos con rangos similares de alúmina.
- ✓ Debido a su mayor velocidad de sedimentación genera un aumento en las carreras de filtración.
- ✓ Puede ser empleado en un campo de pH comprendido entre 5 y 9.

Aplicaciones:

Mackenfloc puede ser empleado en todo tipo de aguas donde sea necesaria una floculación rápida y eficaz, como:

- ✓ Tratamiento de aguas superficiales: Para la obtención de agua potable o de uso industrial.
- ✓ Tratamiento de aguas residuales: Procedentes de industrias de alimentos, siderúrgicas, papeleras, petroleras, industria de lácteos, curtiembres, aguas domésticas, etc. para hacer posible su posterior reciclaje o vertimiento.

Las Especificaciones técnicas de las diferentes variedades de Mackenfloc se muestran en la tabla 3

Tabla 3. Propiedades Mackenfloc I, II, III, IV.

Propiedades	Mackenfloc I	Mackenfloc II	Mackenfloc III	Mackenfloc IV
--------------------	---------------------	----------------------	-----------------------	----------------------

Contenido activo (Al ₂ O ₃ + Polielectrolito)	18,0% min.	25,0% mín.	27,0% mín	30,0% mín
Densidad (30°C)	1.30 g/mL min.	1,30 g/ml mín.	1,28 g/ml mín	1,26 g/ml mín
Apariencia	Ámbar oscuro	marrón oscuro	marrón oscuro	marrón oscuro

Beneficios:

- ✓ Rápida acción y fuerte poder de coagulación y floculación.
- ✓ Aplicable a cualquier tipo de agua
- ✓ Aplicable en un amplio campo de pH del agua.
- ✓ Eficaz en aguas con altos contenidos de materia orgánica.

- **Quinsafloc²⁴**

Características:

- ✓ Es un coagulante floculante líquido, color ámbar, miscible con agua, formulado con base en policlorosulfato básico de aluminio.
- ✓ Durante el proceso de coagulación presenta un doble mecanismo de acción; por un lado actúa conforme al mecanismo clásico de los “coagulantes minerales” y por otro lado actúa en forma semejante a los “polielectrolitos orgánicos” produciendo de esta forma una interacción mutua entre los polímeros de aluminio y los coloides.
- ✓ Es un excelente coagulante y floculante en el tratamiento de aguas, hasta el punto que su eficacia floculante si se compara con otros productos que tengan la misma cantidad de Al₂O₃ es entre 1.5 y 2.0 veces mayor.
- ✓ Logra mayores velocidades de decantación de los flóculos, lo que permite aumentar la capacidad de decantación de los sistemas ya instalados o en su caso reducir el coste de las instalaciones nuevas para una misma capacidad de floculación.
- ✓ Posee una buena capacidad floculante, con la formación de flóculos de tamaño considerable y uniforme, que decantan con mayor rapidez dejando una turbiedad residual más baja que los tratamientos con productos con rangos similares de alúmina. Por lo tanto, evita exceso o sobredosificación e incremento en aluminio residual.
- ✓ Debido a su mayor velocidad de sedimentación genera un aumento en las carreras de filtración.
- ✓ Puede ser empleado en un campo de pH entre 5 y 9.

Aplicaciones:

²⁴ QUIMICA INTEGRADA S.A. QUINSA. Quinsafloc. Op. Cit. p. 1.

Puede ser empleado en todo tipo de guas donde se requiera una floculación rápida y eficaz, como:

- ✓ Aguas de piscinas
- ✓ Tratamiento de aguas superficiales: Para la obtención de agua potable o de uso industrial.
- ✓ Tratamiento de aguas residuales: Procedentes de industrias de alimentos, siderúrgicas, papeleras, petroleras, etc. para hacer posible su posterior reciclaje.

Las Especificaciones técnicas del producto QUINSAFLOC se muestran en la tabla 4.

Tabla 4. Propiedades Quinsafloc

Al ₂ O ₃	9.5 % min.
Densidad (30°C)	1.23 min.
Sulfatos	2.0 +/- 0.1%
Cloruros	10 +/- 0.5%
pH (30°C)	2.7 – 3.5
Apariencia	Ámbar

Beneficios:

- ✓ Rápida acción y fuerte poder de coagulación y floculación.
- ✓ Aplicable a cualquier tipo de agua
- ✓ Aplicable en un amplio campo de pH del agua.
- ✓ Eficacia independiente de la temperatura del agua.

- **Policloruro de Aluminio (PAC)²⁵**

Es un derivado líquido polinuclear de aluminio líquido (hidroxicloruro de aluminio, PAC) que se desempeña efectivamente como coagulante inorgánico para aguas tanto potables como residuales.

Ventajas:

²⁵ QUIMICA INTEGRADA S.A. QUINSA. Policloruro de aluminio. Op. Cit. p. 1.

- ✓ Económico, efectivo a dosis bajas.
- ✓ No altera el pH del sistema.
- ✓ Bajo volumen de lodos
- ✓ Fácil de dosificar y manejar
- ✓ Trabaja en un rango amplio de pH
- ✓ Alta velocidad de sedimentación
- ✓ Mayor carrera de filtros
- ✓ No requiere el uso de alcalinizantes

Las Especificaciones técnicas del producto químico se muestran en la tabla 5.

Tabla 5. Propiedades Hidroxicloruro de aluminio (PAC)

Apariencia	Líquido Ambar
Acidez %	12.0 +/- 0.5
Al ₂ O ₃ %	18 - 24
Hierro (1%)	0.022 max.
pH al 1%	4.0 – 5.0
Densidad	1.30 – 1.40 g/mL
Solubilidad	Completa en agua
Vencimiento	12 meses

Uso del producto:

Empleado como coagulante-floculante en clarificación para condiciones de alta turbiedad sin disminuir el pH.

- **Sulfato de Aluminio Líquido tipo B**²⁶

Producto obtenido generalmente por la reacción entre el ácido sulfúrico y una materia prima rica en aluminio como la bauxita.

Uso del Producto:

Es un coagulante que tiene como fin principal el tratamiento de aguas para consumo humano y residual, removiendo agentes contaminantes como turbiedad y olor. En aguas superficiales se destaca en clarificación para turbiedades bajas y medias (hasta 400Ntu aproximadamente.).

Las Especificaciones técnicas del producto se muestran en la tabla 6.

Tabla 6. Propiedades Sulfato de Aluminio Líquido tipo B

Al ₂ O ₃	7.3%
Hierro como Fe ₂ O ₃	1.2%
Materia insoluble máximo	0.1%
Densidad	1.320 – 1.325 g/mL
Basicidad como Al ₂ O ₃	0.015%

²⁶ QUIMICA INTEGRADA S.A. QUINSA. Sulfato de aluminio líquido tipo B. Op. Cit. p. 1.

- **Sulfato de Aluminio Granulado Tipo B²⁷**

Por último se encuentra el sulfato de aluminio granulado tipo B el cual se está utilizando actualmente en la planta de tratamiento de aguas El Jardín de la ciudad de Neiva. Este producto tiene características similares al anterior lo único que varía son sus especificaciones técnicas.

Especificaciones técnicas:

Tabla 7. Propiedades Sulfato de Aluminio Granulado tipo B

Al ₂ O ₃	15.2%
Hierro como Fe ₂ O ₃	2.0%
Materia insoluble max.	8.0%
Basicidad como Al ₂ O ₃	0.085%

A nivel molecular el sulfato de aluminio reacciona de la siguiente manera de acuerdo con Murillo, D. donde especifica escrita y gráficamente lo siguiente:

Cuando se añaden soluciones de sulfato de aluminio al agua, las moléculas se disocian en Al⁺³ y SO₄⁻². El Al⁺³ puede combinarse con coloides cargados negativamente para neutralizar parte de la carga de la partícula coloidal.

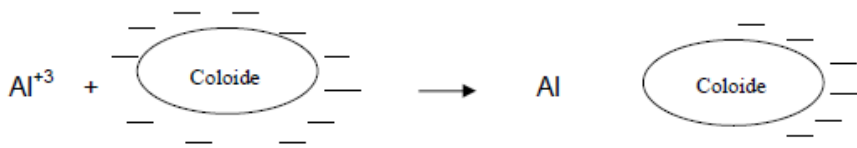


Figura 1. Principio de floculación

Fuente: Murillo, D. 2011. Imagen tomada de: <http://repositorio.utp.edu.co/tesisdigitales/texto/628161M977.pdf>.

El Al⁺³ puede también combinarse con los OH⁻ del agua para formar hidróxido de aluminio.



y,



²⁷ QUIMICA INTEGRADA S.A. QUINSA. Sulfato de aluminio granulado tipo B. Op. Cit. p. 1.

Este hidróxido de aluminio es de carácter coloidal, ya que absorbe iones positivos en solución para formar un sol cargado positivamente. Dicho sol neutraliza la carga de los coloides negativos y ayuda a completar la aglomeración.

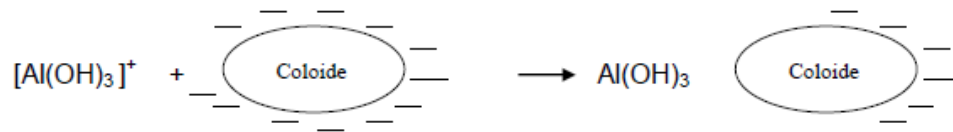
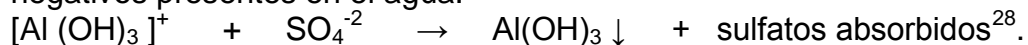


Figura 2 Finalización de la floculación

Fuente: Murillo, D. 2011. Imagen tomada de: <http://repositorio.utp.edu.co/tesisdigitales/texto/628161M977.pdf>.

Casi siempre se forma un exceso de solución de hidróxido de aluminio y su destrucción y precipitación se logra mediante los iones sulfato y otros iones negativos presentes en el agua.



De esta manera los sólidos no sedimentables se aglomeran en una partícula de mayor peso lo cual permite que se precipite por sedimentación simple. Es importante resaltar que este proceso se realiza en un tiempo que es llamado mezcla rápida con el fin que el coagulante (sulfato de aluminio) forme una mezcla homogénea en todo el cuerpo de agua permitiendo así una mayor efectividad.

2.3.1.2. Floculación

Floculación es el proceso que sucede inmediatamente después de terminar el proceso de coagulación. Consiste en la acumulación de aquellas partículas (microflóculos) las cuales fueron desestabilizadas por el agente coagulante, formando una partícula de mayor peso (floc o flóculo), permitiendo así que precipite por sedimentación simple de manera más rápida.

Es necesario tener en cuenta que para una buena floculación, se necesita de una buena coagulación, de esta manera, se arrastra la mayor cantidad posible de sólidos no sedimentables clarificando el agua de forma óptima. Otra observación es, que para producir la adherencia entre microflóculos, se necesita que el movimiento del agua sea lento a diferencia del proceso de coagulación que debía ser rápido y que dichas partículas, tengan un buen grado de desestabilización, esto con el fin de que los flóculos formados sean estables de tal manera que no se dispersen por el cuerpo de agua influyendo en la calidad de la misma.

De acuerdo con Restrepo H.

²⁸ MURILLO, Diana. Análisis de la influencia de dos materias primas coagulantes en el aluminio residual del agua tratada. Pereira: Universidad Tecnológica de Pereira, 2011. p. 36.

Los contactos pueden ser realizados por dos modos distintos, para facilitar el proceso de floculación en la potabilización del agua:

- Floculación Pericinética: Contactos por bombardeo de las partículas producidos por el movimiento de las moléculas del líquido (movimiento browniano) que sólo influye en partículas de tamaños menores a un micrón. Sólo actúa al comienzo del proceso, en los primeros 6 a 10 s y es independiente del tamaño de la partícula.
- Floculación Ortocinética: Contactos por turbulencia del líquido, esta turbulencia causa el movimiento de las partículas a diferentes velocidades y direcciones, lo cual aumenta notablemente la probabilidad de colisión. Efectivo sólo con partículas mayores a un micrón. Actúa durante el resto del proceso, de 20 a 30 min²⁹

2.3.1.3. Decantación o Sedimentación

Una vez se ha realizado la adición del coagulante, la mezcla rápida y el proceso de floculación, el paso a seguir es la sedimentación, la cual consiste en remover el material formado (floc) por acción de la gravedad. Para esto, se requiere que la velocidad del agua disminuya considerablemente con el fin, que las partículas se precipiten y atrapen otras por acción de barrido clarificando el agua. De no ser así, las partículas no se sedimentaran y la calidad del agua no será óptima. Este proceso se lleva a cabo en decantadores.

La sedimentación es un proceso donde el agua es preparada para su posterior filtración, de acuerdo a como se realicen los pasos anteriores así mismo será la filtración. Por ello es necesario tener en cuenta lo mencionado por El Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente (OPS/CEPIS) donde dicen que “En consecuencia, para tener una decantación perfecta, se deben tomar las siguientes precauciones: Correcta aplicación de coagulantes al pH óptimo (incluye la aplicación de alcalinizante, en caso de que sea necesario); Mezcla rápida eficaz; Mezcla lenta suficiente para producir buenos flóculos, grandes y pesados; Limpieza rutinaria de los decantadores”³⁰.

De esta forma, el agua resultante tendrá una buena calidad al momento de pasar al proceso de filtración y posterior desinfección.

2.3.1.4. Filtración

Luego de pasar por los decantadores, el cuerpo de agua se dispone a ser filtrada. Este proceso consiste en hacer pasar el agua proveniente de la sedimentación por medio de materiales porosos los cuales se muestran en la figura 3.

²⁹ RESTREPO, Hernán. Evaluación del proceso de coagulación – floculación de una planta de tratamiento de agua potable. Medellín: Universidad Nacional de Colombia sede Medellín, 2009. p. 11.

³⁰ EL CENTRO PANAMERICANO DE INGENIERÍA SANITARIA Y CIENCIAS DEL AMBIENTE (OPS/CEPIS). Operación y Mantenimiento de plantas de tratamiento de agua. Capítulo 8 tratamiento de aguas. Lima: Secretaria de Servicio de Obras Públicas, 2002. p. 445.

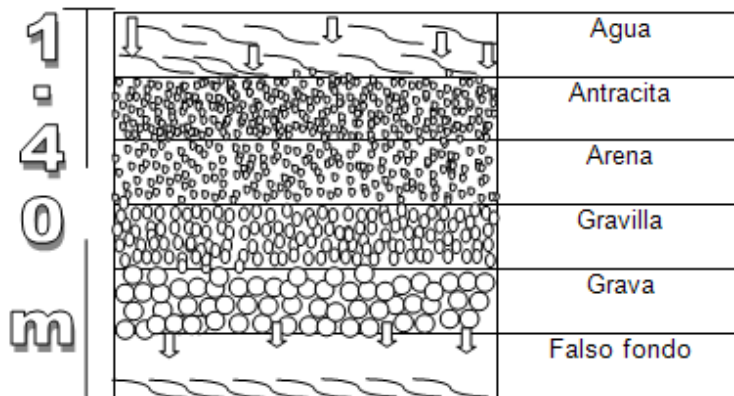


Figura 3 Modelo de Filtro

Fuente: Elaboración propia

De esta forma se representa el proceso de filtración que sucede en la naturaleza, permitiendo que el agua a medida que va descendiendo por los diferentes niveles se vaya librando de impurezas como lo plantea El Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente (OPS/CEPIS) donde se afirma que, “con el paso del agua a través de material poroso se produce lo siguiente:

- La remoción de materiales en suspensión y sustancias coloidales;
- La reducción de las bacterias presentes;
- La alteración de las características del agua, inclusive de sus características químicas.”³¹

Aunque el filtro posee diversos materiales en su haber, quizás el más importante de ellos es la antracita o también denominado carbón activado, pues dicho material, como dice Vera³², ha sido aceptado por la comunidad mundial ya que ayuda a la eliminación de olores y colores por un módico precio, lo cual genera agua de mejor calidad.

Cabe resaltar que este proceso se realiza gracias al efecto de la gravedad que le permite al agua atravesar cada una de las capas del filtro, hasta llegar al falso fondo donde se conduce el agua hasta la galería de conductos para ser almacenada y posteriormente desinfectada para repartirla a los habitantes de gran parte de la ciudad de Neiva.

2.3.1.5. Desinfección

La desinfección es el procedimiento que se realiza posterior a la clarificación del agua y se define, de acuerdo con el ras 2000, como “Proceso físico o químico que

³¹ Ibid., p. 448.

³² VERA, Nancy. Alternativas de potabilización para el agua que abastecerá a la ampliación del aeropuerto internacional de la Ciudad de México. Ciudad de México. Instituto Politécnico Nacional, 2007. p. 26.

permite la eliminación o destrucción de los organismos patógenos presentes en el agua”³³.

Este proceso, según Servicios de Aguas de Misiones S.A. (SAMSA), consiste en “La inyección de cloro que permite destruir los últimos microorganismos que aún podrían encontrarse presentes en el agua. Con este proceso se consigue desinfectarla, prevenir contaminación en las redes de distribución y además servir como indicador de calidad. En efecto, este proceso final de desinfección del agua permite asegurar su calidad sanitaria”³⁴.

2.4 Prueba o Test de Jarras

Una vez realizados los procesos y/o ajustes anteriormente mencionados en la planta, se prosigue como primera medida, llevar a cabo un modelo a baja escala, donde se permita caracterizar las condiciones fisicoquímicas ideales requeridas para contar con un agua de calidad, apta para el consumo. Para ello, se cuenta con la prueba o test de jarras, la cual permite recrear en el laboratorio los procesos a los cuales está sometido el agua en una planta de tratamiento, de tal manera que permita evaluar sin contratiempos y sin riesgos para la salud pública, la variación de los parámetros, como tipos de coagulantes, solos o en combinación, dosis óptima, etc. Así como lo muestra Restrepo M. donde:

La prueba de jarras se usa para:

Evaluar, determinar y optimizar las variables químicas del proceso de coagulación y/o floculación, esto es, medir el desempeño de uno o varios productos químicos dados, coagulante, floculante, etc., y encontrar la dosificación adecuada, tanto en términos de calidad final del agua obtenida, como en términos económicos.

Determinar la concentración de la solución de coagulante más apropiada para utilizar en la planta.

Encontrar el punto o etapa de dosificación adecuado para el producto que se ensaya.

Evaluar y comparar el desempeño de una combinación de productos frente a: Forma y secuencia de dosificación óptima de cada uno de ellos.

Punto o etapa ideal de dosificación.

Influencia en el proceso de la concentración de los químicos dosificados.

Determinación del pH óptimo de coagulación.

En operación, tomar decisiones rápidas sobre la dosificación de químicos a utilizar de acuerdo a las variaciones en la calidad del agua cruda.

Evaluar los efectos de modificaciones en las condiciones de operación de la planta sobre el proceso de clarificación³⁵.

³³ COLOMBIA. DIRECCIÓN DE AGUA POTABLE Y SANEAMIENTO BÁSICO. Reglamento técnico del sector de agua potable y saneamiento básico ras 2000. Bogotá D.C., 2000. p. 27.

³⁴ SERVICIOS DE AGUAS DE MISIONES S.A. (SAMSA). Proceso de potabilización del agua. Posadas. Argentina, 2009.p. 6.

³⁵ RESTREPO, María. Empresas municipales de Cali EMCALI E.I.C.E E.S.P prueba de jarras. Cali. Empresas municipales de Cali (EMCALI), 1999. p. 1.

Para la realización de esta prueba, se requiere de equipo especializado, como jarras de 1L o de 2L. El más importante es el denominado floc-tester, el cual consta con 6 zonas de agitadoras generalmente, equipado con 6 paletas interconectadas a un regulador de velocidad, lo que permite tener la misma agitación en los 6 recipientes. También consta de una lámpara ubicada bien puede ser debajo o en el centro del equipo como columna, lo que permite identificar con claridad las muestras.

En la prueba de jarras se simula, como se dijo con anterioridad, los procesos que se ejecutan en una planta de tratamiento los cuales son: Coagulación; Floculación y Sedimentación.

Para iniciar, se mide la misma cantidad de agua para cada uno de los 6 recipientes, teniendo en cuenta en haber medido anticipadamente algunos parámetros básicos como temperatura, alcalinidad, pH, color, turbiedad etc. Luego, en cada jarra se adiciona una dosis de agente coagulante que aumenta gradualmente y en la misma proporción respecto a la jarra anterior. Es necesario ser precavido al momento de agregar estas dosificaciones, tratando que sea lo más rápido y de ser posible de manera simultánea para cada recipiente, de tal forma que los resultados sean más precisos evitando inconvenientes.

Luego de ser añadido el coagulante, se inicia la primera fase de coagulación, la cual se explico con anterioridad, pretende desestabilizar las cargas negativas de los sólidos no sedimentables (suspendidos, coloidales y disueltos) para posibilitar su acercamiento y posteriormente generar moléculas de mayor peso llamadas flóculos (floc). De acuerdo con Restrepo M. "En la simulación en prueba de jarras la coagulación usualmente se lleva a cabo con una velocidad de agitación entre 100 y 200 R.P.M., por un período de 1 a 2 minutos. La elección del tiempo y la velocidad de agitación dependen de una cuidadosa observación de las condiciones y gradientes de velocidad reales que se tienen en la planta"³⁶.

Una vez se ha realizado el proceso de coagulación, se continúa con la etapa de floculación, donde las partículas que se están formando chocan entre sí generando aglomeraciones y dando paso a partículas de mayor peso específico, las cuales tienden a sedimentarse rápidamente por acción de la gravedad. En este paso, Restrepo M. afirma que "En la prueba de jarras, la floculación se realiza durante 10 a 30 minutos, con una agitación de 10 a 60 R.P.M"³⁷ siendo cuidadosos de no agitar con severidad para no dañar los flóculos formados esparciéndolos por el cuerpo de agua.

Por último y no menos importante viene la etapa de la sedimentación o decantación. En esta etapa, las partículas aglomeradas tienen mayor peso específico lo cual ayuda a la precipitación de las mismas generando una acción de barrido, lo cual arrastra a las partículas circundantes hasta el fondo del recipiente, clarificando el agua.

³⁶ Ibid., p. 6.

³⁷ Ibid., p.10.

En esta parte del proceso según Restrepo M. “En la prueba de jarras, usualmente la etapa de sedimentación toma entre 10 y 15 minutos, sin agitación alguna, naturalmente.”³⁸

2.3.1 Análisis Físicoquímicos

Después de transcurrido el tiempo, se procede a tomar muestras de cada una de las jarras, succionando el agua de la parte superior (a no más de 5 cm de la superficie del agua, la misma medida para cada jarra), esto con el fin de evitar al máximo el ingresos de material sedimentado en la muestra. Luego, se procede a realizar las pruebas correspondientes al análisis de la muestra de agua (Turbiedad, color, pH, alcalinidad, temperatura).

Por último y para contrastar los datos obtenidos, se realiza una gráfica de Turbiedad residual Vs Dosis de coagulante aplicada. La gráfica siguiente fue realizada por SILICATOS Y DERIVADOS S.A. DE C.V.³⁹ Con el fin de expresar esquemáticamente el comportamiento del coagulante durante el tratamiento de la muestra de agua.

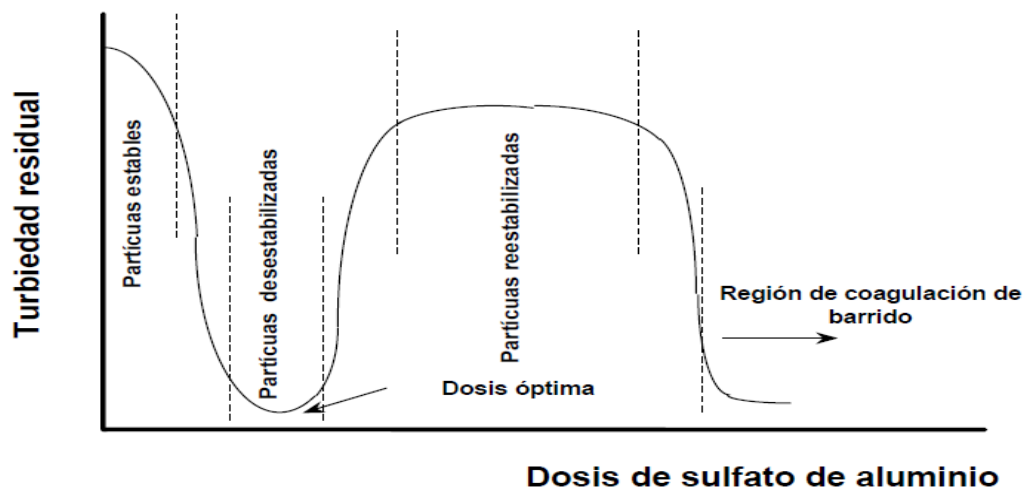


Figura 4 Modelo de gráfica Turbiedad residual Vs Dosis de coagulante

Fuente: SILICATOS Y DERIVADOS S.A. DE C.V..2012. Imagen tomada de: <http://www.aniq.org.mx/pqta/pdf/Sulfato%20de%20aluminio%20SIDESA.pdf>

La Figura 2.4. Expresa la manera como el sulfato de aluminio tipo b actúa en la desestabilización de las partículas a sedimentar lo cual permite encontrar el punto donde se produzca la turbiedad remanente mínima de tal manera que esta sería la dosis óptima.

Andía, Y. divide este gráfico en 4 zonas de importancia de las cuales especifica lo siguiente.

³⁸ Ibid., p. 11.

³⁹ SILICATOS Y DERIVADOS S.A. DE C.V.. Proceso de Coagulación / Floculación en el tratamiento del agua. México D.F., 2012. p. 10.

La aplicación de una dosis creciente del coagulante al agua presenta diferentes zonas de coagulación.

Zona 1 Partículas estables: La dosis de coagulante no es suficiente para desestabilizar las partículas y por lo tanto no se produce coagulación.

Zona 2 Partículas desestabilizadas: Al incrementar la dosis de coagulantes, se produce una rápida aglutinación de los coloides.

Zona 3 Partículas reestabilizadas: Si se continua incrementando la dosis, llega un momento en que no se produce una buena coagulación, ya que los coloides se reestabilizan.

Zona 4 Región de coagulación de barrido: Al aumentar aún más la dosis, hasta producir una supersaturación se produce de nuevo una rápida precipitación de los coagulantes que hace un efecto de barrido, arrastrando en su descenso las partículas que conforman la turbiedad⁴⁰.

2.5 Marco Legal

El agua, es un recurso como pocos del cual depende la vida en el planeta, por tal motivo, debe estar incluido en las leyes de cada uno de los gobiernos de los diferentes países, con el fin de estipular parámetros o normas que regulen su consumo en la población. Esto se debe, a que las condiciones del líquido en la fuente de captación, no son las apropiadas para su consumo, debido a la constante contaminación que en el planeta se presenta, generando riesgos para la salud humana por contaminantes microbiológicos o de carácter fisicoquímicos. Es por ello que se requiere de un minucioso tratamiento por el cual todos los factores contaminantes sean eliminados y se genere agua de calidad apta para el consumo humano.

Como Colombia no es la excepción a la norma, se dispone de las siguientes leyes las cuales rigen el tratamiento de aguas para consumo humano en nuestro país.

Decreto 1575 de 2007 estipulado por el Ministerio de Protección Social por el cual se establece el sistema para la protección y control de la calidad del agua para consumo humano. En el cual se estipula que:

Art 1º.- OBJETO Y CAMPO DE APLICACIÓN. El objeto del presente decreto es establecer el sistema para la protección y control de la calidad del agua, con el fin de monitorear, prevenir y controlar los riesgos para la salud humana causados por su consumo, exceptuando el agua envasada.

Aplica a todas las personas prestadoras que suministren o distribuyan agua para consumo humano, ya sea cruda o tratada, en todo el territorio nacional, independientemente del uso que de ella se haga para otras actividades

⁴⁰ ANDÍA, Yolanda. Tratamiento de agua coagulación y floculación. Lima, 2000. p. 30.

económicas, a las direcciones territoriales de salud, autoridades ambientales y sanitarias y a los usuarios⁴¹.

También ha sido necesario incluir el decreto 475 de 1998, en el cual el Ministerio de Salud Pública expiden las normas técnicas de calidad del agua potable, específicamente el artículo 7 “Los criterios Organolépticos y físicos de la calidad del agua potable”⁴²

De igual manera se encuentra la resolución 2115 de 2007 por medio de la cual el Ministerio de Protección Social, Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo territorial, se señalan características, instrumentos básicos y frecuencias del sistema de control y vigilancia para la calidad del agua para consumo humano.

En esta resolución es de suma importancia el capítulo II “Características físicas y químicas del agua para consumo Humano”⁴³, el cual estipula los parámetros que se necesitan en la realización del proyecto de investigación, como pH, aluminio permitido, color, temperatura, conductividad, nitritos, nitratos, turbiedad, como lo muestra en su cuadro Murillo, D.⁴⁴

⁴¹ COLOMBIA. MINISTERIO DE LA PROTECCIÓN SOCIAL. Por el cual se establece el sistema para la protección y control de la calidad del agua para consumo humano. Bogotá D.C., 2007. p. 1.

⁴² COLOMBIA. MINISTERIO DE SALUD PÚBLICA. Por el cual se expiden normas técnicas de calidad de agua potable. Bogotá D.C., 1998. p. 4.

⁴³ COLOMBIA. MINISTERIO DE LA PROTECCIÓN SOCIAL. MINISTERIO DE AMBIENTE, VIVIENDA Y DESARROLLO TERRITORIAL. Por medio de la cual se señalan características, instrumentos básicos y frecuencias del sistema de control y vigilancia para la calidad del agua para consumo humano. Bogotá D.C., 2007. p. 2.

⁴⁴ MURILLO, Diana. Análisis de la influencia de dos materias primas coagulantes en el aluminio residual del agua tratada. Pereira: Universidad Tecnológica de Pereira, 2011. p. 23.

Tabla 8. Características del Agua

Físicas	Turbiedad, Color, Olor, Sabor, Temperatura, Sólidos, Conductividad
Químicas	pH, Dureza, Acidez/ alcalinidad, Fosfatos, sulfatos, Fe, Mn, Cloruros, Oxígeno disuelto, Grasas y/o aceites, Amoníaco, Hg. Ag. Pb. Zn. Cr. Cu. B.Cd. Ba. As., Nitratos, Pesticidas, etc

Fuente: Murillo, D, 2011. Tabla tomada de:
<http://repositorio.utp.edu.co/tesisdigitales/texto/628161M977.pdf>

De esta manera en Colombia se establecen las leyes que regulan el agua que se utiliza para consumo humano.

3. METODOLOGÍA

3.1 Generalidades.

El análisis de los diferentes productos coagulantes facilitados por la industria química QUINSA S.A como posibles candidatos para el remplazo del actual sulfato de aluminio granulado tipo B, coagulante utilizado en la planta de tratamiento El Jardín de la ciudad de Neiva; se ejecutaron en el marco del cumplimiento de exigencias del decreto 1575 del 2007 para aguas dispuestas para consumo humano.

Las muestras fueron tomadas de acuerdo a una serie de situaciones naturales de turbiedades aleatorias, representativas del estado fisicoquímico del afluente del río Las Ceibas en diferentes épocas del año.

Los estudios se llevaron a cabo en los laboratorios de EPN (Empresas Publicas de Neiva), con el fin de efectuar un contraste con los análisis que allí se realizan y los resultados obtenidos durante esta investigación.



Figura 5 Instalaciones y Laboratorios.

La metodología a emplear durante el estudio es de carácter experimental y se ha diseñado 3 etapas a ejecutar, ellas son: preliminar, ensayos y análisis.

3.2 Etapa Preliminar.

Las muestras de agua del río Las ceibas fueron tomadas en la zona de captación de la planta de tratamiento, los cuales tienen un caudal aproximado de 896 lts/s. Teniendo en cuenta que el objetivo es analizar la efectividad e idoneidad de una serie de productos químicos por medio de un test de jarras para el remplazo del coagulante actual (SAGB), se tuvo en cuenta las recomendaciones de Franco, quien sugirió que “si las muestras provienen de aguas superficiales, no se deben tomar cuando llueva o sople el viento y que no estén afectadas por la descarga directa de líquidos industriales o cloacales”⁴⁵. Otra recomendación es que debe ser lejos de la costa y a mediana profundidad con la justificación si se toma de la superficie, contendrán materias extrañas en suspensión; y si es en el fondo se corre con el riesgo de remover depósitos naturales e incorporarlos en una cantidad que no estaría presente habitualmente. Cada muestra se colectó tomando como referencia los diferentes estados fisicoquímicos posibles del afluente hídrico, la cual pudiesen representar situaciones aleatorias de épocas de verano y precipitaciones, estas se catalogaron como bajas, medias y altas de acuerdo a los índices de turbiedad presentes inicialmente. El volumen de agua cruda colectado fue de 60 litros, los cuales se distribuyeron así: para cada uno de los ocho productos químicos se utilizaron seis litros, repartidos en seis vasos correspondientes al test de jarras empleado para el estudio, dicha cantidad fue sometida a un análisis inicial de parámetros fisicoquímicos como pH, turbiedad y color, donde según⁴⁶ Franco, los determino como parámetros de análisis ambiental de aguas.

3.2.1 pH.

El pH es la medida de la concentración de iones Hidrogeno. Se define como el logaritmo del inverso de la concentración molar de iones H⁺. $pH = \text{Log } 1/[H^+]$. Su interpretación va relacionada con la Alcalinidad o Acidez titulable, los cuales tienen relevancia por encima de 9,6 o por debajo de 4,4 respectivamente.

3.2.2 Turbiedad NTU

(Nephelometric Turbidity Units) es una opalescencia que le confiere al agua los sólidos suspendidos de tamaño coloidal. Según la guía de Metas “la turbiedad es reducción de la transparencia de un líquido causada por la presencia de materia sin disolver”⁴⁷ y se mide en NTU. La resolución 2115 de 2007 en su capítulo II en pro de sus facultades por medio del Ministerio de la Protección Social, Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial establece que para agua potable la turbidez deberá ser inferior a 5 NTU.

⁴⁵ FRANCO, Carlos. Análisis de Aguas, Citado por MAYORCA, J y QUESADA, J. La electrocoagulación, un estudio de caso para el tratamiento del agua de la bocatoma antigua del río las ceibas de Neiva. Huila: Neiva, 2012. p. 44.

⁴⁶ *Ibíd.*, p 20 - 23

⁴⁷ METAS Y METRÓLOGOS ASOCIADOS. Medición de la turbidez en la calidad del agua. México, 2010. p. 2.

3.2.3 Color UPC

(Unidades de platino y cobalto UPC) de acuerdo con García, “El color es una característica física del agua producida por sustancias orgánicas e inorgánicas que se encuentran en solución o en forma de partículas coloidales”⁴⁸. Para su medición se utiliza la escala Hazen. La resolución 2115 de 2007 en su capítulo II en pro de sus facultades por medio del Ministerio de la Protección Social, Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial establece que para agua potable el color verdadero deberá ser inferior a 15 UPC.

3.2.4 Análisis fisicoquímico preliminar de las muestras de agua cruda.

Teniendo en cuenta que “El agua potable no solo se contamina de forma natural por microorganismos, sino también por diferentes sustancias o por otras vías que involucran actividades humanas”⁴⁹. Es por ello que se requiere realizar un estudio pertinente para conocer las características del agua objeto de estudio. Por tal motivo, en esta etapa se determinarán los valores de color, turbiedad, y pH de la muestra de agua inicial.

OPERATIVIDAD.

- Tomar un volumen no mayor a 60 litros del caudal de entrada a la planta con un balde plástico de boca ancha.
- Correr el análisis correspondiente con el equipo pertinente para cada parámetro.
- Diligenciar el formato anexo con fecha, hora, turbiedad, color y pH del agua cruda colectada.

3.2.5 Determinación de las dosis optimas de cada coagulante.

En esta etapa se determinó por ensayo y error una dosis óptima experimental para cada uno de los 8 productos, tomando como referencia los valores sugeridos por el personal profesional de la planta de tratamiento en cada estudio.

OPERATIVIDAD:

La realización de una prueba de jarras piloto permitió determinar la dosis a trabajar con cada coagulante, con el fin de identificar por el método de ensayo y error su concentración óptima

- Tomar una muestra en cada una de las seis jarras del test para determinar los valores de turbiedad, color y pH luego de la acción de los coagulantes;

⁴⁸ GARCÍA, Regina. Manual de prácticas de laboratorio de ingeniería sanitaria. México: Universidad Autónoma de Chihuahua, 2012. p. 6.

⁴⁹ ABARCA, Sergio y MORA, Bernardo. Contaminación del agua. Costa rica, 2007. p. 137.

si los valores resultan arrojar cifras menores a 5 N.T.U.; 15 U.P.C y pH entre 6.5 y 9.0, respectivamente, se acepta como dosis optima experimental. Si ninguna de las jarras cumple con los parámetros mínimos escogidos en el marco de legalidad en la resolución 2115/2007, se repite la prueba hasta encontrar la dosis buscada. De aquí se elige la dosis óptima experimental a trabajar y para continuar con la siguiente etapa.

3.3 Etapa de Ensayos.

En esta etapa se establecieron las actividades de operatividad para correr el respectivo análisis de los ocho coagulantes candidatos de estudios, realizando un contraste continuo con los resultados obtenidos con el actual químico coagulante utilizado en la planta El Jardín.

3.3.1 Agua del Rio Las Ceibas y Zona de Captación.

La colecta de cada una de las muestras de agua cruda fue tomada en épocas climáticas diferentes de verano y época de lluvias, los cuales son factores directamente involucrados en el comportamiento fisicoquímico natural del afluente; en ese orden de ideas se tiene que para la temporada de verano se tomaron 2 muestras (5 de Marzo y 23 de Abril de 2013), las cuales se catalogaron como aguas en condiciones levemente alteradas (turbiedad baja); para la época climática de transición verano- Temporada de lluvias, se tomo una muestra (18 de Junio) catalogada como agua cruda en condiciones medianamente bajas de alteración, característica de precipitaciones ocasionales; por ultimo y en representación de aguas mediana y altamente alteradas tenemos la colección de 2 muestras (8 de Agosto y 22 de octubre) turbiedad media y alta respectivamente.



Figura 6 Cauce normal del afluente rio las ceibas.



Figura 7 Zona de Captación del Afluyente acueducto El Jardín.

3.3.2 Prueba de Jarras, simulación de procesos para el análisis de coagulantes.

En esta etapa se implementará un gradiente de concentración en ppm, por encima y por debajo de la dosis óptima encontrada en la etapa anterior, con el fin de mejorar la precisión del proceso de floculación. La consigna de dichos datos encontrados serán expuestos de manera pertinente según lo amerite la investigación; por otra parte y partiendo de la implementación de un test de jarras como simulador de procesos que permita mantener las condiciones operacionales que existen en el proceso industrial como son: el gradiente hidráulico, el tiempo de mezcla rápida y lenta, punto de aplicación de los reactivos, el orden y la dosificación de los mismos, se proseguirá con la siguiente metodología.

OPERATIVIDAD:

- Llenar los Beakers de 1 Lt con agua cruda previamente analizada.
- Disponer los Beakers sobre la plataforma del equipo floculador y graduar la velocidad a 100 R.P.M. durante un minuto, para mezclar y homogenizar. (mezcla rápida)
- Agregar a cada beaker solución patrón al 1% preparada con anterioridad, de manera simultánea, teniendo en cuenta de utilizar el gradiente de concentración en ppm por encima y por debajo de la dosis optima.
- Después del minuto bajar la velocidad de agitación a 40 R.P.M. durante 15 minutos (mezcla lenta). Finalizado este tiempo apagar el agitador y cronometrar 30 minutos para sedimentación.

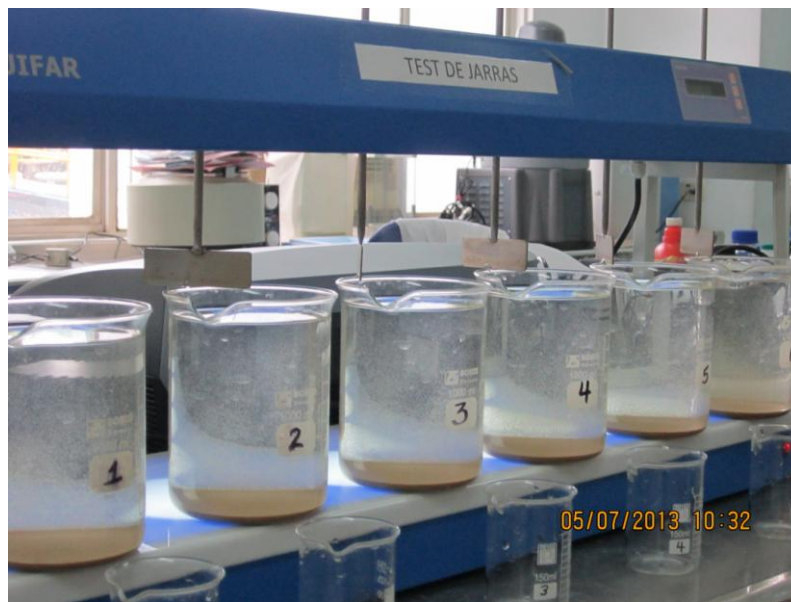


Figura 8 Simulador de procesos, Test de Jarras.

3.3.3 Análisis fisicoquímicos post-prueba.

El Análisis fisicoquímico post-acción consiste en medir los valores de color, turbiedad, pH y aluminio residual, una vez a actuado cada coagulante analizado.

OPERATIVIDAD.

- Realizar las pruebas fisicoquímicas correspondientes niveles de color, turbiedad, pH y aluminio residual para cada muestra, teniendo en cuenta que los valores obtenidos se encuentren dentro del marco legal en la resolución 2115 de 2007, capítulo II (características físicas y químicas del agua para consumo humano).
- Tabulación de los resultados obtenidos
- Tomar 4 parámetros de referencias fundamentales tales como: dosificación, pH, turbiedad residual, aluminio residual, los cuales proporcionaran el punto de contraste para la selección del coagulante de mejor rendimiento.
- Graficar curvas tanto de turbiedad residual, color, pH y Al residual frente a la dosis del coagulante, que ayude a visualizar los resultados obtenidos en cada prueba para luego ser contrastados en una sola gráfica.
- Estimar un análisis de costos para que la EPN decida el reemplazo sugerido.
- Realizar el informe final pertinente.

3.3.4 Medios y Equipos de Valoración.

El equipo e instrumental utilizado para efectos de análisis del comportamiento de cada uno de los coagulantes candidatos para el remplazo del sulfato de aluminio granulado tipo B como floculante en la planta de tratamiento El Jardín de la ciudad de Neiva, fue suministrado y facilitado por los laboratorios de las instalaciones de la misma, los cuales fueron:

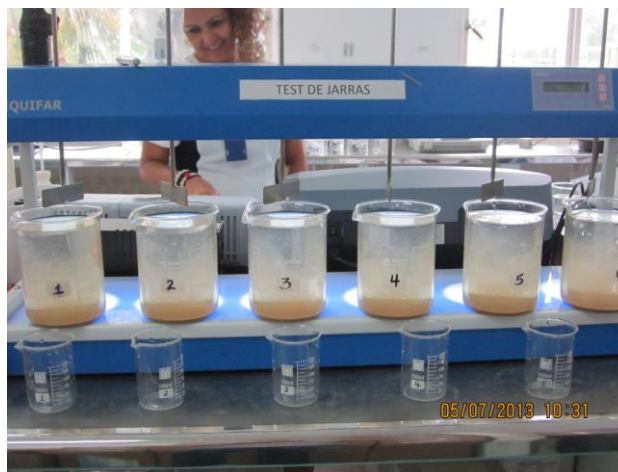


Figura 9 Equipo de mezcla EQUIFAR, Test de Jarras.



Figura 10 Espectrofotómetro UV-VIS DR6000 HACH.



Figura 11 Turbidímetro 2100AN IS HACH.



Figura 12 Colorímetro NOVA 60, MERCK.



Figura 13 pH-Metro portátil 330i WTW.

Por otro lado, aparte de los equipos suministrados por EPN se utilizaron una serie de sustancias químicas tales como parámetros estándar para cada uno de los equipos y un test completo de análisis de aluminio residual ver figura 3.10 así como el resto de instrumental volumétrico de vidrio como se muestra en la figura 3.11.

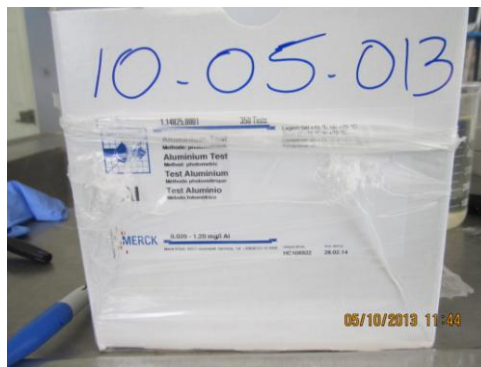


Figura 14 Test fotométrico completo de aluminio residual, MERCK.

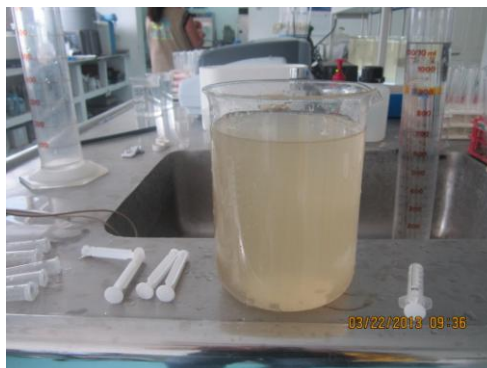


Figura 15 Material Volumétrico: Beakers 1000ml, probetas 1000ml, jeringas 10cm³

3.4 Etapa de Análisis.

A continuación se presenta la Figura 3.12, con el cual se pretende explicar de manera simple y concisa, la metodología implementada en el tratamiento de las muestras de agua cruda utilizadas durante el periodo de prueba en el acueducto El Jardín de la ciudad de Neiva.

3.4.1 Procedimiento.

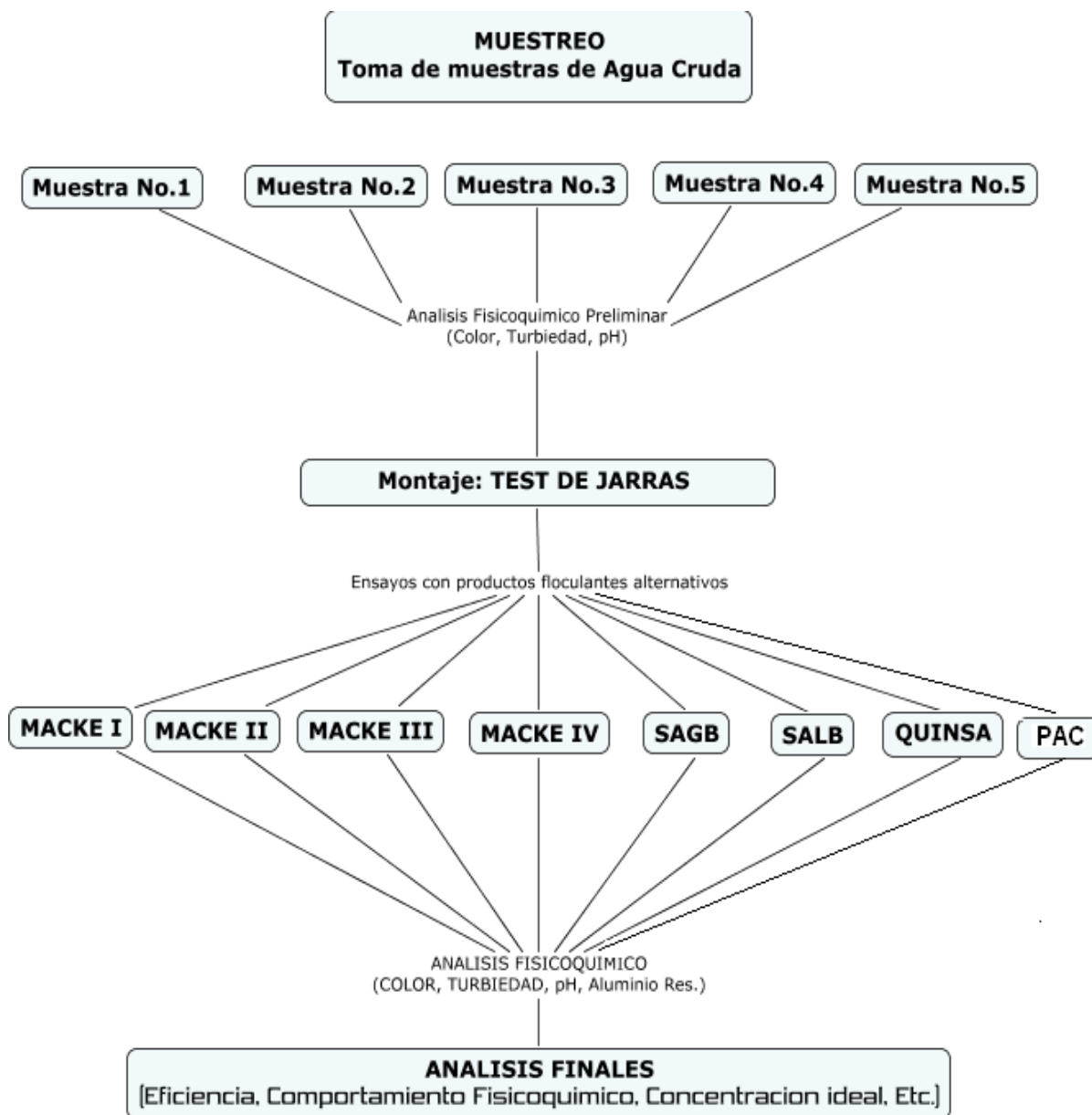


Figura 16 Procedimiento seguido en el laboratorio

Fuente: Elaboración propia

En primera instancia, se recolectaron cinco (5) muestras de 60 litros de agua cruda. Según precipitaciones y crecientes súbitas del cuerpo de agua. Cada muestra fue sometida a un análisis preliminar, establecido con anterioridad, el cual se encarga de determinar los parámetros iniciales de la muestra (como lo indica la tabla 9) los cuales son: Color – pH – Turbiedad, con el fin de establecer un factor comparativo luego de tratada la muestra con cada coagulante y así determinar la eficacia de los mismos. Es necesario resaltar, que cada muestra tiene parámetros fisicoquímicos iniciales diferentes y de acuerdo a la intensidad de sus valores, son catalogadas como bajas medias y altas.

Una vez registrados los valores iniciales, se procede a tratar la muestra seleccionada con 8 tipos de coagulantes referenciados en la tabla 10. Pasados aproximadamente 40 minutos de adicionar las dosificaciones a su jarra correspondiente, se extrae una muestra de cada uno de los beakers, para evaluar los valores de los parámetros finales, teniendo en cuenta que se ha agregado una nueva medida denominada Aluminio Residual, la cual se encarga de determinar que el aluminio final de la muestra se encuentre dentro de las normas establecidas para consumo humano estipulada en la resolución 2115 de 2007 capítulo II características físicas y químicas del agua para consumo humano.

Realizado el respectivo análisis fisicoquímico a cada producto objeto de estudio durante esta investigación, se determinara los costos de operación que tendrán que afrontar la planta de tratamiento una vez hecho el remplazo del actual floculante, Dentro de ellos se establecerá las tasas de remplazo mínimas con base al producto ya utilizado y su inferencia económica realizando un contraste entre los floculantes más idóneos y sus respectivos costos.

4. ANALISIS DE RESULTADOS

4.1 Aspectos Generales.

El inicio de la floculación de partículas sólidas en suspensión en cada una de las muestras de agua tratadas por cada uno de los coagulantes utilizados, evidencio una formación de floc en todos los casos, recordando siempre que estos se formaron en diferentes tiempos dependientes del producto químico utilizado, el cual sometido a una serie de mezclas rápidas, lentas y sedimentación como simulación del proceso de potabilización de la planta (test de jarras) permitió otorgar a esta investigación una serie de datos objeto de análisis para identificar el comportamiento y rendimiento de cada compuesto en diferentes casos de alteración.

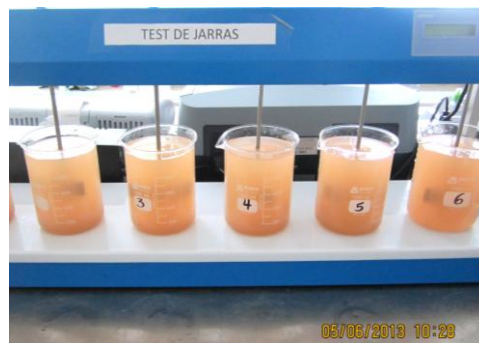


Figura 17 Fase de Mezcla rápida.



Figura 18 Formación de floc.



Figura 19 Fase de Mezcla Lenta



Figura 20 Fase de sedimentación.



Figura 21 Fase de ejecución de análisis, Test de Aluminio residual.

4.2 Análisis Muestra N° 1

Los parámetros fisicoquímicos iniciales de esta muestra colectada el día 5 de marzo de 2013, se ilustran en la tabla 9.

Tabla 9. Parámetros iniciales de la Muestra N° 1

Parámetros	Valores
Turbiedad	5.13 UNT
Color	30 UPC
pH	7.93

Esta muestra se trató con ocho (8) coagulantes diferentes cortesía de la empresa química QUINSA, como se muestra en la Tabla 10.

Tabla 10. Coagulantes utilizados en el tratamiento de muestras de agua cruda

Coagulante	Nombre Técnico	Siglas
1	Sulfato de Aluminio Granulado Tipo B	SAGB
2	Mackenfloc II	Macke II
3	Hidroxiclورو de Aluminio	PAC
4	Mackenfloc III	Macke III
5	Mackenfloc I	Macke I
6	Quinsafloc	Quinsa
7	Sulfato de Aluminio Líquido Tipo B	SALB
8	Mackenfloc IV	Macke IV

A continuación se muestran los resultados obtenidos mediante el empleo de cada uno de los coagulantes enumerados en la tabla 10.

4.2.1 Sulfato de Aluminio Granulado Tipo B (SAGB)

Esta primera muestra se catalogó como baja debido a los bajos índices de turbiedad color y pH iniciales, definidos en la tabla 4.1. Se utilizaron 6 dosis de SAGB distribuidos en 6 Beakers de 1L cada uno, con 1 minuto de mezcla rápida, 15 minutos de mezcla lenta y aproximadamente 20 minutos en la fase de sedimentación.

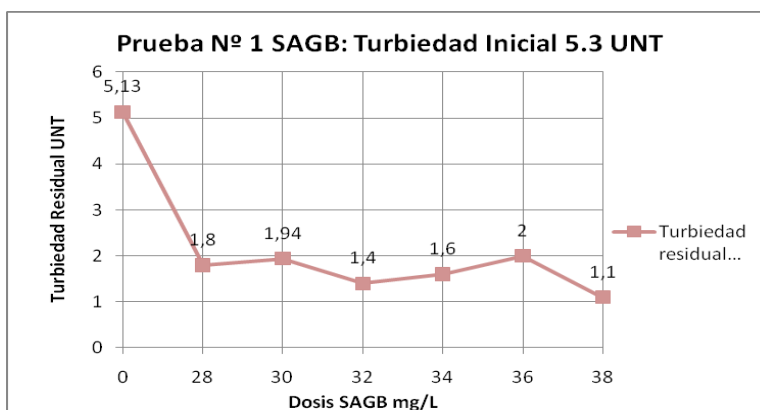
Los valores arrojados se presentan en la Tabla 11.

Tabla 11. Resultados prueba realizada con SAGB.

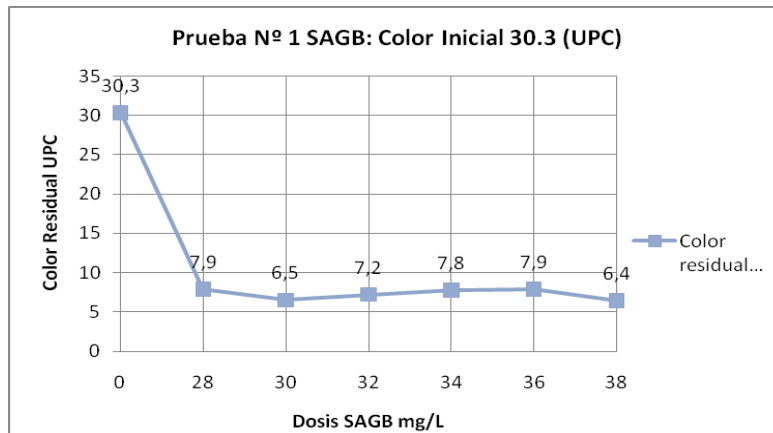
VASOS	1	2	3	4	5	6
Coagulante c.c.	2.8	3.0	3.2	3.4	3.6	3.8
Dosis mg/L	28	30	32	34	36	38
pH	7.37	7.33	7.28	7.24	7.21	7.19
Turbidez U.N.T	1.8	1.94	1.4	1.6	2.0	1.1
Color U.P.C	7.9	6.5	7.2	7.8	7.9	6.4
Al Residual mg/L	0.54	0.52	0.6	0.59	0.6	0.55

Como se puede observar en la tabla 11, las casillas que se encuentran sombreadas indican una dosis de 38 ppm donde se obtuvo el mejor resultado para esa prueba, es necesario tener en cuenta que estos resultados son dados para aguas sedimentadas, lo que implica que una vez sea filtrada los valores serán aún más bajos, lo que genera agua de mejor calidad.

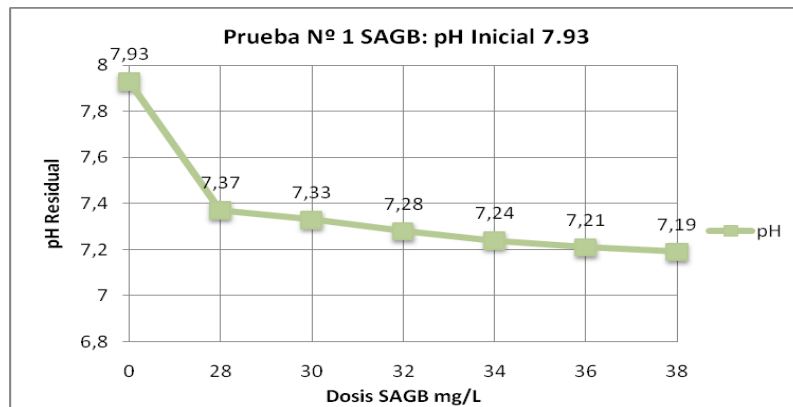
A continuación se presentan las graficas referentes a cada uno de los parámetros finales, lo que permite determinar el comportamiento del coagulante implementado en esta primera prueba.



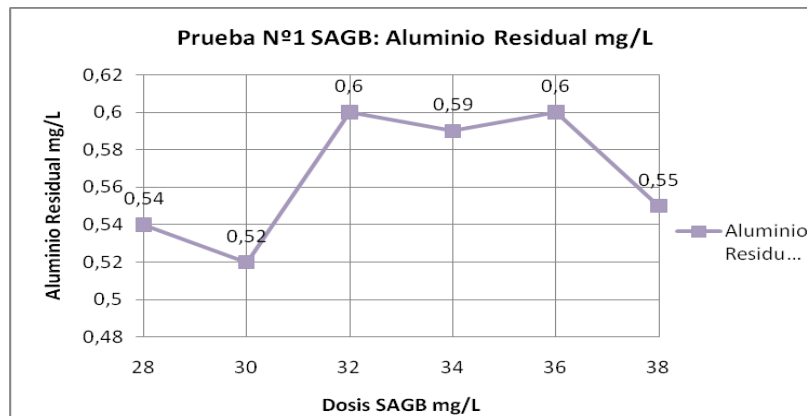
Grafica. 1 Dosis SAGB Vs Turbiedad residual (Turbiedad permitida 5 UNT)



Grafica. 2. Dosis SAGB Vs Color residual (Color permitido 15 UPC)



Grafica. 3. Dosis SAGB Vs pH residual (pH permitido entre 6,5 y 9)



Grafica. 4. Dosis SAGB Vs Aluminio residual (Aluminio residual permitido 0,2 mg/L)

Se puede observar en las graficas 1 y 2, que los niveles de turbiedad y color respectivamente, decayeron significativamente por debajo del límite establecido en la resolución 2115 en todas las dosificaciones

En cuanto a la gráfica 3, se puede observar que el pH descendió rápidamente, aunque aún se encuentra dentro del rango autorizado, es probable que para muestras de agua con parámetros mucho más altos, se presente un descenso considerable por debajo del límite permitido.

El problema se evidencia en la gráfica 4, donde se presenta un nivel de aluminio residual muy por encima de lo permitido en la resolución 2115, donde hace referencia que el aluminio residual en aguas aptas para consumo humano, no debe superar los 0.2 mg/L y esta muestra supera con creces dicho estándar. Esto se debe a que el floc que se forma por acción del SAGB no es lo suficientemente pesado como para sedimentar las partículas indeseadas chocando entre ellas y esparciéndose por toda la corriente de agua aumentando los niveles de aluminio.

4.2.2 Mackenfloc II

Las pruebas realizadas para la evaluación de eficacia del producto Mackenfloc II arrojaron los siguientes parámetros fisicoquímicos expuestos en la Tabla 12.

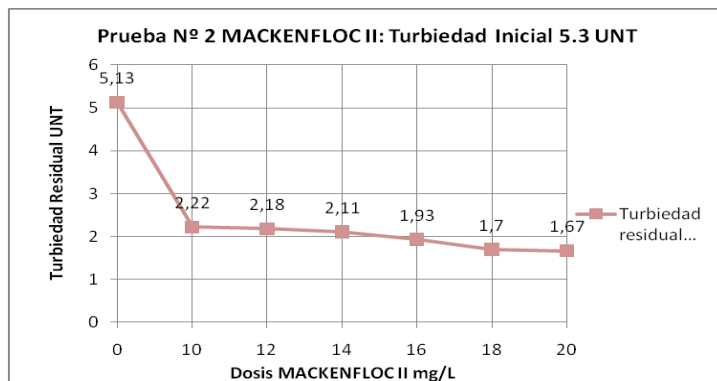
Tabla 12. Resultados prueba realizada con Mackenfloc II.

VASOS	1	2	3	4	5	6
Coagulante c.c.	1.0	1.2	1.4	1.6	1.8	2.0
Dosis mg/L	10	12	14	16	18	20
pH	7.91	7.89	7.85	7.83	7.80	7.79
Turbidez U.N.T	2.22	2.18	2.11	1.93	1.70	1.67
Color U.P.C	14.0	13.8	13.0	11.5	12.1	7.6
Al Residual mg/L	0.13	0.14	0.16	0.17	0.2	0.2

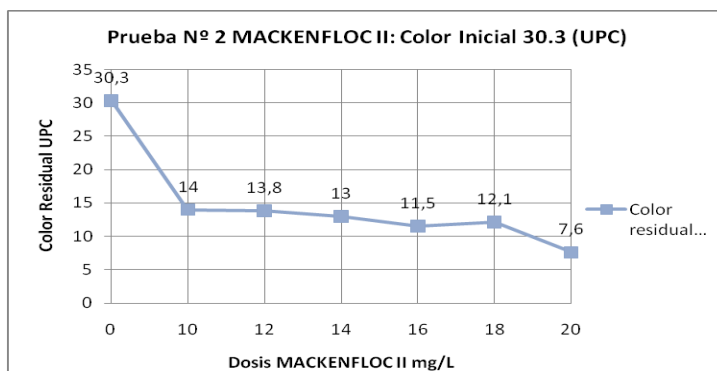
Dados los resultados obtenidos en esta prueba se determinó que la dosis óptima arrojó los parámetros fisicoquímicos más estables que corresponden a la adición de 20 ppm del producto (columna sombreada).

En el análisis respectivo para esta prueba resalta su eficacia en condiciones de dosificación baja, lo que permitió un control de saturación por exceso del compuesto. Por otro lado una vez realizada la intervención con el producto, se constató que este mantiene niveles de pH estables aptos para el consumo, niveles de turbiedad y color idóneos según los parámetros establecidos en la resolución 2115 expuesta para agua potables para el consumo humano.

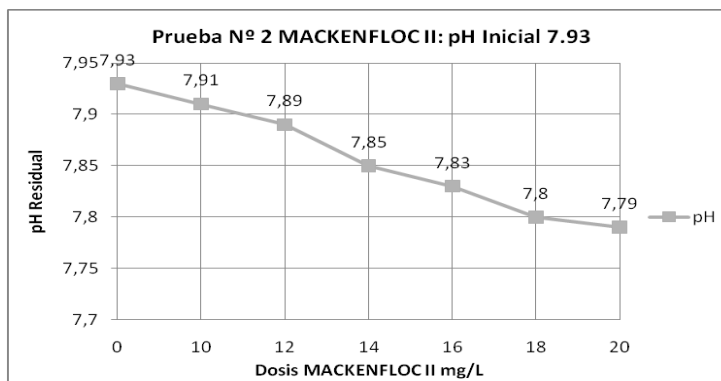
Las dosificaciones utilizadas demostraron valores aceptables en todos los casos, resaltando que al incrementar la concentración de producto utilizado amplía el espectro de acción y de la misma manera el aluminio residual en la muestra, manteniendo sus valores al máximo, por ende luego de la dosificación de 16 ppm de **Mackenfloc II** los niveles de aluminio residual en la muestra se mantienen sobre el umbral de los valores permitidos establecidos por la constitución colombiana para agua potable.



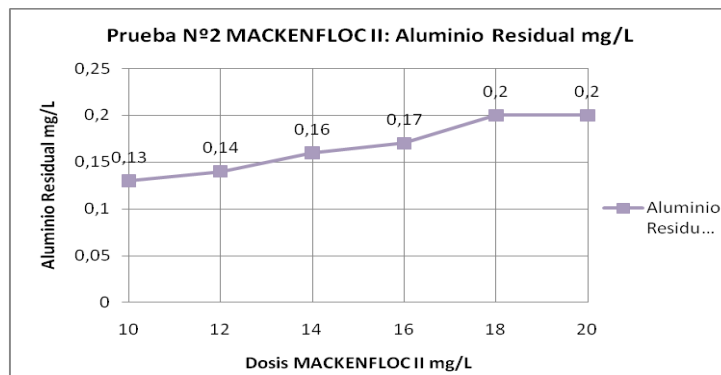
Grafica. 5. Dosis Mackenfloc II Vs Turbiedad (Turbiedad permitida 5 UNT)



Grafica. 6. Dosis Mackenfloc II Vs Color (Color permitido 15 UPC)



Grafica. 7. Dosis Mackenfloc II Vs pH (pH permitido entre 6,5 y 9)



Grafica. 8. Dosis Mackenfloc II Vs Aluminio Residual (Aluminio residual permitido 0,2 mg/L)

Los datos plasmados en las graficas 5, 6 y 7 referentes a niveles de turbiedad, color y pH mantienen comportamientos semejantes, puesto que con la adición gradual del producto en cada una de las muestras los valores fisicoquímicos disminuyeron, estableciendo una relación inversamente proporcional con la concentración dispuesta para cada análisis.

Las particularidades en el comportamiento del producto **Mackenfloc II** sin lugar a dudas fue el leve incremento de Aluminio residual en la muestra como se muestra en la gráfica 4.8, puesto que al aumentar la dosificación se observó un crecimiento poco significativo que no sobrepasa los estándares establecidos por la legislación Nacional de aguas para el consumo humano.

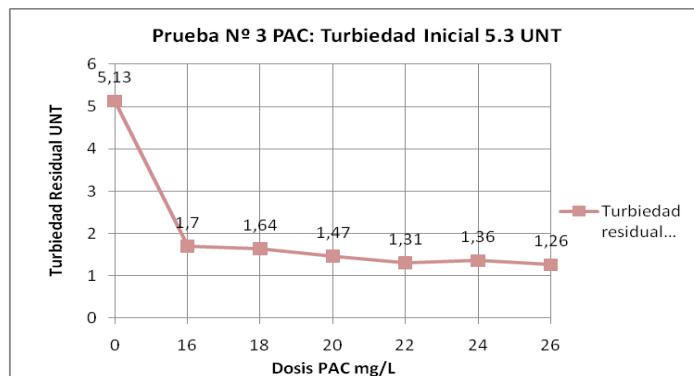
4.2.3 Hidroxicloruro (PAC)

El test de jarras es el método por el cual se corrió el análisis del producto (PAC) Hidroxicloruro de Aluminio; al igual que los productos anteriores, con el fin de establecer los datos fisicoquímicos esenciales para su análisis en el tratamiento de aguas, los cuales se muestran en la tabla 13.

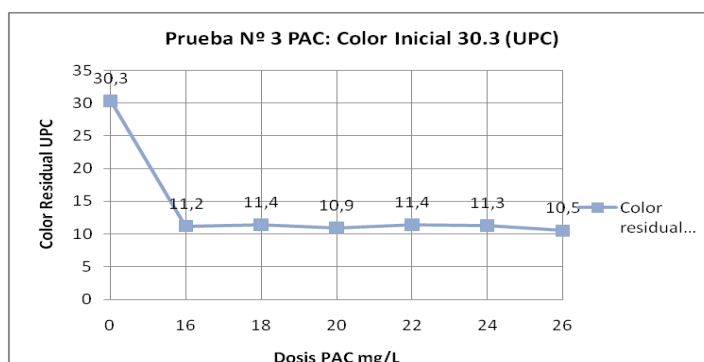
Tabla 13. Resultados prueba realizada con Hidroxicloruro de Aluminio (PAC)

VASOS	1	2	3	4	5	6
Coagulante c.c.	1.6	1.8	2.0	2.2	2.4	2.6
Dosis mg/L	16	18	20	22	24	26
pH	7.88	7.79	7.77	7.74	7.73	7.71
Turbidez U.N.T	1.70	1.64	1.47	1.31	1.36	1.26
Color U.P.C	11.2	11.4	10.9	11.4	11.3	10.5

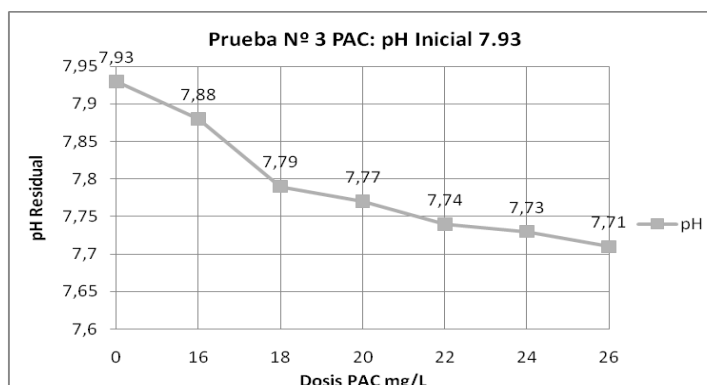
De acuerdo con los datos obtenidos se puede inferir que este producto luego de su aplicación presenta los mejores parámetros en una dosis de 20 ppm, idóneos en aguas tratadas por dicho producto puesto que el (PAC) tiene la capacidad de amortiguar y reducir el color y turbiedad en más de un 50% en aguas con parámetros iniciales bajos, tal como se evidencia en las gráficas No. 9, 10, 11 y 12.



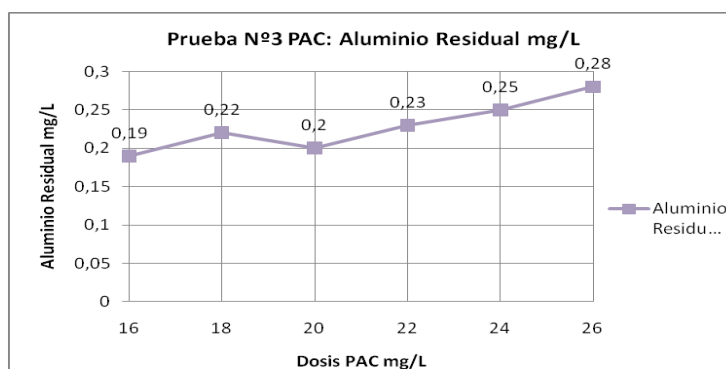
Grafica. 9. Dosis (PAC) Vs Turbiedad residual. (Turbiedad permitida 5 UNT)



Grafica. 10. Dosis (PAC) Vs Color residual (Color permitido 15 UPC)



Grafica. 11. Dosis (PAC) Vs pH (pH permitido entre 6,5 y 9)



Grafica. 12. Dosis (PAC) Vs Aluminio residual. (Aluminio residual permitido 0,2 mg/L)

El comportamiento del (PAC) mantiene una relación con los anteriores productos ya analizados, donde los niveles de pH, color y turbiedad descienden considerablemente de acuerdo al aumento gradual del coagulante en la prueba de jarras; por otro lado se observa en la gráfica12 que referencia los niveles de Aluminio Residual presentes mantiene una relación directamente proporcional a la concentración de producto adicionado, lo cual evidencia una posible sobredosificación después de 20 ppm de (PAC) debido a la cantidad de partículas de aluminio suspendidas por la acción sobresaturante, lo que altera la composición de aguas aptas para a el consumo humano.

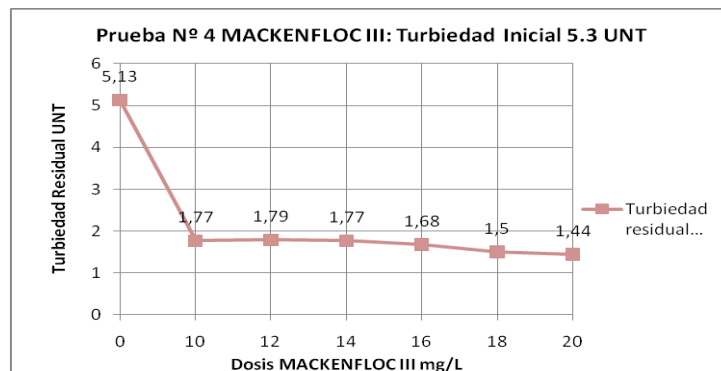
4.2.4 Mackenfloc III

Los resultados obtenidos por medio de la prueba de jarras con este floculante se muestran a continuación en la tabla 14.

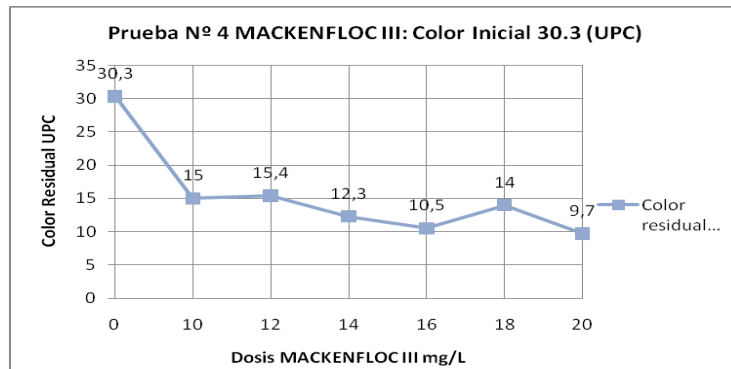
Tabla 14. Resultados prueba realizada con Mackenfloc III.

VASOS	1	2	3	4	5	6
Coagulante c.c.	1.0	1.2	1.4	1.6	1.8	2.0
Dosis mg/L	10	12	14	16	18	20
pH	7.93	7.91	7.87	7.82	7.76	7.73
Turbidez U.N.T	1.77	1.79	1.77	1.68	1.55	1.44
Color U.P.C	15.0	15.4	12.3	10.5	14.0	9.7
Al Residual mg/L	0.16	0.2	0.21	0.21	0.23	0.25

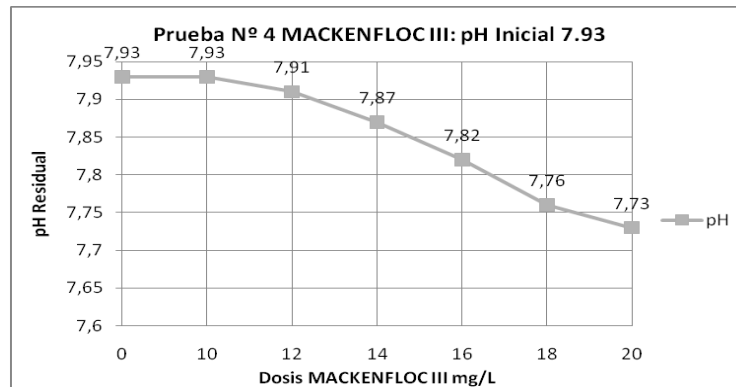
Este producto según los resultados obtenidos posee un comportamiento similar a los coagulantes analizados anteriormente donde las dosis suministrada a la muestra varían de 1.0 cm³ hasta 2.0 cm³, al variar dicha concentración se observa que la turbiedad, pH y color conservan una relación inversa en la medida que se aumenta la dosificación, caso que para los datos de aluminio residual obtenidos no se repiten y presentan un incremento que sobre pasa la norma constitucional una vez adicionado 14 ppm del producto. Tales variaciones se muestran en la gráfica.13 a la 16.



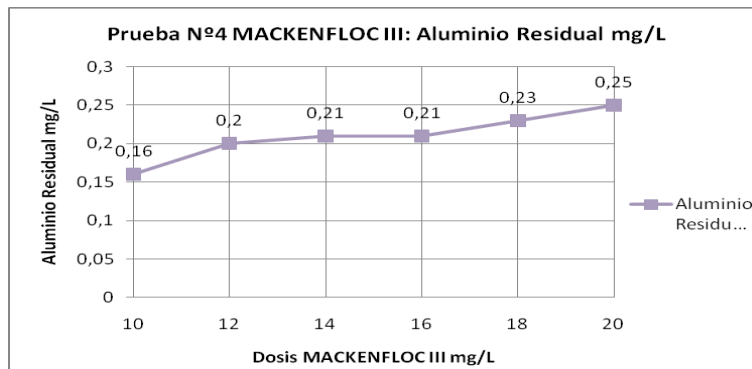
Grafica. 13. Dosis Mackenfloc III Vs Turbiedad residual (Turbiedad permitida 5 UNT)



Grafica. 14. Dosis Mackenfloc III Vs Color residual (Color permitido 15 UPC)



Grafica. 15. Dosis Mackenfloc III Vs pH (pH permitido entre 6,5 y 9)



Grafica. 16. Dosis Mackenfloc III Vs Aluminio residual (Aluminio residual permitido 0,2 mg/L)

Al realizar el respectivo análisis de este producto cabe resaltar que este presenta una ligera derivación en sus componentes ya que su composición característica es tomada del producto Mackenfloc, por ello su comportamiento es similar y difiere en la medida en que aumenta el aluminio residual en la muestra, partiendo también de la dosis suministrada, esto refleja que las concentraciones de los componentes dispuesto en el Mackenfloc III son efectivos a dosificaciones bajas.

4.2.5 Mackenfloc I

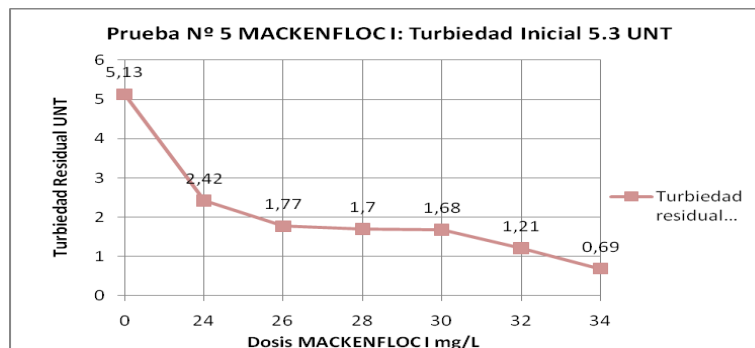
Los ensayos realizados con el producto Mackenfloc I que corresponde a una derivación de la línea de productos Mackenfloc para el tratamiento de aguas otorgó una serie de cifras que corresponden a valores fisicoquímicos de comportamiento del producto una vez utilizado en aguas dispuesta para su optimización y consumo humano.

Dichos datos fueron condensados en la tabla 15.

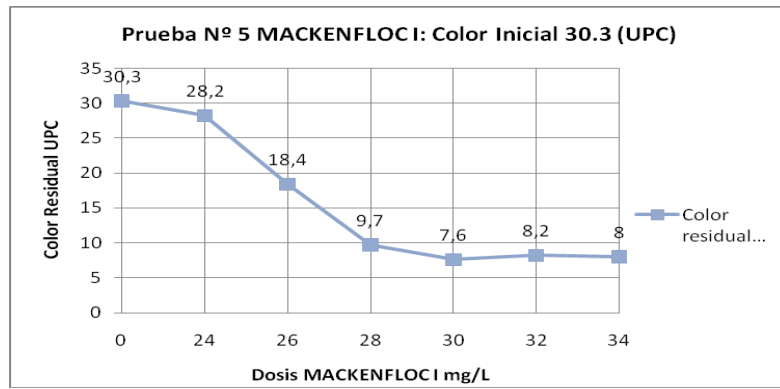
Tabla 15. Resultados prueba realizada con Mackenfloc I.

VASOS	1	2	3	4	5	6
Coagulante c.c.	2.4	2.6	2.8	3.0	3.2	3.4
Dosis mg/L	24	26	28	30	32	34
pH	7.68	7.61	7.56	7.53	7.50	7.48
Turbidez U.N.T	2.42	1.77	1.70	1.68	1.21	0.9
Color U.P.C	28.2	18.4	9.7	7.6	8.2	8.0
Al Residual mg/L	0.68	0.63	0.61	0.6	0.48	0.40

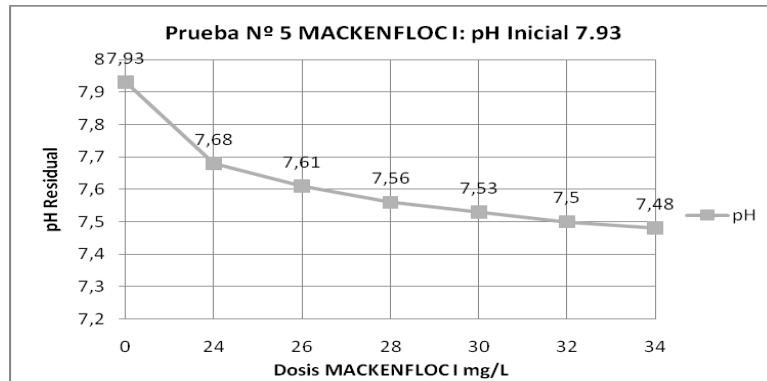
Los resultados representan la acción del compuesto implementado en la muestra de agua inicial. Dichos valores fueron plasmados en las gráficas que a continuación se presentan de la 17 a la 20.



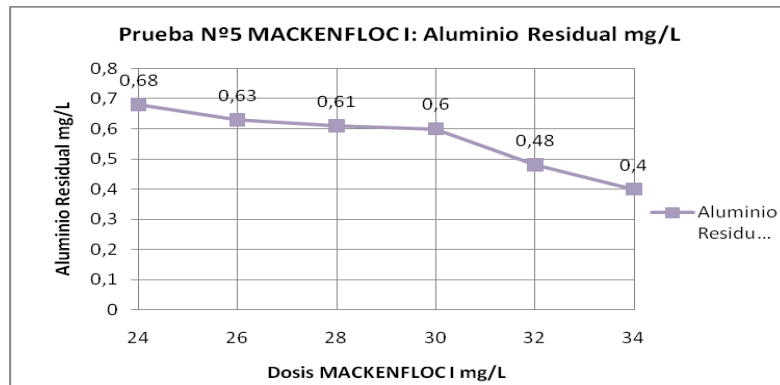
Gráfica. 17. Dosis Mackenfloc I Vs Turbiedad residual (Turbiedad permitida 5 UNT)



Grafica. 18. Dosis Mackenfloc I Vs Color residual (Color permitido 15 UPC)



Grafica. 19. Dosis Mackenfloc I Vs pH (pH permitido entre 6,5 y 9)



Grafica. 20. Dosis Mackenfloc I Vs Aluminio residual (Aluminio residual permitido 0,2 mg/L)

Luego de graficar las cifras obtenidas, se puede apreciar que no se altera de manera significativa el pH inicial del líquido pero si disminuye vertiginosamente los valores de turbidez iniciales. Por el contrario el aluminio residual es considerablemente alto lo cual indica una falla del producto al momento de tratar aguas catalogadas de baja turbiedad.

Según la Normatividad constitucional que estipula los valores máximos permitidos para color en aguas dispuestas para el consumo humano no deberán exceder las 15 unidades de platino-cobalto, basados en estos parámetros y los obtenidos en los registros se puede inferir que al implementar el producto el color del fluido disminuye aproximadamente en un 75% pero aún así con 8.0 UPC resultantes, no constituyen una infracción en los parámetros legales para el tratamiento de aguas y optimización para el consumo humano.

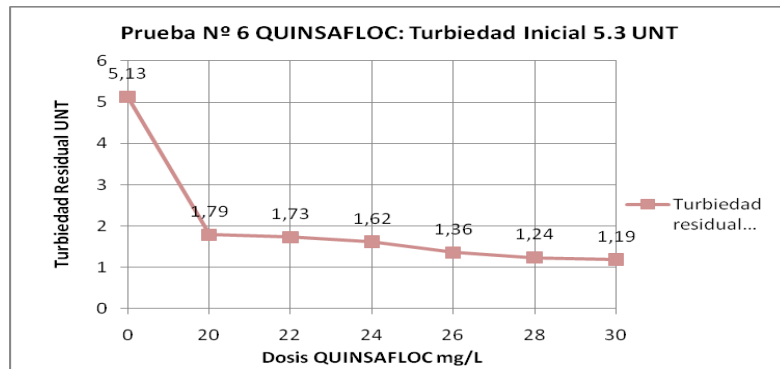
4.2.6 Quinsafloc

El procedimiento por el cual se determinaron los valores fisicoquímicos de una muestra de agua tratada con el producto Quinsafloc por medio del test de jarra arrojó los resultados mostrados en la tabla 16.

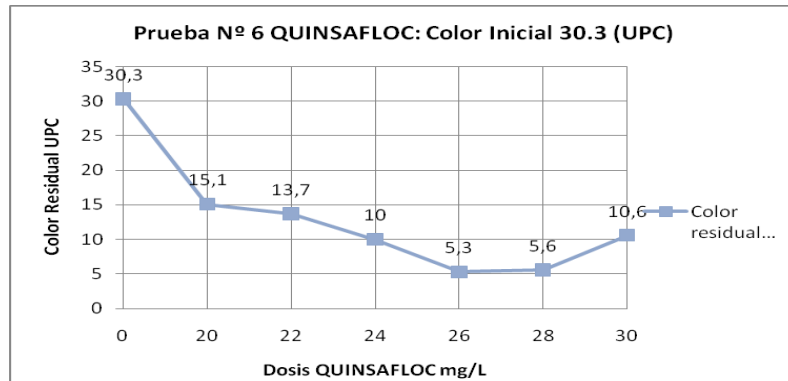
Tabla 16. Resultados prueba realizada con QUINSAFLOC

VASOS	1	2	3	4	5	6
Coagulante c.c.	2.0	2.2	2.4	2.6	2.8	3.0
Dosis mg/L	20	22	24	26	28	30
pH	7.67	7.70	7.68	7.67	7.65	7.64
Turbidez U.N.T	1.79	1.73	1.62	1.36	1.24	1.19
Color U.P.C	15.1	13.7	10.0	5.3	5.6	10.6
Al Residual mg/L	0.29	0.27	0.27	0.27	0.28	0.32

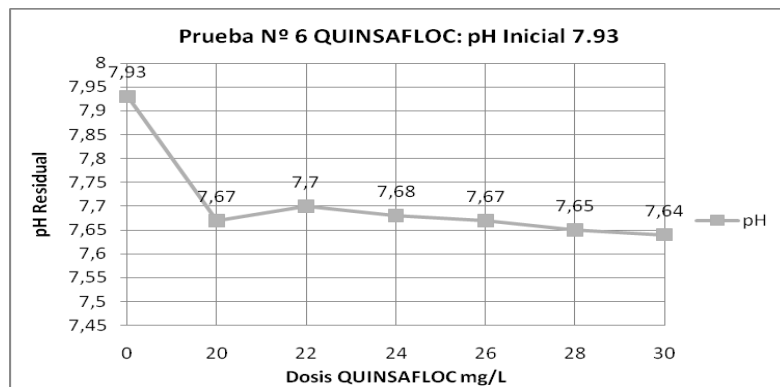
Los resultados obtenidos evidencian la efectividad del producto coagulante utilizado para esta ocasión con una dosis óptima de 26 ppm donde se puede corroborar el comportamiento similar que tiene este producto con los coagulantes anteriormente analizados. Las unidades nefelométricas de turbiedad desciende de manera significativa en aguas que presentan turbiedad baja, esta se mantiene con un pH equilibrado que oscila entre 7.6 y 7.7 lo cual no representa una alteración del medio, por otro lado se aprecia un disminución aproximada del 50% en el color del fluido que por supuesto no excede los parámetros establecidos por la ley 2115 de la constitución colombiana. Tal como se ilustra en las gráficas 21 a la 24.



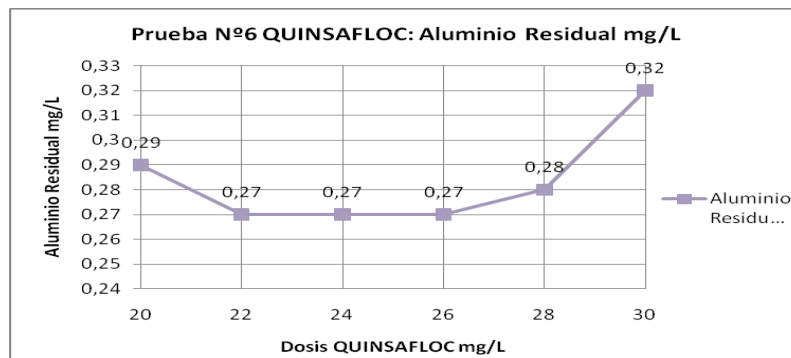
Grafica. 21. Dosis Quinsafloc Vs Turbiedad residual (Turbiedad permitida 5 UNT)



Grafica. 22. Dosis Quinsafloc Vs Color residual (Color permitido 15 UPC)



Grafica. 23. Dosis Quinsafloc Vs pH (pH permitido entre 6,5 y 9)



Grafica. 24. Dosis Quinsafloc Vs Aluminio residual (Aluminio residual permitido 0,2 mg/L)

En la gráfica 22 (Color residual) se puede apreciar una creciente en la coloración del fluido luego de adicionar una dosis de 26 ppm del producto, esto corresponde a una coloración inorgánica incorporada por la sobresaturación del compuesto en la muestra, aun así no representa un cambio significativo.

Los índices de Aluminio residual presentados en la gráfica 24 (Aluminio residual), aumentan sus valores una vez se sobresatura el medio con aproximadamente 22 a 26 ppm del compuesto Quinsafloc, este comportamiento se mantiene hasta superarse los 28 ppm del producto que es donde se puede apreciar un crecimiento significativo del aluminio residual presente en la muestra una vez pasada la dosis óptima del compuesto.

4.2.7 Sulfato de Aluminio Líquido Tipo B (SALB)

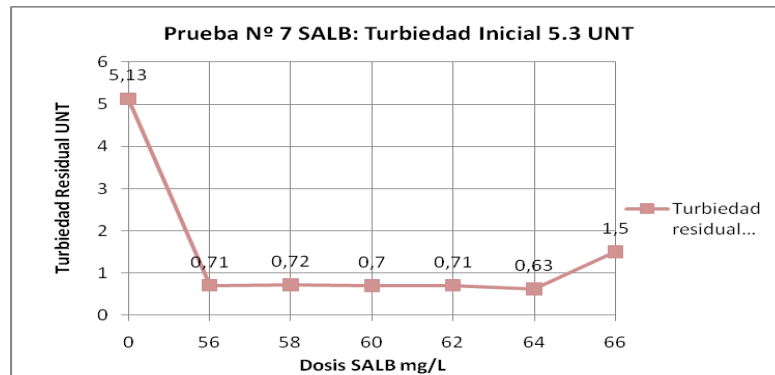
El análisis de este producto se basó en una serie de pruebas fisicoquímicas ejecutado por medio del método de test de jarras, allí se evaluó las características del fluido luego de ser intervenido con el coagulante a base de sulfato. Este comportamiento de ilustra en la tabla 17.

Tabla 17. Resultados prueba realizada con SALB.

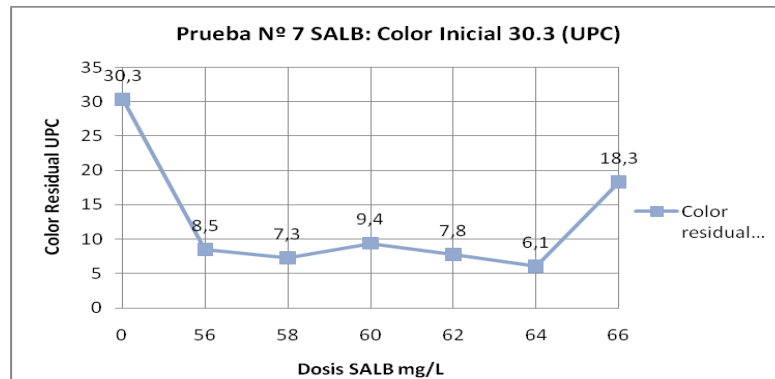
VASOS	1	2	3	4	5	6
Coagulante c.c.	5.6	5.8	6.0	6.2	6.4	6.6
Dosis mg/L	56	58	60	62	64	66
pH	7.38	7.28	7.22	7.19	6.9	6.88
Turbidez U.N.T	0.71	0.72	0.70	0.71	0.63	1.5
Color U.P.C	8.5	7.3	9.4	7.8	6.1	18.3
Al Residual mg/L	0.42	0.42	0.42	0.4	0.6	0.6

En esta tabla, se evidencian el comportamiento del fluido y la acción del compuesto una vez terminado el proceso de sedimentación. A continuación se presentan las gráficas que van desde la 25 hasta la 28 correspondientes a los registros condensados en la tabla 17.

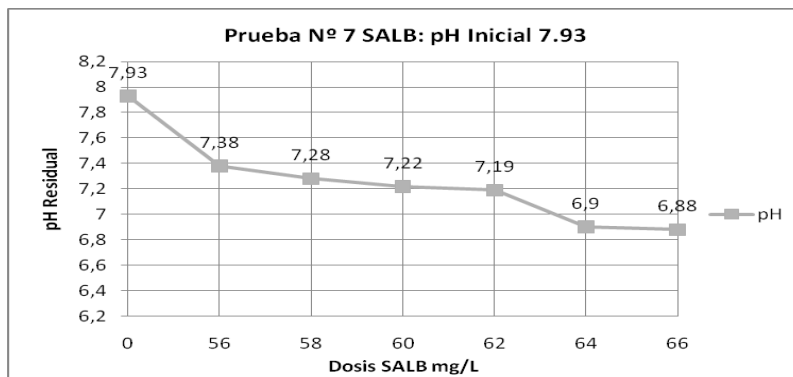
donde el agua tratada conserva de manera equilibrada el pH inicial con el cual se intervino, de la misma manera y tomando como referencia los análisis expuestos con los anteriores productos se puede inferir en que el comportamiento en la turbidez se mantiene de manera inversamente proporcional a la dosis ya que al aumentar los valores en ppm del producto adicionado las unidades nefelométricas de turbidez del agua disminuyen considerablemente; Esta tendencia se ilustra en las gráficas 25 a la 28.



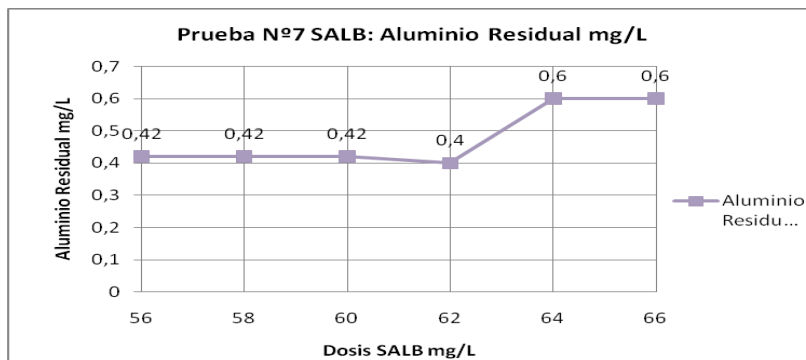
Grafica. 25. Dosis de SALB. Vs Turbiedad residual (Turbiedad permitida 5 UNT)



Grafica. 26. Dosis de SALB. Vs color residual (Color permitido 15 UPC)



Grafica. 27. Dosis de SALB. Vs pH (pH permitido entre 6,5 y 9)



Grafica. 28. Dosis de SALB. Vs Aluminio residual (Aluminio residual permitido 0,2 mg/L)

Los valores de turbiedad y color expuestas en las gráficas 25 y 26 respectivamente, presentan un descenso notorio en los índices de dichos parámetros, teniendo en cuenta que para la última dosificación ambos registros se disparan lo cual indica una inmediata sobresaturación de la muestra de agua con el coagulante, provocando una adversidad en los resultados. Por otra parte en la gráfica 27 correspondiente a pH se observa un descenso rápido en los índices de potencial de hidrogeno quedando peligrosamente al borde del límite establecido en la resolución. 2115 de 2007 la cual estipula un rango de 6.5 a 9 en cuanto a pH se refiere. Por último se encuentra la gráfica 28 la cual representa los datos registrados de aluminio residual. Dichos datos superan por mucho el límite legal establecido el cual corresponde a 0.2 mg/L. indicando una falla en el sistema de grandes proporciones.

4.2.8 Mackenfloc IV

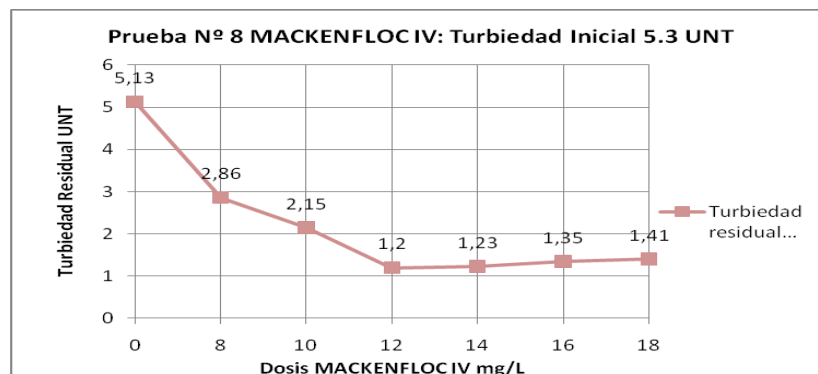
El Mackenfloc IV es un compuesto utilizado para el tratamiento de aguas de la línea Mackenfloc analizados en el transcurso de este proyecto, su análisis se basó en una serie de pruebas que permitieron obtener características fisicoquímicas del fluido luego de ser intervenido con este producto. Los datos obtenidos se encuentran consolidados en la tabla 18.

Tabla 18. Resultados prueba realizada con Mackenfloc IV.

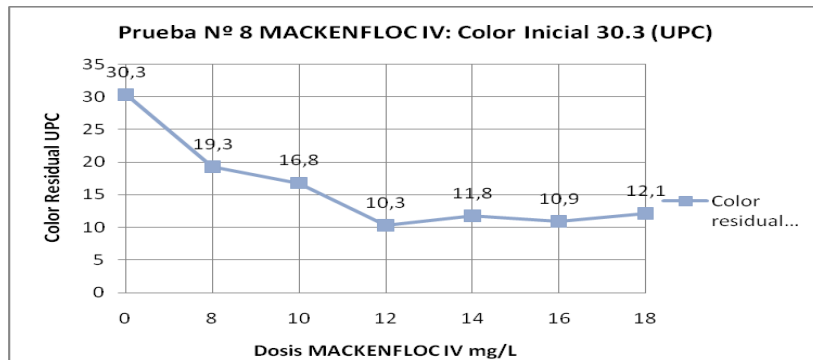
VASOS	1	2	3	4	5	6
Coagulante c.c.	0.8	1.0	1.2	1.4	1.6	1.8
Dosis mg/L	8	10	12	14	16	18
pH	7.89	7.85	7.82	7.77	7.76	7.73
Turbidez U.N.T	2.86	2.15	1.20	1.23	1.35	1.41
Color U.P.C	19.3	16.8	10.3	11.8	10.9	12.1
Al Residual mg/L	0.11	0.15	0.12	0.12	0.18	0.20

Las anteriores cifras caracterizan el comportamiento fisicoquímico de la muestra de agua por acción del coagulante a medida que se adiciona 0,2 c.c del compuesto por jarra. Dichos valores fueron representados en gráficas que van de la 29 a la 32 y se presentan a continuación.

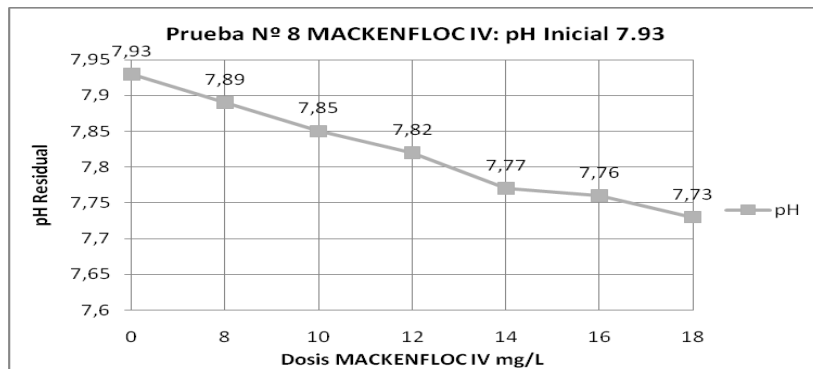
Como se puede apreciar, el pH es un factor que se mantiene relativamente estable ya que su cambio solo representa 0,20 unidades durante todo el proceso; por otro lado las unidades de Aluminio residual presentes crecen en la medida en que se adiciona el producto manteniendo una relación directamente proporcional cargando el medio hasta su sobresaturación; Este comportamiento se evidencia en las graficas



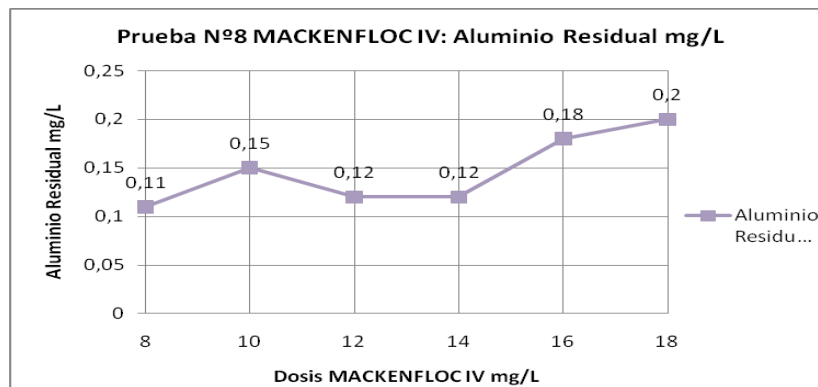
Grafica. 29. Dosis Mackenfloc IV. Vs Turbiedad residual (Turbiedad permitida 5 UNT)



Grafica. 30. Dosis Mackenfloc IV. Vs color residual (Color permitido 15 UPC)



Grafica. 31. Dosis Mackenfloc IV. Vs pH (pH permitido entre 6,5 y 9)



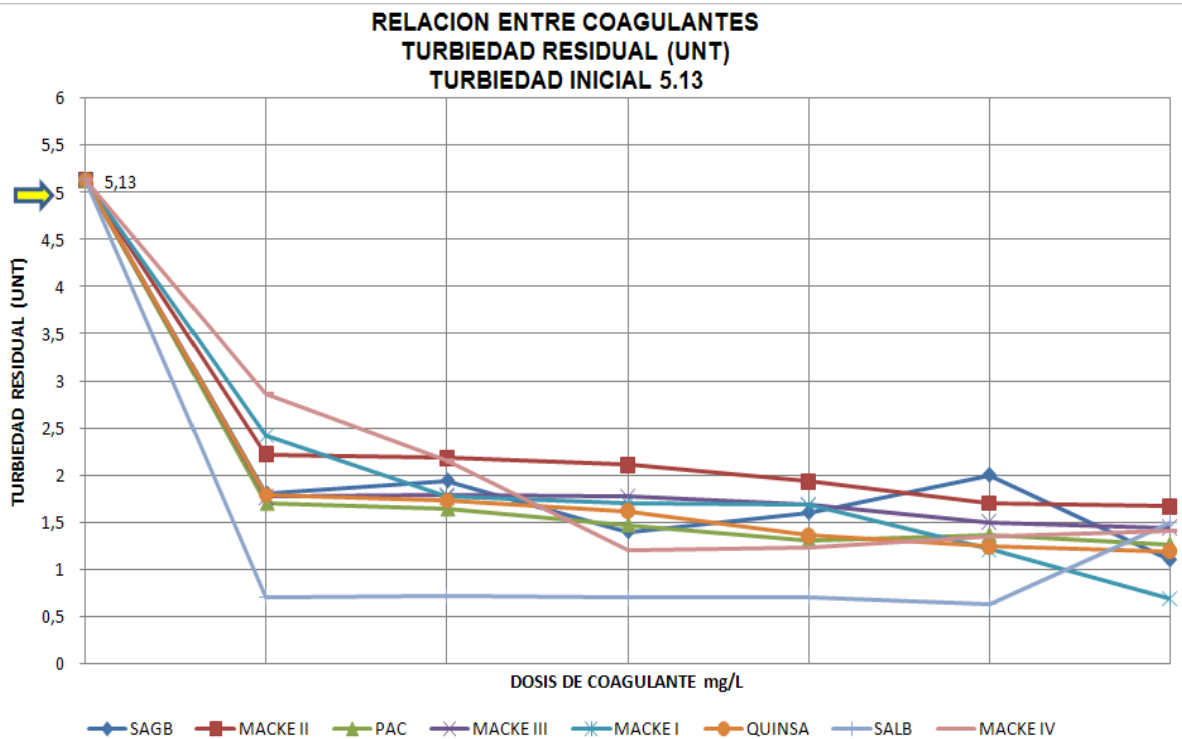
Grafica. 32. Dosis Mackenfloc IV. Vs Aluminio residual (Aluminio residual permitido 0,2 mg/L)

Realizando un análisis general para este producto, se observa el inicio de una sobresaturación a partir de los 14 ppm en todas las gráficas (29 – 30 – 31 – 32) lo que sugiere que la dosis óptima es la anterior a la adversidad de los datos y corresponde a 12 ppm. De igual manera, los datos obtenidos para cada una de las dosificaciones realizadas con Mackenfloc IV son buenos y se puede corroborar

esta afirmación al observar las gráficas correspondientes a dicho producto, enfatizando en el hecho que ninguna sobrepasa los niveles establecidos en la resolución 2115 de 2007.

4.2.9 Comportamiento y Efectividad Físicoquímica.

Los resultados obtenidos en esta fase de análisis y estudio de los principales productos químicos opcionales para el acondicionamiento de aguas aptas para el consumo humano de la planta de tratamiento El Jardín de la ciudad de Neiva, presenta una serie de eventualidades que caracterizan la acción y eficacia en condiciones de caudales con turbiedad baja de cada uno de los compuesto utilizados, partiendo del análisis de parámetros físicoquímicos indispensables se determina el producto idóneo que hará parte de en uno de los procesos más importantes en el tratamiento y potabilización del agua de la población Neivana. Esta primera fase de estudio ha recopilado una serie de datos que serán analizados desde el campo físicoquímico, el cual otorgará una mirada más detallada del comportamiento y permitirá evaluar el desempeño de cada uno de los compuestos utilizados. A continuación se efectúa una relación entre el uso de cada uno de los productos coagulantes frente a la variación de cada uno de los parámetros físicoquímicos incorporados en el presente estudio.

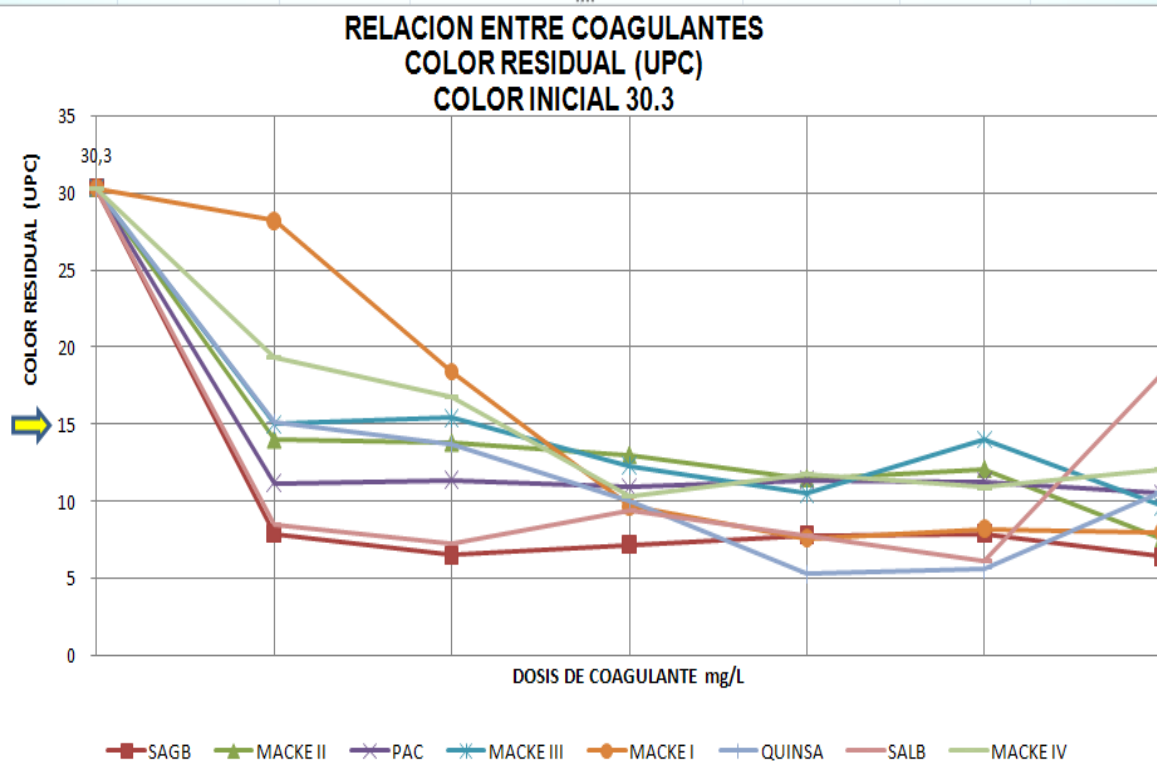


Grafica. 33. Dosis de coagulante Vs Turbiedad residual. (Turbiedad permitida 5 UNT)

Partiendo de los parámetros establecidos por la constitucion Colombiana en el capitulo II de la resolución 2115 (Por medio de la cual se señalan las características físicas y químicas del agua para consumo humano) los valores

máximos en unidades nefelométricas de turbiedad (UNT) para aguas es 5.0 UNT ; De acuerdo con la gráfica anterior, se puede afirmar que 7 de los 8 coagulantes utilizados, trabajan de forma similar en cuanto a remoción de turbiedad se refiere, en aguas con unidades nefelométricas bajas, debido a que se observa un rango de acción entre 1 UNT y 2.5 UNT, lo cual indica que todos son eficaces para tratar aguas con bajos índices de turbiedad . En cuanto al coagulante faltante, el SALB, es más efectivo como se muestra en la grafica 33 pues sus índices registrados luego de la prueba revelan un importante descenso en la turbiedad residual, gracias a su capacidad de clarificación para tratar aguas con turbiedades bajas. Por tal razón es el producto ideal y de mejor rendimiento siempre y cuando se ajuste la dosis óptima.

En la gráfica 34 se evidencia el comportamiento del color residual frente a los ocho (8) tipos de floculantes utilizados.



Grafica. 34. Dosis de coagulante Vs Color residual. (Color permitido 15 UPC)

De la misma manera los resultados obtenidos en el análisis de laboratorio, condensados en la gráfica 34 que corresponden a las características de color residual producto de la acción de cada uno de los coagulantes, se puede analizar que desde la primer dosis, el SAGB al igual que el SALB neutralizan rápidamente aquellas partículas orgánicas y/o inorgánicas que alteran las condiciones de color óptimas en la muestra de agua, manteniendo una acción constante a medida que se aumenta la dosificación. Sin embargo, una vez sea sobresaturada la muestra

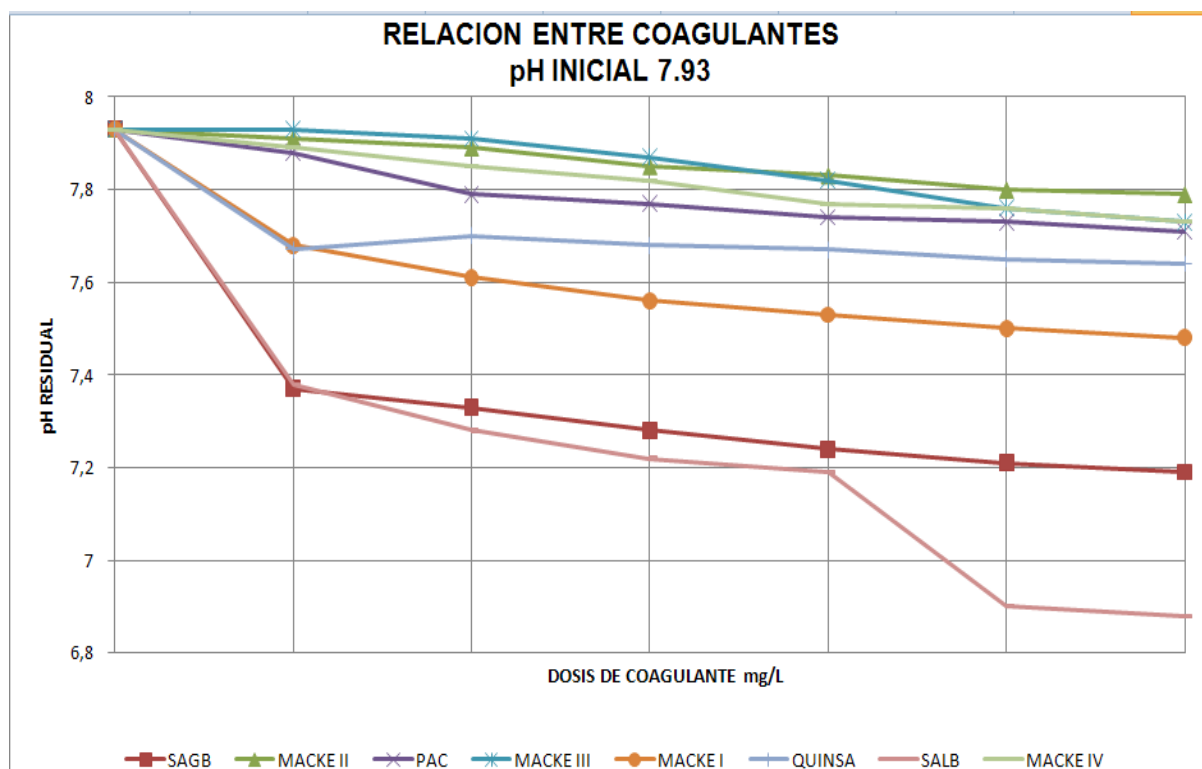
con producto, deja de disminuir los índices de platino-Cobalto y por el contrario aporta color a la muestra, en este caso color inorgánico (indetectable para el ojo humano) perjudicando el desarrollo del proceso de clarificación. Este ejemplo se evidencia en el SALB a partir de la 5 dosis, donde se observa un aumento en los índices de color.

El Mackenfloc I, tarda un tiempo en activarse, pero una vez se aumenta la dosificación se observa una disminución significativa de color.

El Quinsafloc, es el producto que mejor desempeño presenta una vez se ha detectado la dosis óptima, con tan solo un valor de 5.3 unidades de platino cobalto presentes en el agua luego de la acción de dicho producto.

Por último, los coagulantes restantes (Macke II, III, IV y PAC) registran un buen comportamiento en la disminución del color aparente de la muestra, de acuerdo con lo estipulado en la normatividad constitucional para aguas aptas para consumo humano, manteniendo los índices en un rango de 10 a 15 UPC.

Por su parte, la variación de pH frente al uso de los diferentes flocculantes empleados en la primera muestra, se ilustra en la gráfica 35.



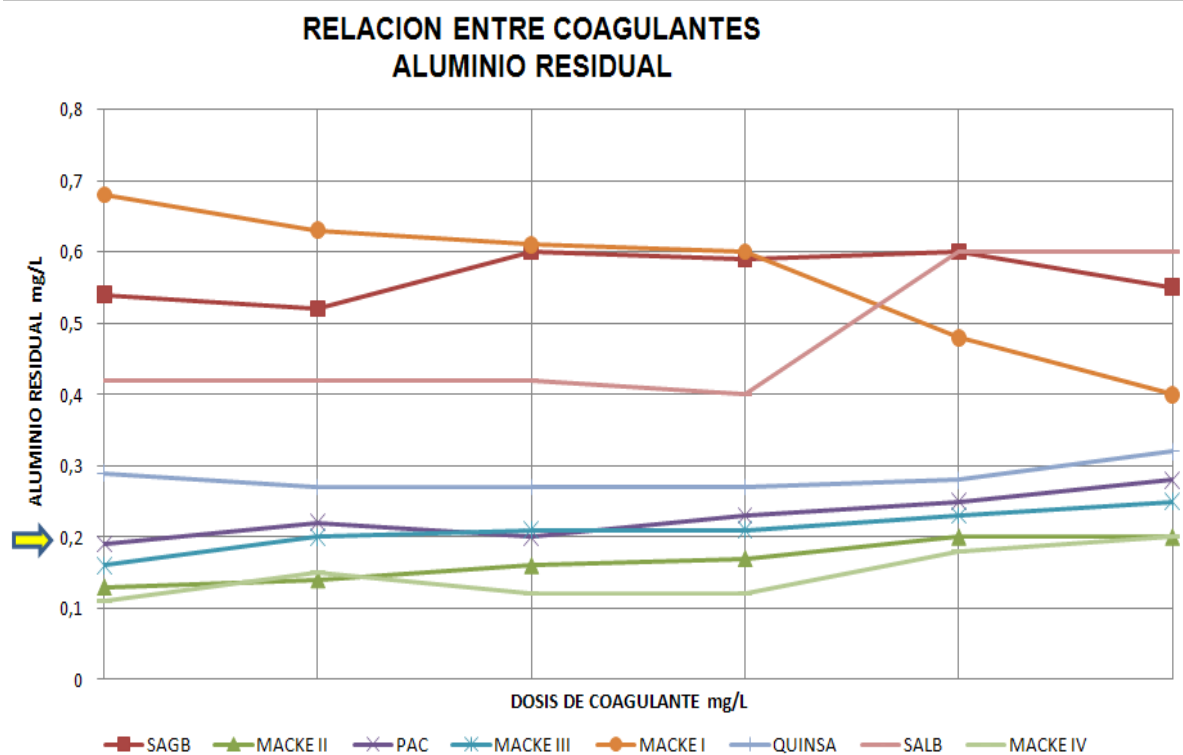
Gráfica. 35. Dosis de coagulante Vs pH residual. (pH permitido entre 6,5 y 9)

En la gráfica anterior, se presenta el rango de acción de cada coagulante al momento de actuar sobre el pH. Algunos de ellos como son los sulfatos (SAGB, SALB) provocan una disminución considerable en los niveles de pH de la muestra de agua, pues sus altos porcentajes de alúmina y la falta de biopolímeros en su

composición, los cuales actúan como ayudantes de coagulación, permite la formación desmedida de H_2SO_4 , acidificando el agua y descendiendo el pH al límite de lo establecido en la resolución 2115 de 2007 capítulo II (Características físicas y químicas del agua para consumo humano) la cual establece un rango entre 6.5 a 9 para agua potable.

En cuanto a los coagulantes restantes (Macke I, II, III, IV, PAC, Quinsafloc) no tienen un impacto considerable en los registros, ya que se mantienen constantes a medida que se aumenta la dosificación, conservando el pH en niveles óptimos y descartando la implementación de alcalinizantes para regular el potencial de hidrógeno.

A continuación se presenta la relación entre coagulantes en cuanto a aluminio residual se refiere, descritos en la gráfica 36.



Grafica. 36. Dosis de coagulante Vs Aluminio residual. (Aluminio residual permitido 0,2 mg/L)

Antes de iniciar un análisis, es preciso resaltar que el límite permitido para aguas potables según la resolución 2115 de 2007 es de 0.2 mg/L, lo cual da una idea de cuáles son los productos que se encuentran dentro de este rango de medida siendo consecuentes con lo descrito en la gráfica 36.

Los productos Macke I, SALB Y SAGB contienen niveles significativamente altos de aluminio residual, debido a los bajos registros de turbiedad y color tomados en el examen preliminar de la muestra de agua, lo cual no permite una buena formación de floc o el que se forma no es lo suficientemente pesado para realizar

un arrastre por sedimentación simple efectivo, dejando gran cantidad de aluminio dispersos en la muestra y aunque no hay estudios que revelen problemas que afecten a la salud humana por altos índices de aluminio en el agua, no es consecuente con lo estipulado en la res. 2115 de 2007 donde se establecen los valores fisicoquímicos ideales para aguas aptas para consumo humano.

El Quinsafloc, Macke III y PAC se encuentran un poco por encima del límite establecido, pero de igual manera son productos que demostraron un buen rendimiento a medida que avanzó el proceso de análisis de la muestra I.

Los coagulantes que registraron índices inmejorables fueron el Macke II y Macke IV con un valor de 0.2 y 0.12 mg/L de aluminio residual respectivamente para sus dosis óptimas.

Antes de concluir el análisis realizado a la muestra N° 1 es de importancia resaltar que las muestras de agua a las cuales se les practicaron las pruebas fisicoquímicas, se encontraban en fase de sedimentación dentro de un beaker y en comparación a los tanques de sedimentación del acueducto, los cuales permiten un mejor campo de acción del coagulante por su tamaño y capacidad de captación, los recipientes en los cuales fueron practicadas las pruebas de jarras, reducen la probabilidad de choques de partículas lo que disminuye la capacidad de formar floc mas consistente debido a las limitaciones de espacio.

De manera general los coagulantes utilizados presentaron buenos resultados con algunas excepciones. El SAGB, SALB y el Macke I aunque redujeron cuantiosamente la turbiedad y el color residual, fallaron en las pruebas de pH, por bajar los índices bruscamente al límite de lo permitido y de aluminio residual, por duplicar y hasta triplicar el rango permitido en la res. 2115 de 2007.

Los productos restantes presentaron un buen desempeño a lo largo del proceso de coagulación, registro y análisis de datos. Pero solo dos de ellos se destacaron durante y después del desarrollo de las pruebas. Estos coagulantes fueron el Macke II y Macke IV ya que observando detalladamente las gráficas 33 – 34 – 35 y 36 se evidencia que ambos actúan de manera similar y produjeron excelentes resultados en cada uno de los campos analizados.

Ahora bien, el elegido no solo por excelencia sino también por efectividad, ya que reduce los índices de los parámetros establecidos con menor dosificación, es el Macke IV. De acuerdo con la tabla 18 la cual hace referencia a los registros del comportamiento del Macke IV, la dosis óptima fue de 12 ppm, la menor cantidad utilizada en los 8 coagulantes manejados para tratar la muestra de agua N°1. Por tal razón el Macke IV es el producto idóneo para tratar aguas catalogadas como de baja turbiedad.

4.3 Análisis Muestra N° 2.

La segunda fase del análisis fisicoquímico que contempla este proyecto partió de la obtención y el trabajo realizado con una segunda muestra de agua cruda de aproximadamente 60 Litros, obtenida en época de verano del 23 de abril de 2013 en el área de captación del acueducto El Jardín de la ciudad de Neiva; los parámetros físicos y químicos iniciales de la naturaleza del agua con la cual se analizaron cada uno de los ocho (8) productos químicos expresados anteriormente en la Tabla 10 (Coagulantes utilizados en el tratamiento de muestras de agua cruda) corresponden a datos clásicos de aguas con turbiedad baja donde de ello se tienen los siguientes datos expresados en la Tabla 19.

Tabla 19. Parámetros iniciales de la Muestra de agua No.2

Parámetros	Valores
Turbiedad	4.82 UNT
Color	38 UPC
pH	7.77

Una vez más utilizando el test de jarras se corrió el análisis de laboratorio para la muestra de agua cruda No.2 con cada uno de los ocho productos químicos coagulantes propuestos, los cuales tomando como referente su acción fisicoquímica en aguas de esta naturaleza para su potabilización se tienen los siguientes resultados descritos en el orden de su análisis

4.3.1 Sulfato de Aluminio Granulado Tipo B (SAGB)

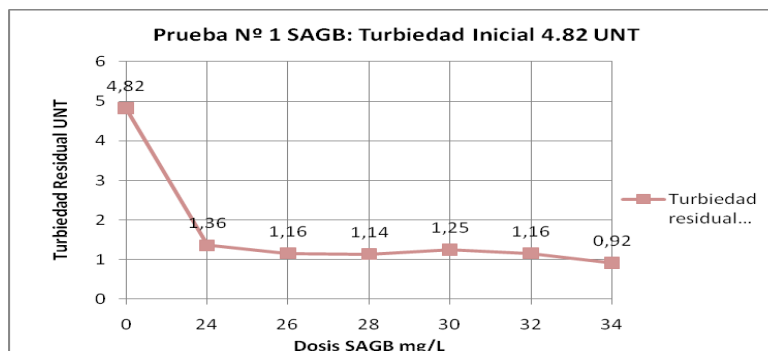
Los resultados obtenidos según las pruebas realizadas con el SAGB luego de su acción en agua cruda (Muestra No.2) en parámetros normales típicos de aguas en épocas de verano, otorgo los siguientes resultados, registrados en la tabla 20.

Tabla 20. Resultados Prueba realizada con SAGB

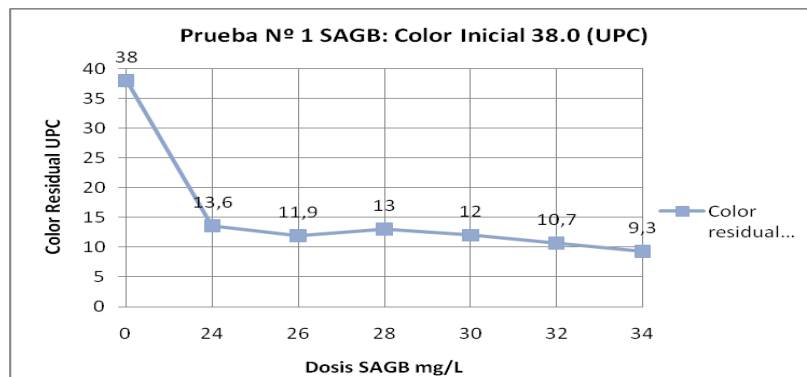
VASOS	1	2	3	4	5	6
Coagulante c.c	2.4	2.6	2.8	3.0	3.2	3.4
Dosis mg/L	24	26	28	30	32	34
pH	7.48	7.38	7.34	7.30	7.26	7.24
Turbidez U.N.T	1.36	1.16	1.14	1.25	1.16	0.92
Color UPC	13.6	11.9	13.0	12.0	10.7	9.3
Al Residual mg/L	0.61	0.58	0.63	0.62	0.58	0.54

En la tabla anterior se puede apreciar el comportamiento del producto como resultante de su acción floculante en aguas mínimamente alteradas en su composición natural, los datos registrados presentan en todos los casos para esta prueba una relación inversamente proporcional a la dosis de producto adicionado, mejorando en cada concentración suministrada su acción floculante en el fluido que arrojó los mejores valores al adicionar 34 ppm de SAGB (ver datos sombreados), cabe resaltar que una dosis por debajo de las 24 ppm del producto no garantizan la acción total e idónea del producto para la potabilización de aguas de dicha naturaleza, según los valores representados en la columna 1 (VASO No.1).

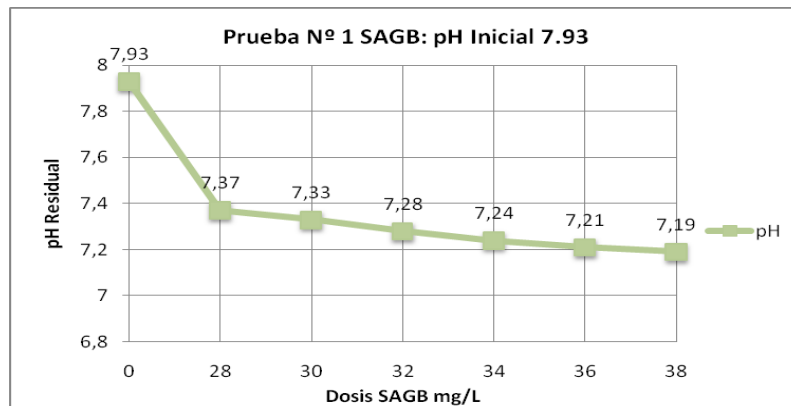
Los valores fisicoquímicos primordiales para evaluar aguas aptas para el consumo humano se registraron y analizaron en una serie de gráficas que permiten evidenciar y ratificar la acción del SAGB en cada dosis suministrada al fluido a tratar.



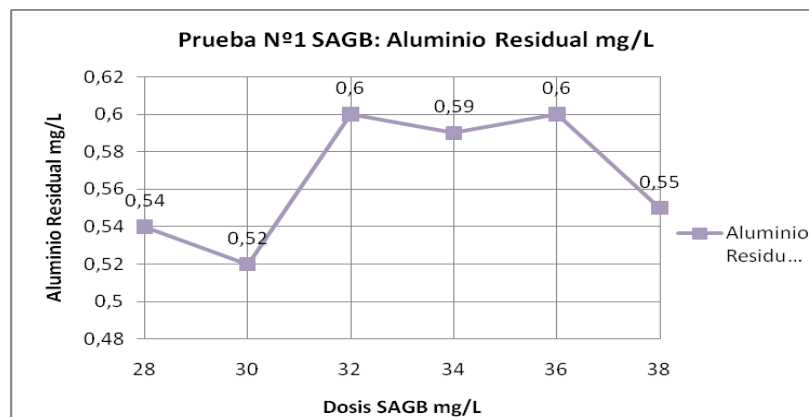
Grafica. 37. Dosis SAGB Vs Turbiedad. (Turbiedad permitida 5 UNT)



Grafica. 38. Dosis SAGB Vs Color residual. (Color permitido 15 UPC)



Grafica. 39. Dosis SAGB Vs pH residual. (pH Permitido entre 6,5 y 9)



Grafica. 40. Dosis SAGB Vs Aluminio residual. (Aluminio residual permitido 0,2 mg/L)

Los niveles de turbiedad expresados en la gráfica 37 tuvieron un cambio significativo una vez se adicionó la primer dosis (24 ppm) del producto, otorgando una disminucion de 3.46 U.N.T al agua estabilizando su turbiedad hasta llegar a las 1.16 U.N.T ; Una vez se aumenta gradualmente la dosificación del coagulante

se observa un descenso uniforme de los niveles de turbiedad, alcanzando su máxima expresión a los 34 ppm, donde reducen los valores de turbiedad residual significativamente a casi nada. Demostrando una vez más la eficiencia del SAGB al momento de tratar aguas catalogadas de baja turbiedad.

Según la normatividad Colombiana que determina los valores límites para aguas aptas para consumo humano, deben tener un índice menor a las 15 unidades de platino cobalto que caracterizan el color en este tipo de fluidos, por ende se observa una reducción importante en dichas unidades una vez adicionada la primera dosis del producto sujeto de análisis, ya que al agregar al medio 24 ppm este sufre una disminución en más de 25 UPC presentes, lo cual determina que este producto estabiliza los niveles de color en el agua de manera inmediata manteniéndose estable y disminuyendo gradualmente cada vez que se adiciona una mayor dosis de sulfato de aluminio granulado tipo B capaces de llevar a esta muestra hasta los 9.3 unidades, así como se muestra en la gráfica 38 al momento de adicionarse 34 ppm de producto.

Los niveles de potencial de hidrógeno en la muestra N° 2 (ver gráfica 39) se encuentran dentro de los parámetros normales para aguas dulces, manteniéndose neutras y aptas en este sentido para su consumo, sin embargo la incorporación y acción del producto permite ajustar de manera más específica estos valores, ya que según el comportamiento físico-químico del fluido en cada una de las dosis de SAGB suministradas presentan una reducción gradual que no superan las 0.8 unidades en todo el proceso, sin olvidar que la legislación colombiana en su descripción para aguas aptas para el consumo humano contempla niveles de pH que van desde los seis (6.5) hasta las nueve (9) unidades como máximo para aceptar un fluido como potable.

La gráfica 40 representa el aluminio residual presente en cada uno de los casos correspondientes al número de dosis suministradas de sulfato de aluminio granulado tipo B. en ella se puede observar una vez más, un comportamiento errático del producto en este parámetro, debido a que los registros demuestran una sobresaturación del medio con aluminio residual para cada uno de los casos, que van desde 0.52 mg/L hasta 0.6 mg/L y de acuerdo con la constitución Colombiana, el valor máximo permitido en aguas potabilizadas es de 0.2 mg/L

4.3.2 Análisis Mackenfloc IV.

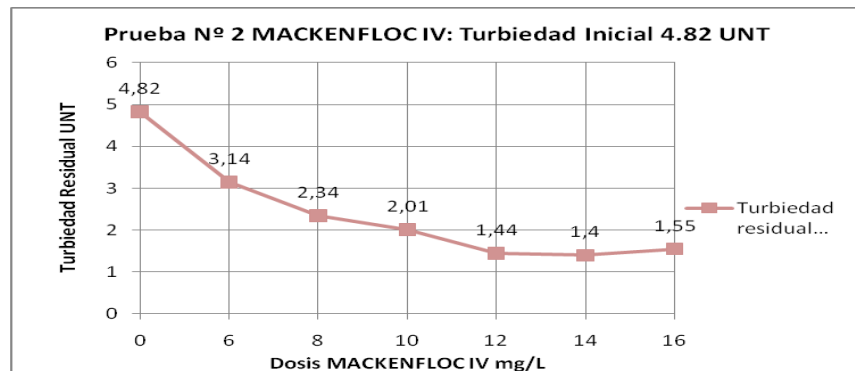
Los valores fisicoquímicos resultantes de la acción de este producto evidencio el comportamiento del químico utilizado para esta ocasión y permitió evaluar el agua tratada con este producto.

Estos valores se encuentran plasmados en la tabla 21.

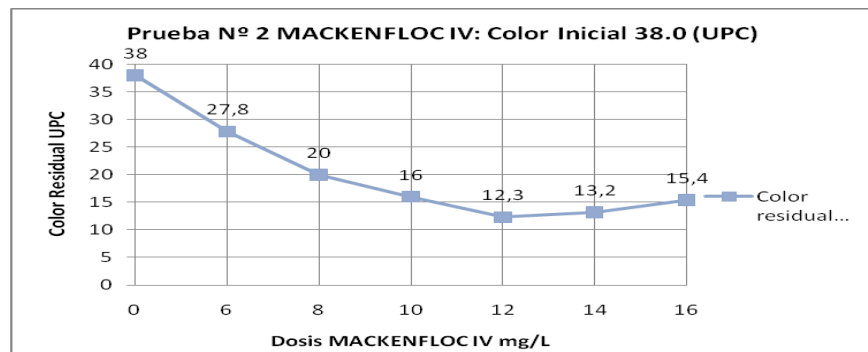
Tabla 21. Resultados Prueba realizada con Mackenfloc IV

VASOS	1	2	3	4	5	6
Coagulante c.c	0.6	0.8	1.0	1.2	1.4	1.6
Dosis mg/L	6	8	10	12	14	16
pH	7.98	7.97	7.95	7.88	7.87	7.84
Turbidez U.N.T	3.14	2.34	2.01	1.44	1.40	1.55
Color UPC	27.8	20.0	16.0	12.3	13.2	15.4
Al Residual mg/L	0.16	0.17	0.2	0.17	0.2	0.21

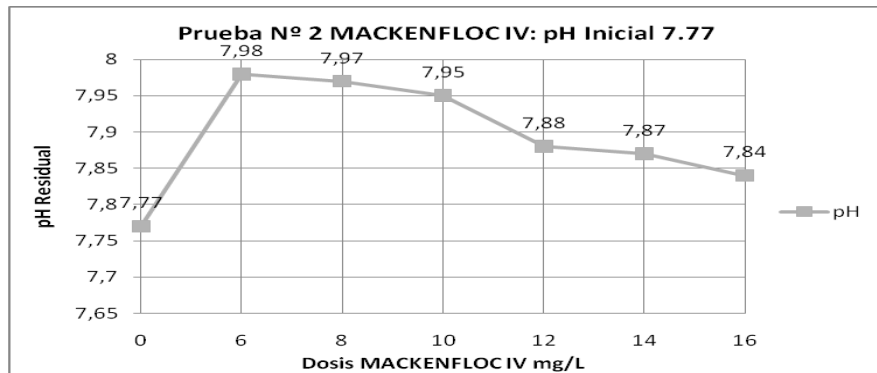
Los resultados obtenidos en este punto del proceso de análisis del producto mackenfloc IV para tratar la muestra N° 2 de agua cruda colectada para dicho fin, permitió datar y evidenciar ciertas particularidades, una de ellas es la velocidad de reacción en la formación del floc puesto que una vez adicionadas las dosis del producto este actuó de manera lenta; por otro lado la relación de turbiedad y color luego de la acción floculante y la concentración suministrada en cada punto es inversa ya que al aumentar cada dosis los niveles en los parámetros fisicoquímicos ya mencionados presentaron una disminución gradual, lo cual no ocurrió con las unidades de platino-cobalto (UPC) y el aluminio residual ya que estos presentaron una relación directamente proporcional a la dosis suministrada luego de 12 ppm.



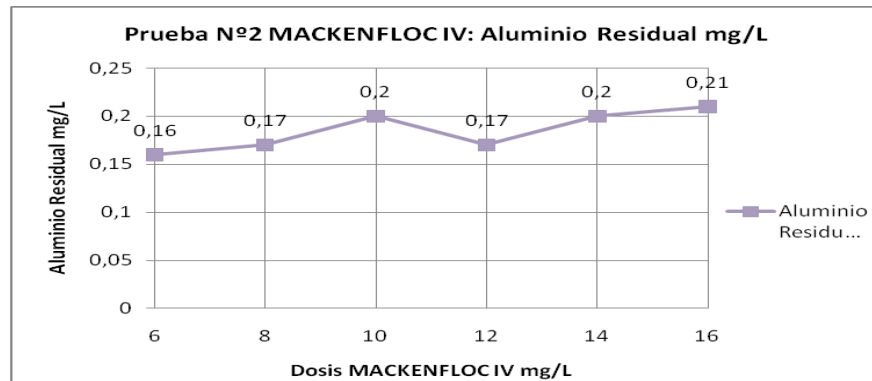
Grafica. 41. Dosis Mackenfloc IV Vs Turbiedad residual. (Turbiedad permitida 5 UNT)



Grafica. 42. Dosis Mackenfloc IV Vs Color residual. (Color permitido 15 UPC)



Grafica. 43. Dosis Mackenfloc IV Vs pH residual. (pH permitido entre 6,5 y 9)



Grafica. 44. Dosis Mackenfloc IV Vs Aluminio residual. (Aluminio residual permitido 0,2 mg/L)

Los valores de las graficas 41 y 42 permiten identificar el comportamiento fisicoquimico de la turbiedad y el color del fluido luego de la accion floculante del mackenfloc IV demostrando que es un producto efectivo en el control de estos dos aspectos, lo cual permite darle una buena apariencia superficialmente, aunque su aspecto mejoró notablemente su composición química se ve afectada con los extraños incrementos en los niveles de pH y aluminio residual presentes en cada una de las dosificaciones realizadas. De acuerdo con la gráfica 43 se puede evidenciar que el sistema se torna un poco alcalino una vez se adiciona la primera

dosis. Aún así, el incremento no representa significancia alguna, si se refiere a los estandares establecidos por la ley Colombiana para el manejo y adecuacion de aguas aptas para el consumo humano; sin embargo cabe resaltar que una vez se aumentan las concentraciones el sistema tiende a equilibrar los iones hidronio acercandolo al valor del pH originario de la muestra del fluido.

En cuanto al aluminio residual representado en la gráfica 44, el producto químico aporta al fluido gradualmente ciertas cantidades de aluminio que no pueden ser atrapadas por el floc y se convierte en un factor determinante en la evaluación de la calidad del agua, sin embargo estos valores no constituye una casual de emergencia, pero sí de cuidado, teniendo en cuenta que son aguas sedimentadas.

4.3.3 Mackenfloc III

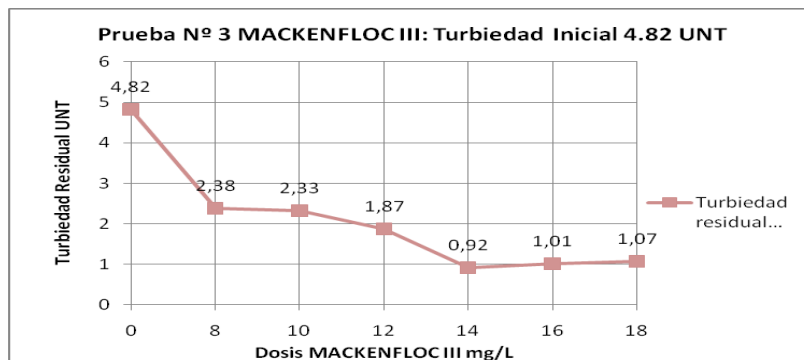
La acción del producto químico Mackenfloc III en el proceso de potabilización de aguas crudas determinó por medio de pruebas de laboratorio una serie de valores fisicoquímicos que datan del comportamiento de este y su eficiencia al momento de tratar fluidos.

Al correr el respectivo análisis para este producto se pudieron obtener los siguientes datos expuestos en la tabla 22.

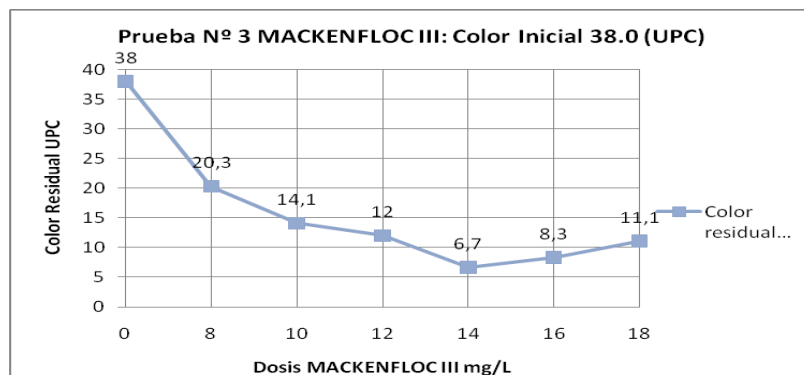
Tabla 22. Resultados Prueba realizada con Mackenfloc III

VASOS	1	2	3	4	5	6
Coagulante c.c	0.8	1.0	1.2	1.4	1.6	1.8
Dosis mg/L	8	10	12	14	16	18
pH	8.05	8.02	8.00	7.98	7.96	7.92
Turbidez U.N.T	2.38	2.33	1.87	0.92	1.01	1.07
Color UPC	20.3	14.1	12.0	6.7	8.3	11.1
Al Residual mg/L	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2

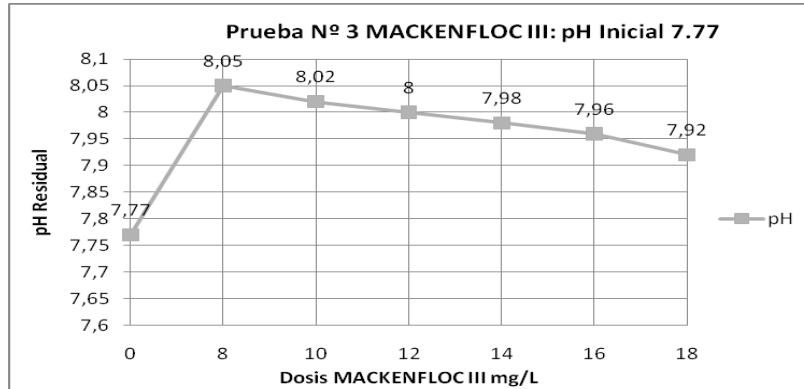
Las cifras obtenidas durante el análisis demostró la manera cómo actúa el producto una vez adicionado al agua cruda para su tratamiento, de ello se puede afirmar que mantiene las expectativas de acción esperadas, ya que reduce de manera gradual y significativa los parámetros fisicoquímicos iniciales en la muestra, sin embargo la velocidad de reacción para esta prueba y la formación del floc no inició hasta después de los cinco (5) minutos de haberse partido con la fase de mezcla lenta a unas 40 RPM catalogándose como una reacción lenta si se habla de fluidos con índices físicos y químicos bajos, propios de aguas en época de verano.



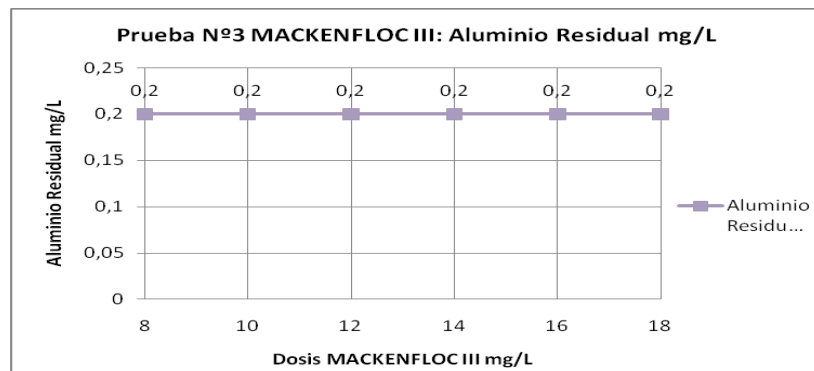
Grafica. 45. Dosis Mackenfloc III Vs Turbiedad residual. (Turbiedad permitida 5 UNT)



Grafica. 46. Dosis Mackenfloc III Vs Color residual. (Color permitido 15 UPC)



Grafica. 47. Dosis Mackenfloc III Vs pH residual. (pH permitido entre 6,5 y 9)



Gráfica. 48. Dosis Mackenfloc III Vs Aluminio residual. (Aluminio residual permitido 0,2 mg/L)

Los parámetros físicos como la turbiedad y el color del agua, representados en las gráficas 45 y 46 respectivamente, luego de la acción del producto químico mackenfloc III es satisfactorio, ya que reduce los valores en más del 80%, lo cual garantiza un agua de aspecto aparente idóneo para su consumo, sin embargo el aspecto químico a analizar a continuación (pH) es digno de análisis detallado ya que presenta el comportamiento expuesto en la gráfica 47. De acuerdo con lo anterior, el sistema de prueba, permite determinar las irregularidades presentes en la estabilización de los iones hidronio presentes en la muestra por el floculante utilizado; las cifras determinadas luego de la adición y la acción de 8 ppm del producto arrojó un incremento de 0,28 décimas del pH inicial en el fluido, lo cual caracteriza una sobrecarga iónica de hidronios parcialmente disueltos en el agua, sin embargo esto se debe a que el sistema se mantiene en proceso de homogenización constante y por ende existen fracciones de tiempo en las cuales el medio presenta anomalías de inhomogeneidad. Luego de la adición de 10 ppm de Mackenfloc III el fluido empieza a experimentar una disminución gradual y tendencia de estabilización a medida en que se aumentan las dosis suministradas.

Por otro lado y analizando un factor químico más para esta prueba se tiene el comportamiento del aluminio residual durante todo el proceso, expresado en la gráfica 48. Este producto otorga un comportamiento idóneo, puesto que mantiene los niveles de aluminio residual al límite de lo establecido en la resolución 2115 de 2007 en cada una de las dosificaciones proporcionadas, lo que conlleva a pensar que el químico no aporta grandes sumas de aluminio a la muestra y que la cantidad de más que se pueda adicionar por parte del producto, se aglomera y atrapa en la formación del floc.

4.3.4 Mackenfloc II

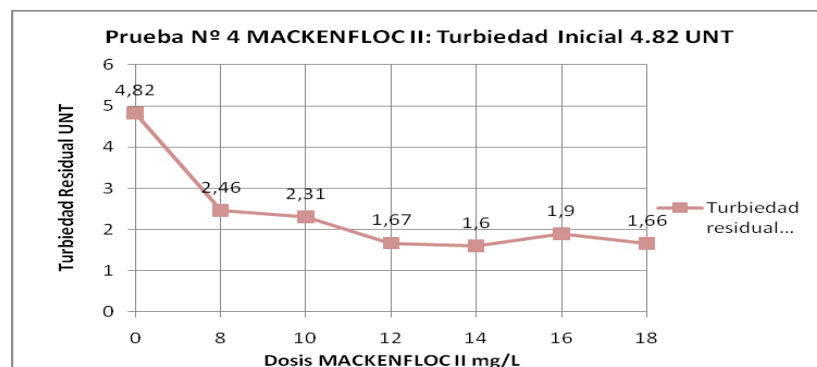
La fase de laboratorio para el análisis del producto químico Mackenfloc II en la planta de tratamiento de aguas El Jardín, permitió obtener un consolidado de valores físicos y químicos determinantes para la evaluación y tratamiento de aguas crudas dispuestas para su potabilización y consumo de la capital huilense. Estas se encuentran consignadas en la tabla 23.

Tabla 23. Resultados Prueba realizada con Mackenfloc II

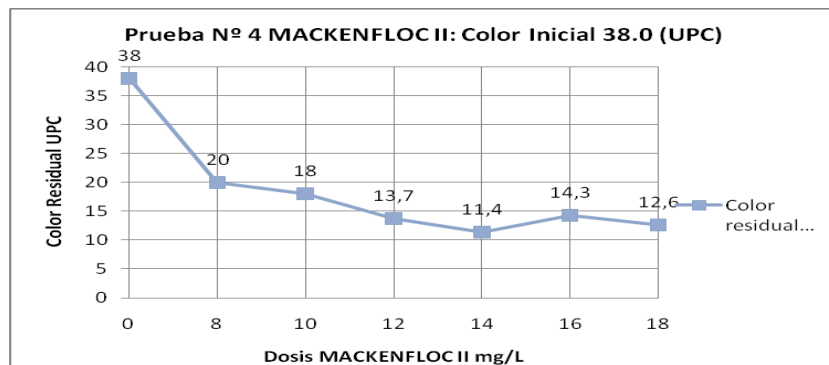
VASOS	1	2	3	4	5	6
Coagulante C.C	0.8	1.0	1.2	1.4	1.6	1.8
Dosis mg/L	8	10	12	14	16	18
pH	8.08	8.00	7.93	7.89	7.85	7.83
Turbidez U.N.T	2.46	2.31	1.67	1.60	1.9	1.66
Color UPC	20.0	18.0	13.7	11.4	14.3	12.6
Al Residual mg/L	0.19	0.21	0.19	0.2	0.23	0.24

El producto mackenfloc II en cada una de sus dosificaciones concedió una serie de valores esperados por el análisis, donde las cifras de los parámetros físicos y el pH fueron estabilizados de manera eficiente, optimizando así la calidad del agua dispuesta para esta fase del estudio, el comportamiento en cada uno de los aspectos fisicoquímicos excepto el aluminio residual presentes en la muestra ya que se redujeron en más de un 70% gracias a la acción de arrastre del proceso de sedimentación realizado con la formación del floc.

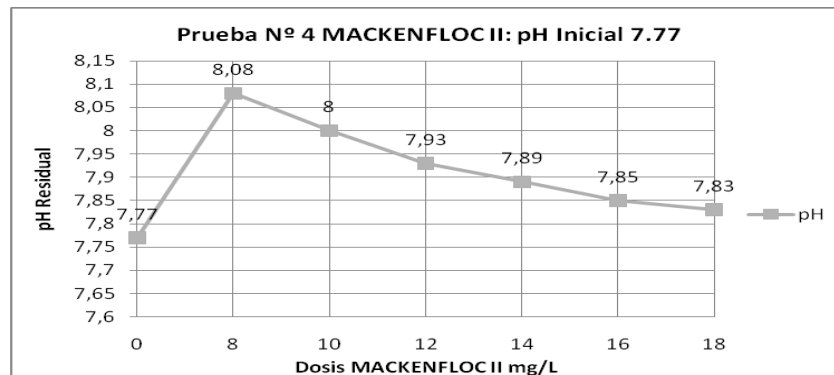
A continuación se presentan las gráficas que evidencian el comportamiento del Mackenfloc II para cada uno de los parámetros establecidos.



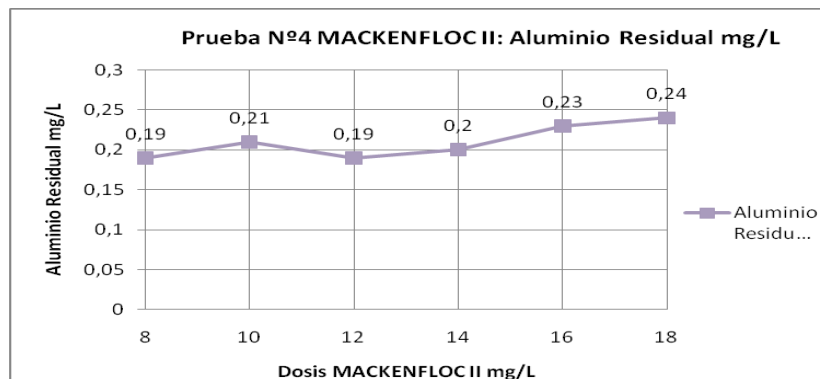
Gráfica. 49. Dosis Mackenfloc II Vs Turbiedad residual. (Turbiedad permitida 5 UNT)



Grafica. 50. Dosis Mackenfloc II Vs Color residual. (Color permitido 15 UPC)



Grafica. 51. Dosis Mackenfloc II Vs pH residual. (pH permitido entre 6,5 y 9)



Grafica. 52. Dosis Mackenfloc II Vs Aluminio residual. (Aluminio residual permitido 0,2 mg/L)

Los niveles en unidades de platino cobalto (UPC, Color) y las unidades Nefalometricas de Turbiedad (UNT) descienden considerablemente una vez se adiciona la primer dosis del producto (8 ppm) otorgando al sistema un control instantaneo de estos parametros fisicos estabilizandose y disminuyendo gradualmente con el aumento de las dosis dispuestas en cada una de las jarras de acuerdo con las gráficas 50 y 49 respectivamente.

Por otro lado y debido a la accion floculante del producto se elevan los indices de pH en un instante en el proceso de sedimentacion final asi como se muestra en la grafica 51, donde una vez adicionadas las primeras 8 ppm de mackenfloc II y

gracias a su acción floculante y aglomeración en la superficie del fluido se presenta un sobresalto en la gráfica que identifica la leve sobresaturación de iones hidronio disueltos que aun no han sido controlados y arrastrados en el proceso de sedimentación, pero que una vez más a medida que se continúa el proceso de dosificación disminuye de manera uniforme estabilizando la muestra.

En cuanto al aluminio residual (representado en la gráfica 52 se tiene que los niveles aumentaron gradualmente según como se incrementaba las dosis suministrada, debido a que el medio se enfrenta a una sobresaturación a partir de los 14 ppm aportando aluminio a la muestra, lo que indica que 14ppm es la dosis óptima para aguas típicas de épocas de verano.

4.3.5 Mackenfloc I

Los análisis corridos para establecer el comportamiento de la acción del producto Mackenfloc I en el tratamiento de cuerpos de agua crudas dispuestas para su potabilización y posterior consumo en la población opita arrojó datos fisicoquímicos determinantes resultantes de la actuación de dicho producto en aguas de propiedades físicas y químicas de baja turbiedad.

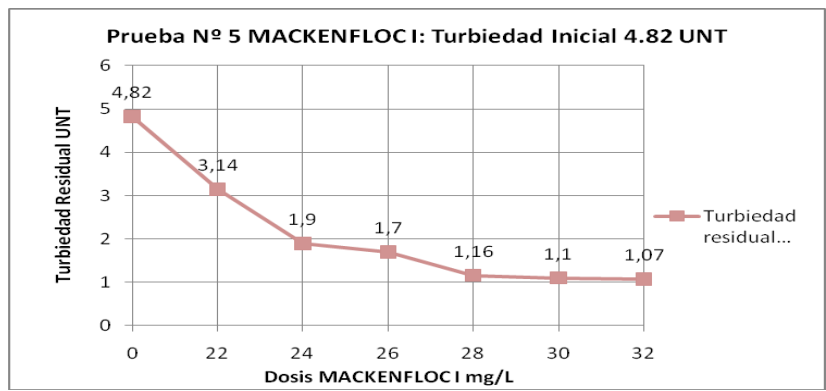
Las cifras condensadas del estudio reposan en la tabla 24.

Tabla 24. Resultados Prueba realizada con Mackenfloc I

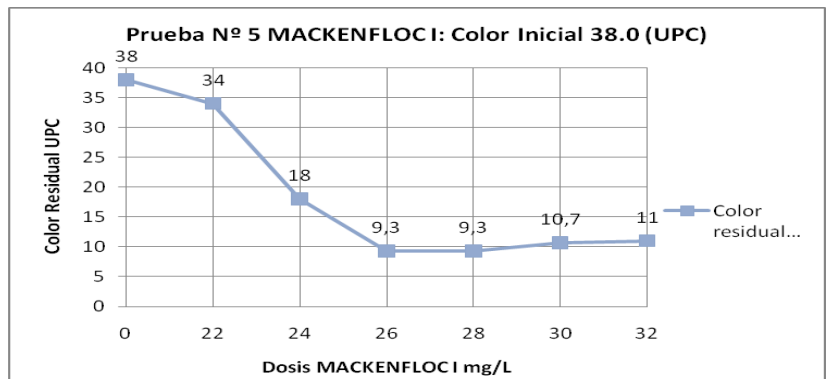
VASOS	1	2	3	4	5	6
Coagulante c.c	2.2	2.4	2.6	2.8	3.0	3.2
Dosis mg/L	22	24	26	28	30	32
PH	7.50	7.51	7.47	7.46	7.40	7.38
Turbidez U.N.T	3.14	1.90	1.70	1.16	1.10	1.07
Color UPC	34.0	18.0	9.3	9.3	10.7	11.0
Al Residual mg/L	0.62	0.61	0.6	0.59	0.54	0.52

El desarrollo de esta prueba comprende una serie de dosis que van desde las 22 ppm hasta las 32 ppm de producto adicionado al fluido, el cual colectado el 14 de Marzo de 2013 en época de verano en la ciudad de Neiva. Las cifras ratifican una vez más la acción contundente de los productos Mackenfloc en la estabilización de los parámetros físicos y pH de la muestra generando una tendencia similar a los productos de la línea de químicos analizados anteriormente.

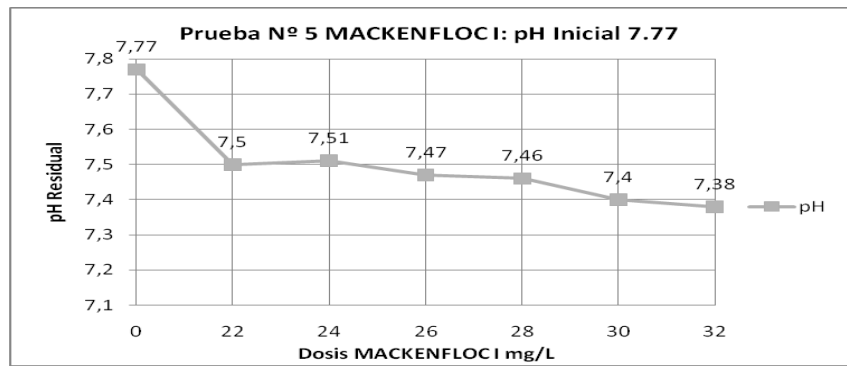
Para datar un registro del comportamiento del producto durante todo el proceso de floculación, sedimentación y tratamiento de agua se generó una serie de gráficas que permiten evaluar cada uno de las fases del análisis.



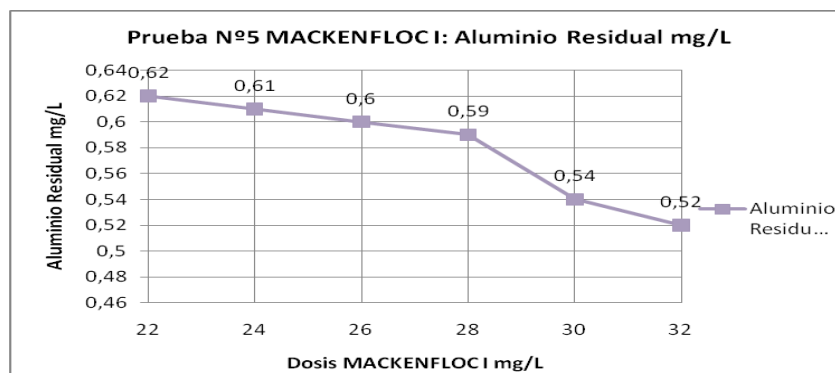
Grafica. 53. Dosis Mackenfloc I Vs Turbiedad residual. (Turbiedad permitida 5 UNT)



Grafica. 54. Dosis Mackenfloc I Vs Color residual. (Color permitido 15 UPC)



Grafica. 55. Dosis Mackenfloc I Vs pH residual. (pH permitido entre 6,5 y 9)



Grafica. 56. Dosis Mackenfloc I Vs Aluminio residual. (Aluminio residual permitido 0,2 mg/L)

Los niveles de turbiedad, color y pH del agua, estipulados en las gráficas 53, 54 y 55, objeto de analisis luego de la accion del producto quimico utilizado, demostró que es capaz de reducir dichos parametros fisicoquimicos en mas de un 50% dentro de los valores normales aceptados por la resolucio 2115 de la constitucion Colombiana, otorgando al medio un aspecto aparentemente idoneo para su consumo, esto gracias a que el producto Mackenfloc I presenta una velocidad de reaccion optima donde la formacion del floc permite aglomerar la mayor cantidad de solidos y contaminantes ajenos de aguas potables, optimizando y garantizando el proceso final se sedimentacion de dichos elementos.

De acuerdo con la grafica 56, los niveles de aluminio residual presentes durante el analisis del producto en el tratamiento de la muestra de agua, excedieron los valores maximos permitidos por la legislacion Colombiana, sin embargo la accion del producto tan solo otorgo una reduccion gradual de las partes por millon de aluminio presentes en el fluido y no una decreciente subita que situara los valores dentro de las cifras permitidas; Esto se debe a que la cantidad de aluminio libre disuelto en el fluido es demasiado para que el proceso de aglomeracion en la formacion del floc pudiese atraparlos y sedimentarlos como se estipula en un proceso ideno de tratamiento de aguas.

4.3.6 Hidroxicloruro (PAC)

Los trabajos realizados con el PAC para el tratamiento de aguas crudas para consumo humano confirió a este analisis una serie de datos expuestas en cifras para comprender el comportamiento de dicho compuesto una vez adicionado al cuerpo de agua.

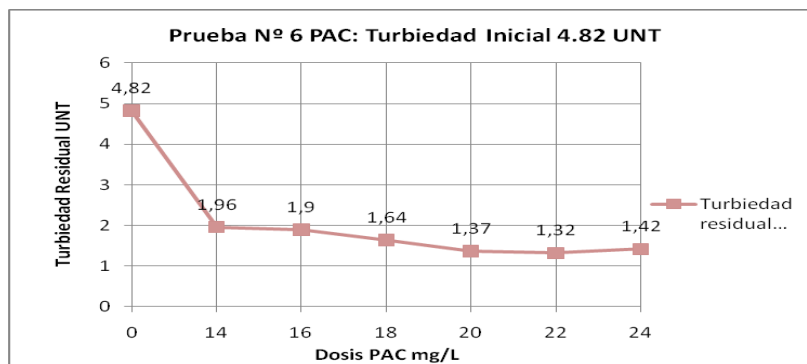
Los valores fueron registrados en la tabla.25.

Tabla 25. Resultados Prueba realizada con PAC

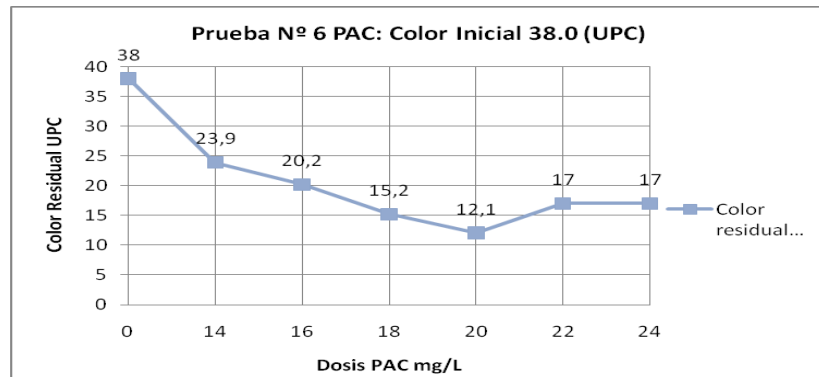
VASOS	1	2	3	4	5	6
Coagulante C.C	1.4	1.6	1.8	2.0	2.2	2.4
Dosis mg/L	14	16	18	20	22	24
pH	7.68	7.66	7.68	7.67	7.66	7.64
Turbidez U.N.T	1.96	1.90	1.64	1.37	1.32	1.42
Color UPC	23.9	20.2	15.2	12.1	17.0	17.0
Al Residual mg/L	0.26	0.26	0.21	0.25	0.28	0.28

Como se puede apreciar en la tabla anterior se puede afirmar que el producto estabiliza todos los parámetros fisicoquímicos iniciales del agua cruda colectada en temporada de verano para el desarrollo de esta prueba, donde el afluente hídrico no contempla alteración alguna y el fluido presenta las mejores condiciones para su tratamiento; Los datos consignados reflejan sin lugar a dudas su acción equilibrante gracias a su capacidad de floculación que presenta, aglomerando de forma rápida todos los sólidos indeseables dispuestos para su posterior sedimentación. La columna Numero tres (3) que se encuentra sombreada representa los mejores valores obtenidos durante todo el análisis dando así que la concentración ideal a utilizar de este producto son 18 ppm por cada litro de agua, sin embargo es necesario realizar una análisis más detallado de los parámetros físicos y químicos obtenidos para permitir una mirada más amplia de su acción como floculante.

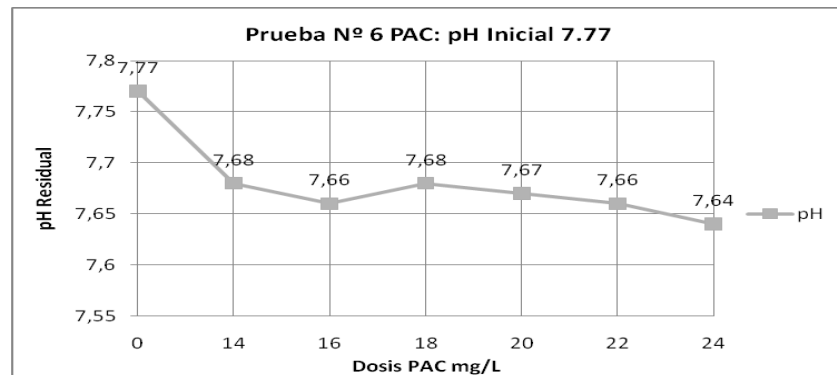
A continuación se presenta una serie de gráficas que pretenden visualizar la acción del producto utilizado en cada una de las concentraciones utilizadas



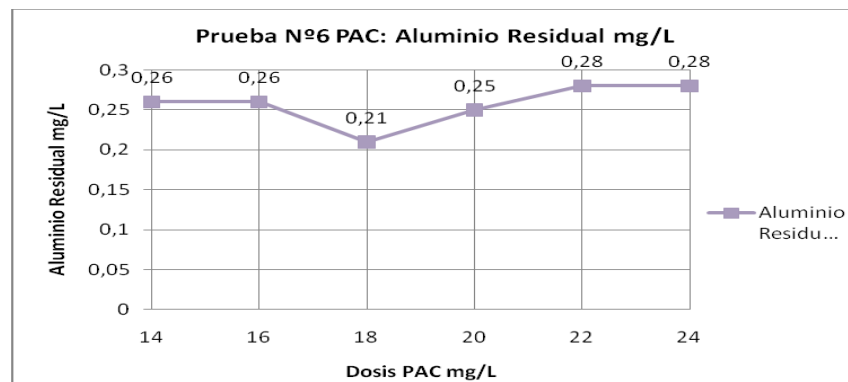
Grafica. 57. Dosis (PAC) Vs Turbiedad residual. (Turbiedad permitida 5 UNT)



Grafica. 58. Dosis (PAC) Vs Color residual. (Color permitido 15 UPC)



Grafica. 59. Dosis (PAC) Vs pH residual. (pH permitido entre 6,5 y 9)



Grafica. 60. Dosis (PAC) Vs Aluminio residual. (Aluminio residual permitido 0,2 mg/L)

Los valores de turbiedad y pH correspondientes a las gráficas 57 y 59 respectivamente, presentan una disminución que evidencian la acción reguladora del producto puesto que redujo en gran proporción los niveles de turbiedad en más de un 50% estimado, por otro lado los niveles de pH se mantuvieron neutros presentando una ligera acidificación en 0.13 puntos, que por supuesto no representan una alteración significativa al medio.

La grafica 58 presenta la actuación del químico en el control de las unidades de platino-cobalto (UPC) existentes en el medio, lo cual confiere una coloración translúcida idónea característica de aguas potables, sin embargo este aspecto es

aparente, ya que no garantiza la correcta potabilización del fluido tratado; una de las concentraciones más adecuadas del producto utilizado durante el análisis fue la adición de 20 ppm que arrojó los valores más bajos, lo que representa una reducción del 60% en las unidades de platino-cobalto en el agua luego de la acción floculante del producto.

Por último, los niveles de aluminio residual superan levemente el tope máximo establecido por la legislación Colombiana que describe las facultades fisicoquímicas máximas para la aceptación de aguas para consumo humano, esto se debe a que el producto en su proceso de floculación y posterior sedimentación de aquellas partículas aglomeradas en forma de floc, dejaron luego de su acción una cierta cantidad de iones Al^{+} que representan una mínima saturación de los mismos en el medio, ocasionando así en cada adición de producto un incremento gradual en los niveles de aluminio residual finales.

4.3.7 Sulfato de Aluminio Líquido Tipo B (SALB)

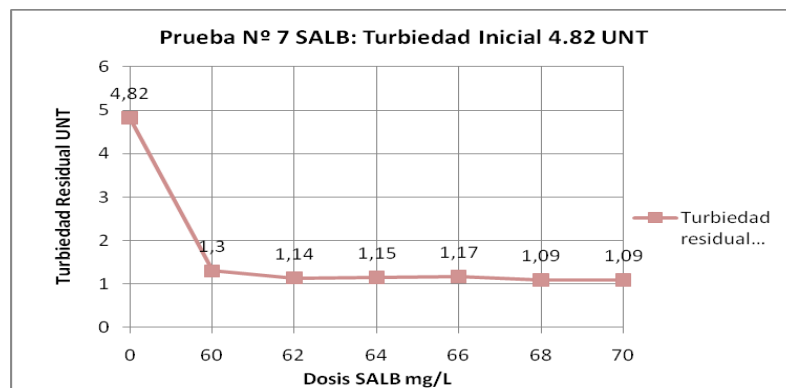
Las pruebas realizadas con el sulfato de aluminio tipo B, esta vez en presentación líquida, arrojó una serie de datos ciertamente esperados por este análisis, puesto que anteriormente se estudió la acción de este producto en su presentación granulada; las cifras obtenidas están condensadas en la tabla 26.

Tabla 26. Resultados Prueba realizada con SALB.

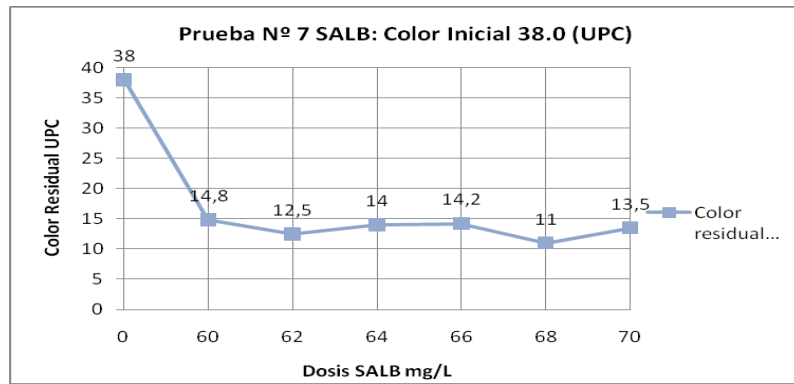
VASOS	1	2	3	4	5	6
Coagulante c.c	6.0	6.2	6.4	6.6	6.8	7.0
Dosis mg/L	60	62	64	66	68	70
pH	7.4	7.31	7.19	7.14	7.12	7.10
Turbidez U.N.T	1.30	1.14	1.15	1.17	1.09	1.09
Color UPC	14.8	12.5	14.0	14.2	11.0	13.5
Al Residual mg/L	0.71	0.70	0.70	0.68	0.68	0.72

los valores resultantes determinaron el comportamiento del producto gracias al análisis final que se le realizó a la muestra de agua colectada en cada una de las jarras luego de su acción floculante, de ello se puede afirmar que el producto químico maneja una dosificación elevada para la obtención de resultados medianamente aceptables, destacando que la naturaleza fisicoquímica del agua es la más apropiada para su potabilización ya que no presenta índices elevados; la zona sombreada (columna No.5, Tabla 26) en la tabla representa la concentración más idónea a utilizar del producto para el logro de los mejores resultados o de los valores más bajos en el proceso.

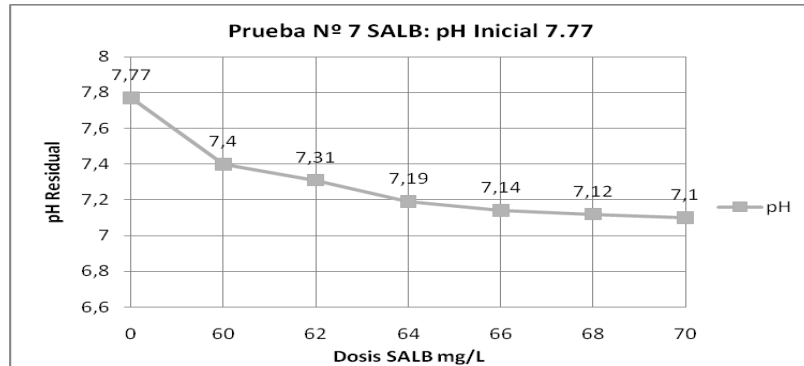
Para determinar objetivamente el accionar del producto en el control de los parámetros fisicoquímicos iniciales, se realizó una serie de gráficas que permiten visualizar los rangos de control y estabilización de partículas indeseables en aguas potables.



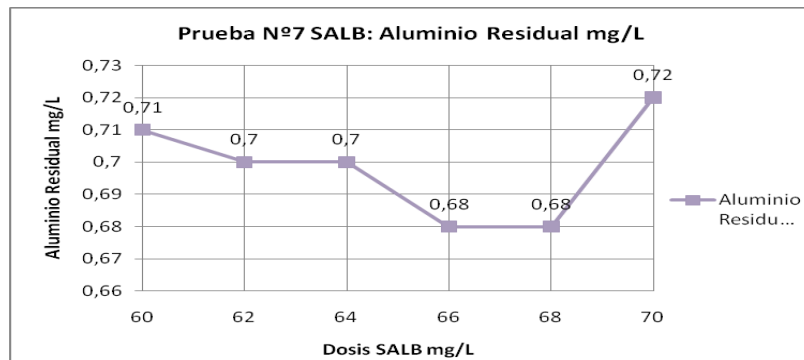
Grafica. 61. Dosis de SALB Vs Turbiedad residual. (Turbiedad Permitida 5 UNT)



Grafica. 62. Dosis de SALB Vs Color residual. (Color permitido 15 UPC)



Grafica. 63. Dosis de SALB Vs pH residual. (pH permitido entre 6,5 y 9)



Grafica. 64. Dosis de SALB Vs Aluminio residual. (Aluminio residual permitido 0,2 mg/L)

Los niveles en unidades nefelométricas de turbiedad presentes en el medio (Gráfica 61) se redujeron en un 70% dando una efectividad ciertamente esperada del químico, ya que la presentación del producto en estado líquido otorga una velocidad de reacción más homogénea y rápida en comparación al compuesto de tipo granulado utilizado anteriormente sin embargo las dosificaciones son relativamente altas para ser precisos el doble.

La gráfica 62 muestra el comportamiento de las unidades de platino-cobalto presentes en cada una de las dosificaciones suministradas y su acción en cada punto del análisis; una vez adicionados los primeros 60 .ppm del producto, los

resultados fueron instantaneos de acuerdo a como se iba homogenizando el medio, de ahí en adelante el fluido presenta un equilibrio aparente entre el rango de 14.8 y 11 UPC durante todo el proceso lo cual ratifica la acción contundente del químico para el control de unidades elevadas de color en fluidos.

El grado de acidez del agua dispuesta para su tratamiento durante la acción del producto químico permitió evidenciar el comportamiento decreciente gradual que se genera una vez se adiciona el sulfato de aluminio líquido tipo B (Gráfica 63) manteniendo una relación inversamente proporcional a la dosificación suministrada, sin embargo el cambio está contemplado en tan solo 0,6 puntos del pH inicial, lo cual no representa una variación circunstancial que pueda ser objeto de estudio detallado.

La cantidad de aluminio residual presentes en el medio (Gráfica 64) luego de la acción floculante del producto deja a la vista una serie de anomalías, una de ellas es la irregularidad en las concentraciones de aluminio residual en cada una de las dosificaciones, previstas, puesto que los valores son bastante atípicos unos de otros y sobrepasan el límite permitido en un 200% según la legislación Colombiana; al adicionarse 70 ppm del producto en el fluido se observa un disparo en las cifras de la cantidad de aluminio residual presentes, lo cual ratifica una vez más lo atípico del comportamiento de este producto al momento de controlar dichos niveles.

4.3.8 Quinsafloc

Las pruebas corridas para el análisis del producto químico Quinsafloc maneja una serie de concentraciones medianamente bajas durante todo el proceso donde los cuales otorgaron una serie de datos que serán sujeto de análisis más adelante. Los valores colectados durante el procedimiento se plasmaron en la tabla 27.

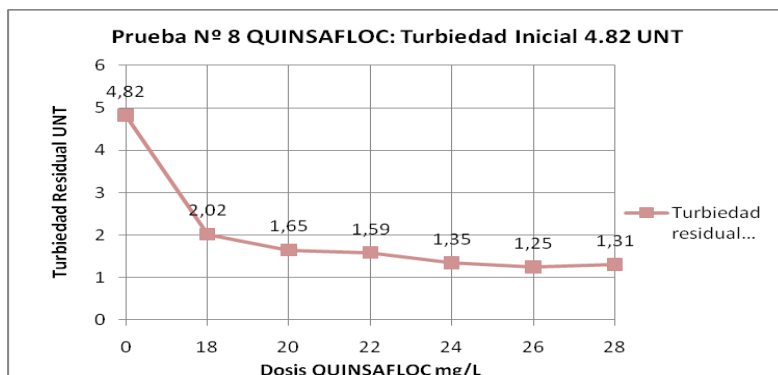
Tabla 27. Resultados Prueba realizada con Quinsafloc.

VASOS	1	2	3	4	5	6
Coagulante c.c	1.8	2.0	2.2	2.4	2.6	2.8
Dosis mg/L	18	20	22	24	26	28
pH	7.68	7.66	7.63	7.58	7.55	7.54
Turbidez U.N.T	2.02	1.65	1.59	1.35	1.25	1.31
Color UPC	17.3	15.7	11.6	9.3	10.2	11.0
Al Residual mg/L	0.23	0.23	0.24	0.22	0.23	0.25

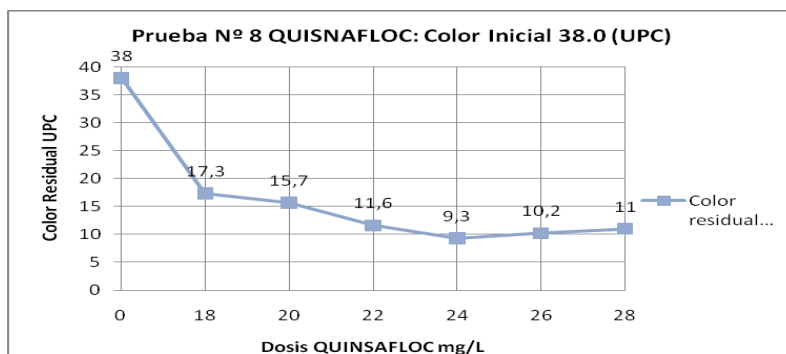
El control y estabilización de los parámetros fisicoquímicos del agua cruda a tratar por este producto sin lugar a dudas es la mejor, ya que cuenta con índices bajos de turbiedad, color y niveles normales de pH característicos de aguas colectadas en épocas de verano, lo cual hace que su tratamiento sea más sencillo aparentemente, en la tabla 27 se evidencia que el producto no tiene dificultad

alguna en reducir estos parámetros ya que con la adición de 24 ppm del producto es suficientes para alcanzar los niveles más bajos y estables para tratar aguas para consumo humano.

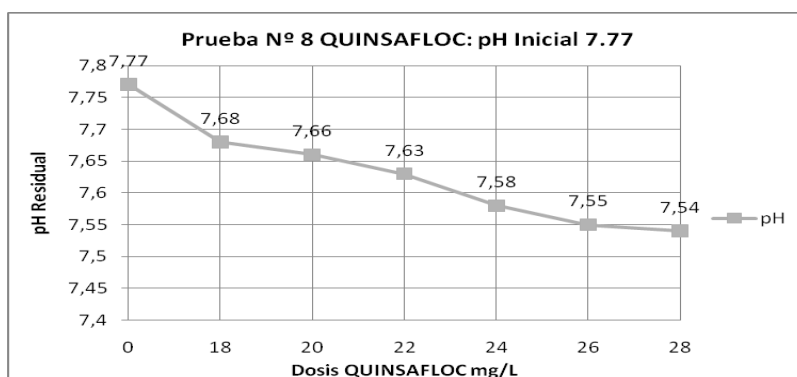
Por otro lado y en aras de realizar un análisis más efectivo de la acción estabilizadora del producto en condiciones reales, se graficaron una serie de elementos que contiene los valores recogidos durante todo el proceso de estudio.



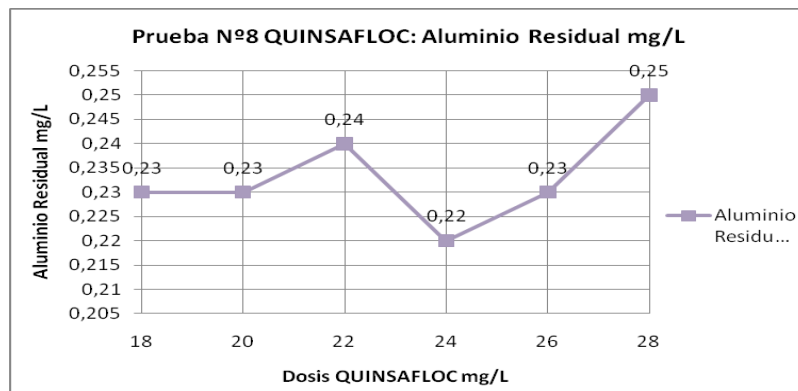
Grafica. 65. Dosis Quinsafloc Vs Turbiedad residual. (Turbiedad permitida 5 UNT)



Grafica. 66. Dosis Quinsafloc Vs Color residual. (Color permitido 15 UPC)



Grafica. 67. Dosis Quinsafloc Vs pH residual. (pH permitido entre 6,5 y 9)



Grafica. 68. Dosis Quinsafloc Vs Aluminio residual. (Aluminio residual permitido 0,2 mg/L)

Los niveles de turbiedad y color respectivamente expuestos en las graficas 65 y 66 presenta la acción del floculante utilizado, donde se observa un decrecimiento en cada una de las gráficas, lo cual indica que el producto Quinsafloc redujo en un poco más del 50% estos parámetros de manera instantánea luego de haberse adicionado 18 ppm al agua cruda y su acción de reducción se hace constante en la medida en que se aumenta la concentración en las dosis suministrada.

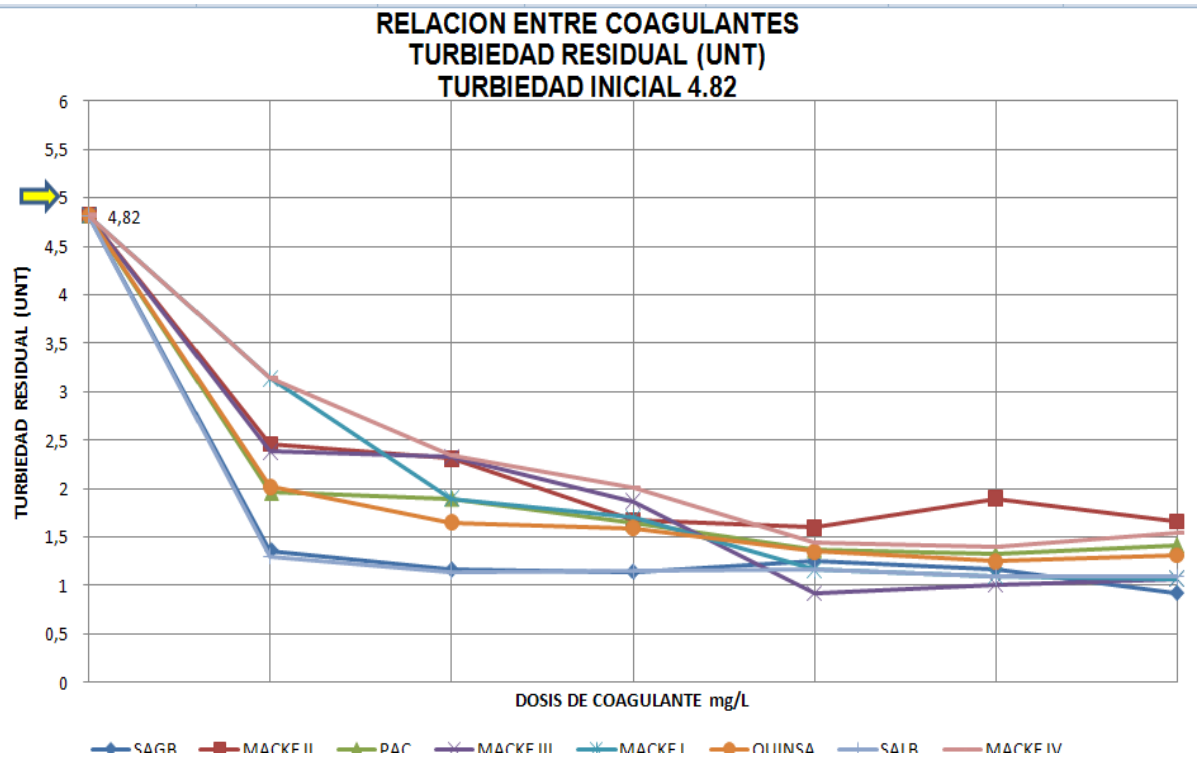
Los niveles de pH (Gráfica 67) del agua luego de la acción del floculante utilizado determino un ritmo decreciente gradual en la medida que se aumentaban las dosis determinadas en esta prueba, sin embargo este parámetro realizo un cambio de no más de 0.23 unidades que no representan un índice preocupante en la calidad del agua tratada.

La gráfica 68 representa la manera en que el aluminio de dispone disuelto en cada una de las adiciones del producto, generándose de manera inusual una sobresaturación del medio, por ello la grafica presenta irregularidades considerables oscilando entre 0.22 y 0.25 ppm sin conseguir estabilidad alguna, por otro lado desde el inicio de la intervención con el producto Quinsafloc, el aluminio residual sobrepaso los índices máximos expuestos por la resolución 2115 en su capítulo II que hace referencia a los parámetros físicos y químicos básicos para la calidad de aguas aptas para el consumo humano.

4.3.9 Comportamiento y Efectividad Físicoquímica.

Una vez se ha analizado la labor productiva de cada producto coagulante empleado, de manera individual, se dispone a realizarse un análisis comparativo entre los resultados obtenidos versus los parámetros físicoquímicos seleccionados para la realización del proyecto, con el fin de encontrar el químico coagulante de mejor desempeño durante el tratamiento realizado a la muestra de agua N° 2 catalogada como de baja turbiedad.

A continuación se exhiben las gráficas que representan la unificación de los resultados obtenidos por los análisis practicados con cada uno de los coagulantes empleados durante el tratamiento a la muestra de agua N° 2



Grafica. 69. Dosis de coagulante Vs Turbiedad residual. (Turbiedad permitida 5 UNT)

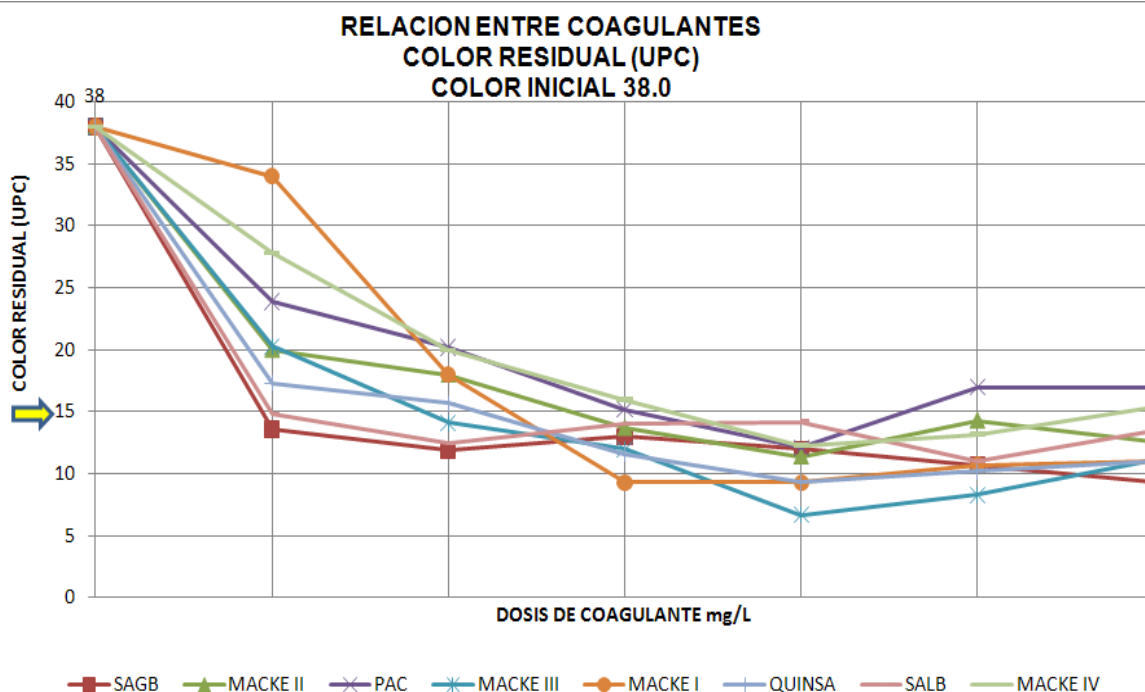
De acuerdo con la gráfica 69, a partir de la 4 dosificación utilizada en cada uno de los 8 coagulantes implementados en esta prueba para tratar una muestra de agua catalogada de baja turbiedad, se observa una reducción significativa del parámetro evaluado manteniendo un intervalo entre 1 y 2 UNT como resultado final, lo cual indica un buen desempeño de los químicos coagulantes al momento de tratar muestras de agua con baja turbiedad.

Es necesario resaltar una vez más el buen trabajo realizado por parte de las dos sales de sulfato (SAGB y SALB), las cuales desde la primera dosificación suministrada, registraron importantes descensos de turbiedad residual

manteniendo un comportamiento constante durante toda la prueba. Pero el mackenfloc III en la 4 dosificación suministrada a la muestra de agua, de acuerdo a lo plasmado en la tabla 22 y en la gráfica 69, se observa una disminución hasta 0.92 UNT con tan solo 14 ppm de coagulante adicionados a la jarra N° 4 de dicha prueba. De lo cual se infiere que es un producto que actúa con eficiencia al momento de clarificar muestras de agua con baja turbiedad.

El mackenfloc II a partir de la 4 dosificación presenta un incremento en los índices de UNT lo cual pudo haberse ocasionado por una sobresaturación del medio con el coagulante, aportando partículas a la muestra.

A continuación se presenta la gráfica 70 la cual evidencia los resultados finales de color, obtenidos a partir de tratar la muestra de agua N° 2 con los 8 coagulantes suministrados.



Grafica. 70. Dosis de coagulante Vs Color residual. (Color permitido 15 UPC)

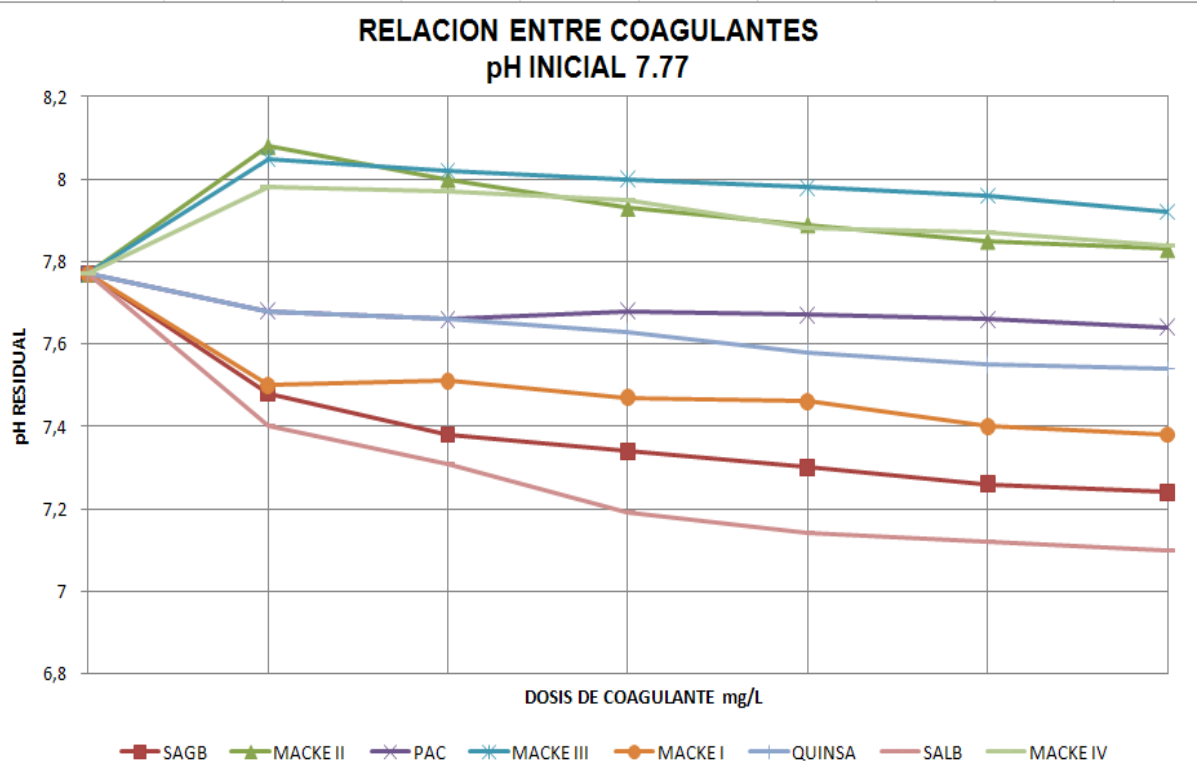
Observando la gráfica 70, se encuentra que a medida que la dosis de cada coagulante aumenta, el color residual desciende gradualmente. A partir de la 4 dosificación, el rango de acción de cada uno de los coagulantes permite que el nivel de color se encuentre dentro de los parámetros establecidos por la resolución 2115 de 2007, siendo el Mackenfloc III el producto que mejor desempeño tuvo durante la realización de esta prueba con un resultado final de 6.7 UPC.

Los productos restantes, también tuvieron un desempeño aceptable al momento de reducir el color ya fuera de tipo orgánico y/o inorgánico logrando resultados que se encuentran dentro del rango permitido para aguas potables.

Algunos coagulantes como el PAC, Macke I; Macke IV incluso el mismo Macke III una vez superada la dosis óptima tienden a desestabilizar la muestra aportando color, lo que disminuye la calidad del agua tratada. Es necesario resaltar, que

entre mayor precisión se tenga al momento de encontrar la dosis óptima, se obtendrá un mejor rendimiento del producto y serán menos los desfases de los datos adquiridos.

Por otra parte, los resultados obtenidos por la acción floculante de cada uno de los productos utilizados se plasman en la gráfica 71 la cual se presenta a continuación.



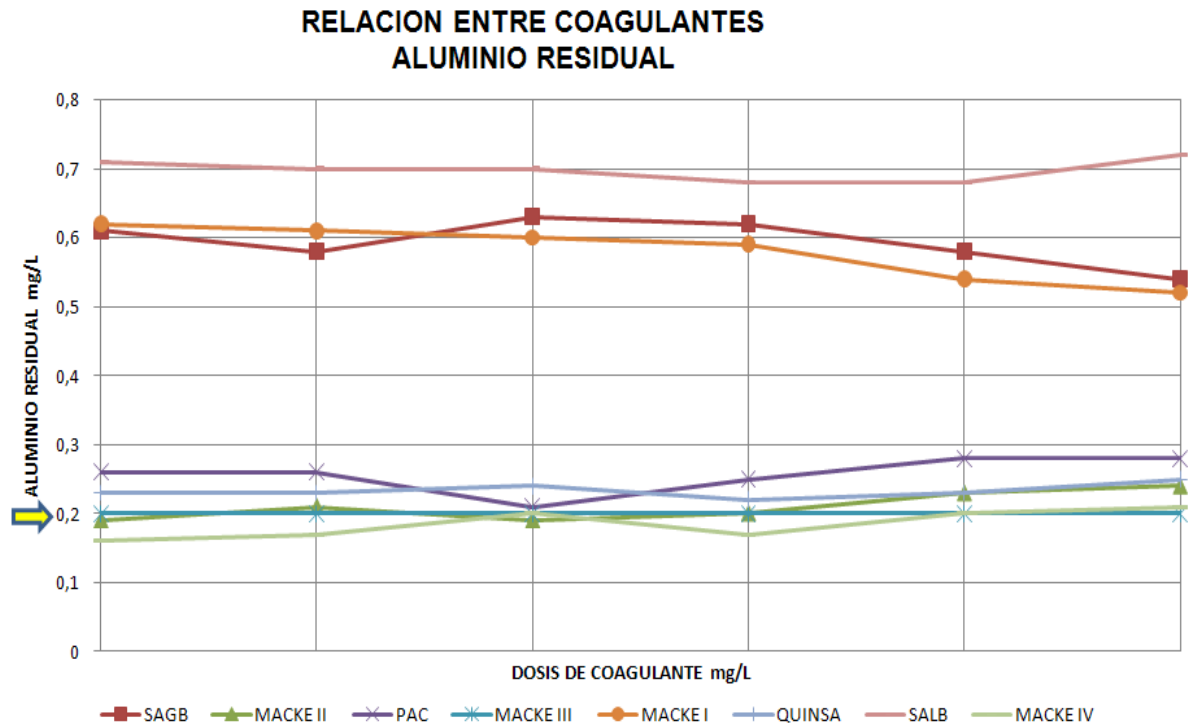
Grafica. 71. Dosis de coagulante Vs pH residual. (pH permitido entre 6,5 y 9)

Como primera medida la resolución 2115 de 2007 capítulo II estipula que: **“ARTÍCULO 4°. POTENCIAL DE HIDRÓGENO.** El valor para el potencial de hidrógeno pH del agua para consumo humano, deberá estar comprendido entre 6,5 y 9,0.”⁵⁰. Lo cual indica que según lo evidenciado en la gráfica 71 todos los coagulantes han cumplido satisfactoriamente con dicho artículo, aunque algunos productos como el Quinsafloc y el PAC, permitieron una mejor estabilidad en dicho parámetro, por el contrario del SAGB, SALB y Macke I los cuales descendieron los niveles aunque no tuvieron repercusión alguna.

Los coagulantes restantes (Macke II, III y IV) presentaron un alza en los índices de pH con relación al parámetro inicial establecido el cual pudo deberse a algún tipo de falla humana o instrumental.

⁵⁰ COLOMBIA. MINISTERIO DE LA PROTECCIÓN SOCIAL. MINISTERIO DE AMBIENTE, VIVIENDA Y DESARROLLO TERRITORIAL. Por medio de la cual se señalan características, instrumentos básicos y frecuencias del sistema de control y vigilancia para la calidad del agua para consumo humano. Bogotá D.C., 2007. p. 3.

La gráfica que viene a continuación (Grafica 72) representa la relación del aluminio residual producto del trabajo realizado con cada uno de los coagulantes mencionados en la muestra de agua N° 2



Grafica. 72. Dosis de coagulante Vs Aluminio residual. (Aluminio residual permitido 0,2 mg/L)

Teniendo en cuenta que en los parámetros analizados anteriormente la gran mayoría tuvieron un desempeño aceptable durante la evaluación de los datos, este último definirá los productos de mejor trabajo durante el tratamiento de la muestra de agua N° 2.

De acuerdo con la gráfica 72 y siendo consecuente con lo estipulado en la resolución 2115 de 2007 la cual dice que el máximo permitido de aluminio residual en aguas para consumo humano es de 0.2 mg/L; los coagulantes SAGB, SALB y Macke I, sobrepasaron con creces dicho límite hasta llegar a un rango de entre 0.5 y 0.8 mg/l de aluminio residual, lo cual revela que estos productos son poco confiables a la hora de tratar aguas catalogadas de baja turbiedad pues dejan un espectro de aluminio residual bastante alto a falta de formar floc más pesado que permita un arrastre simple más efectivo.

El Quinsafloc y el PAC aunque rebasan el nivel permitido, no es mucho el material particulado que afecte la calidad de la muestra, pero igual, se debe ajustar la dosificación para evitar dicha saturación por aluminio residual.

Los coagulantes restantes (Macke II, III, IV) tuvieron un buen rendimiento durante todo el proceso de evaluación de la muestra N° 2 y este último parámetro no es la excepción. Observando la gráfica 4.72 se encuentra que dichos productos mantuvieron un rendimiento uniforme al momento de controlar los índices de

aluminio residual y no permitieron que estos se elevaran más allá del límite permitido.

Con el fin de cerrar el análisis realizado a la muestra de agua N° 2 y al igual que en la muestra anterior, se resalta que estos datos fueron tomados a muestras de agua en fase de sedimentación luego de ser tratadas con los coagulantes mencionados en la tabla 4.2 y los resultados pueden variar luego de su posterior filtración

En los tres primeros parámetros evaluados (gráficas 69,70 y 71) los 8 coagulantes tuvieron un desempeño aceptable cada vez que se acercaban a la dosis óptima, arrojando como resultado final cifras las cuales se encuentran dentro del rango establecido por la resolución 2115 de 2007. Algunos de estos productos como fueron el Macke III y el Macke II se destacaron durante el análisis de dichos parámetros, pero en el último parámetro analizado el cual fue el aluminio residual (gráfica 72), se consolidaron los productos de la línea Mackenfloc Macke II y Macke III, los cuales tuvieron un comportamiento muy bueno no solo durante los 3 primeros análisis fisicoquímicos practicados, sino también durante la prueba de aluminio la cual demostró la capacidad y el buen campo de acción que manejan estos productos, y teniendo en cuenta que ambos trabajan de manera similar, como lo muestran las tablas 22 (Resultados Prueba realizada con Mackenfloc III) y 24 (Resultados Prueba realizada con Mackenfloc II) por muy poca diferencia el producto elegido como el más efectivo al momento de clarificar esta muestra de agua es el Mackenfloc III, el cual en su dosis óptima, la cual fue de 14 ppm, arrojó los mejores resultados.

4.4 Análisis Muestra N° 3

El tratamiento de una tercera muestra de agua cruda tomada del afluente hídrico Río Las Ceibas que proporciona el abastecimiento de líquido para gran parte de la Ciudad de Neiva, fue analizado y tratado con una serie de productos químicos alternativos objeto de estudio para el actual sistema de floculación y sedimentación en la potabilización de agua de la planta de tratamiento El Jardín de las Empresas Públicas de Neiva; Esta muestra fue colectada el 18 de Junio de 2013, época de transición de la temporada de verano con la temporada de lluvias, la cual luego de una precipitación media altero los índices fisicoquímicos normales del agua en el afluente, por consiguiente la labor de cada uno de los productos será puesto a prueba en condiciones medianamente adversas en el tratamiento de aguas.

Las propiedades fisicoquímicas de la tercera muestra de esta fase de estudio se encuentran en la tabla 28.

Tabla 28. Parámetros iniciales de la Muestra de agua No.3.

Parámetros	Valores
Turbiedad	113 UNT
Color	616 UPC
pH	8.04

Una vez más utilizando como herramienta de análisis el test de jarras, se ha desarrollado la metodología propuesta para el estudio comportamental químico y físico que se genera en cada uno de los casos con los productos a utilizar, los cuales son analizados detalladamente a continuación:

4.4.1 Sulfato de Aluminio Granulado Tipo B (SAGB)

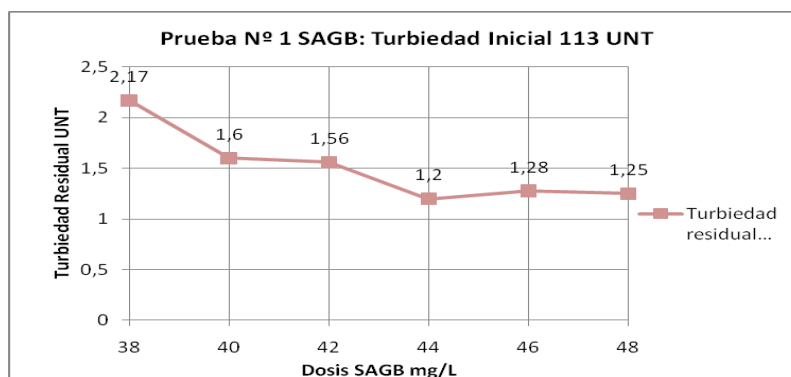
El análisis realizado al producto SAGB determinó una serie de comportamientos que corresponden a parámetros fisicoquímicos y su control por medio del uso de este coagulante comercial, estos valores se encuentran consignados en la tabla 29.

Tabla 29. Resultados Prueba realizada con SAGB.

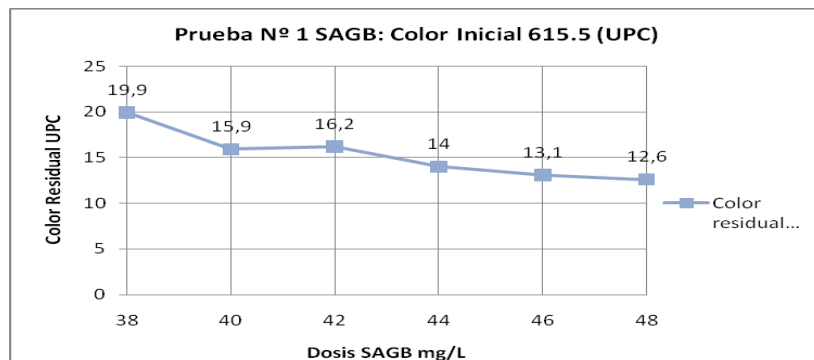
VASOS	1	2	3	4	5	6
COAGULANTE c.c	3.8	4.0	4.2	4.4	4.6	4.8
Dosis mg/L	38	40	42	44	46	48
PH	7.53	7.53	7.31	7.27	7.32	7.23
Turbidez U.N.T	2.17	1.60	1.56	1.20	1.28	1.25
Color UPC	19.9	15.9	16.2	14.0	13.1	12.6
Al Residual mg/L	0.27	0.25	0.29	0.24	0.26	0.27

Al correr la práctica de laboratorio correspondiente para el estudio del producto a base de sal de sulfato de aluminio, se logró evidenciar una serie de fenómenos en las pruebas que hacen parte del control de parámetros físicos y químicos en aguas crudas dispuestas para su tratamiento y posterior potabilización según la legislación Colombiana. Los valores obtenidos en la tabla 29 reflejan, que la concentración utilizada en la jarra No.4 da como resultado los valores más estables y controlados, donde el producto SAGB obtuvo su mayor eficiencia en la floculación de material particulado, esto gracias a los parámetros iniciales en el agua que permitieron una mayor efectividad del producto, ya que entre más altos sean los índices fisicoquímicos iniciales, el coagulante en acción tendrá gran cantidad de material no sedimentable con el cual trabajar, lo que induce una mejor formación de floc, el cual incrementa su peso con mayor facilidad permitiendo una mejor aglomeración de partículas en la superficie, provocando un mejor arrastre por sedimentación simple.

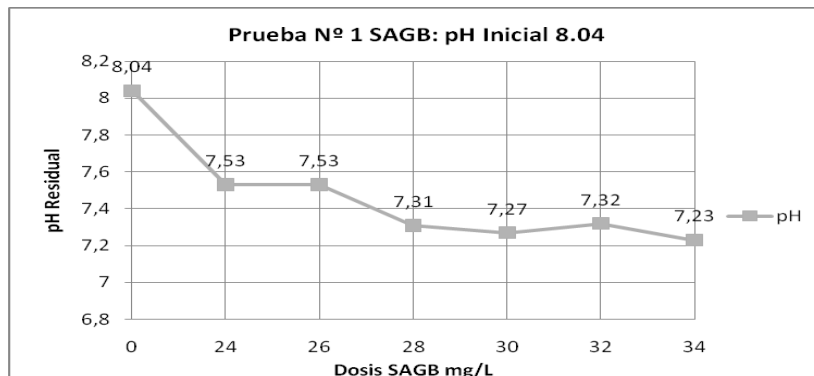
De esta manera se analizó cada uno de los parámetros fisicoquímicos con el fin de dar una mirada más detallada a la acción del producto y su efectividad en la optimización de aguas crudas.



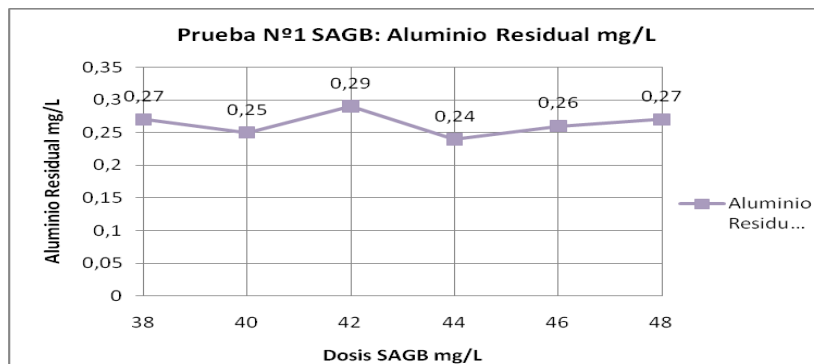
Grafica. 73. Dosis SAGB Vs Turbiedad residual. (Turbiedad permitida 5 UNT)



Grafica. 74. Dosis SAGB Vs Color residual. (Color permitido 15 UPC)



Grafica. 75. Dosis SAGB Vs pH residual. (pH permitido entre 6,5 y 9)



Grafica. 76. Dosis SAGB Vs Aluminio residual. (Aluminio residual permitido 0,2 mg/L)

Los niveles de turbiedad (Gráfica 73) y unidades de platino cobalto (Grafica 74) presentes en toda la acción del producto, sin lugar a dudas permitió caracterizar una significativa regulación en los parámetros fisicoquímicos iniciales del liquido. Al adicionarse la primer dosis de dicho producto se observó una reducción de más del 300% en dichos valores, donde el producto SAGB permitió la generación rápida y efectiva de aglomerados particulados en forma de floc en la superficie del agua, que ganaron peso con rapidez otorgando un fenómeno de arrastre amplio una vez este empezó su proceso de sedimentación. Por otro lado los niveles de iones hidronio suspendidos en el agua sufrieron una disminución en sus valores de más de 0,81 unidades durante todo el proceso,

según la Gráfica 75; el pH de la muestra se vio afectado obteniendo una ligera acidificación que le otorgo un carácter más estable y mejor situado dentro de los parámetros demandados por la resolución 2115 en su capítulo II de la constitución Colombiana, esto pudo deberse al amplio espectro de arrastre que este producto granulado a base de sales de sulfato de aluminio genero una vez formado el floc. Siguiendo con el análisis tenemos que los niveles de aluminio residual producto de la acción del producto durante toda la prueba presento el siguiente comportamiento, plasmado en la Grafica 76; Estos niveles presentaron un desequilibrio repetido en cada una de las concentraciones adicionadas, partiendo que desde el inicio de la prueba estos valores rebasaron el índice máximo permitido en la cantidad de aluminio residual presentes en aguas dispuestas para consumo humano, tenemos que: este producto aportó un exceso de iones Aluminio (Al^{+}) que fueron controlados gradualmente hasta presentar valores finales iguales a las cifras iniciales, durante todo el proceso dichos datos oscilaron entre las 0,29 y 0,24 ppm estabilizándose en 0.27 ppm de aluminio residual.

4.4.2 Mackenfloc II

Los análisis fisicoquímicos realizados para determinar el rendimiento en el control de parámetros como turbiedad, pH, color y demás, otorgaron a este estudio una serie de cifras que identifican el comportamiento al momento de estabilizar estos índices en aguas medianamente alteradas, producto de precipitaciones moderadas y crecientes considerables en el cauce del rio las ceibas, el cual proporciona el suministro de agua a gran parte de la ciudad.

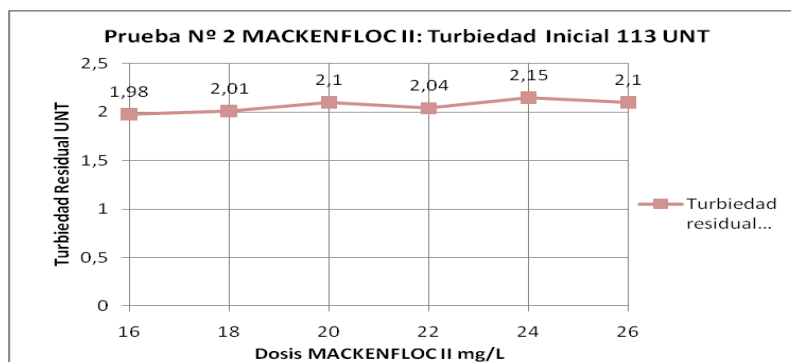
De ello se consolidó la tabla 30.

Tabla 30. Resultados Prueba realizada con Mackenfloc II.

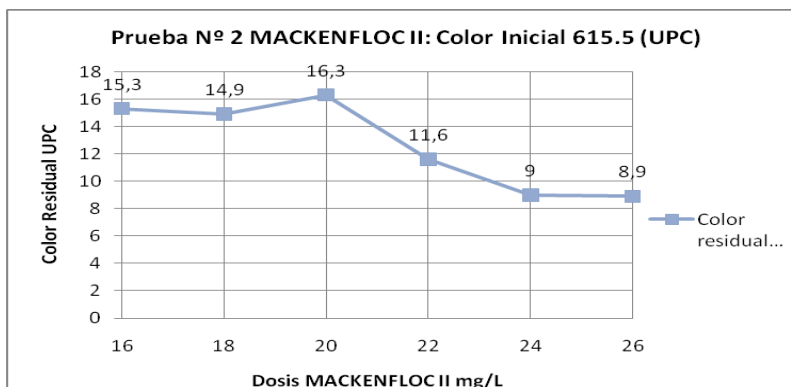
VASOS	1	2	3	4	5	6
COAGULANTE c.c	1.6	1.8	2.0	2.2	2.4	2.6
Dosis mg/L	16	18	20	22	24	26
PH	7.61	7.68	7.70	7.71	7.70	7.70
Turbidez U.N.T	1.98	2.01	2.10	2.04	2.15	2.10
Color UPC	15.3	14.9	16.3	11.6	9.0	8.9
Al Residual mg/L	0.05	0.04	0.07	0.07	0.08	0.08

De acuerdo con la Tabla anterior, se tiene que la concentración optima que permitió en la prueba obtener los resultados más satisfactorios, corresponde a la dosis de 18 ppm de producto, Este químico coagulante una vez adicionado al sistema actuó de manera rápida reduciendo drásticamente los parámetros fisicoquímicos iniciales presentes en el agua, lo cual quiere decir que es un producto con un espectro de acción bastante ideal ya que permite la formación rápida del floc en la primera fase de mezcla rápida a 100 rpm, optimizando así los

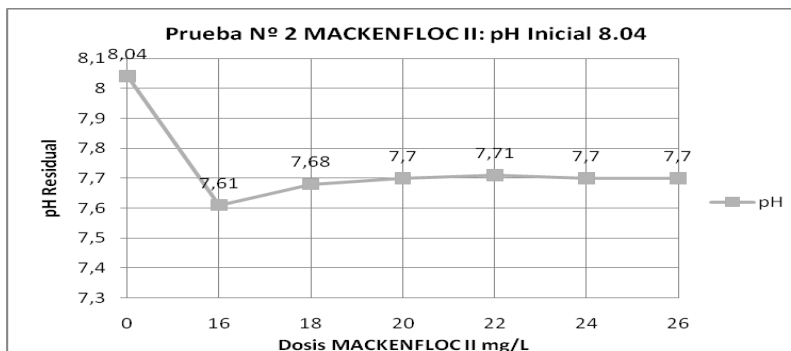
tiempos del tratamiento del fluido, permitiendo aclarar el agua con mayor rapidez. Los valores fisicoquímicos analizados se estudiaron detalladamente en una serie de gráficas que datan de manera más idónea el comportamiento de dichos parámetros antes y durante la adición de cada una de las concentraciones del producto vertido.



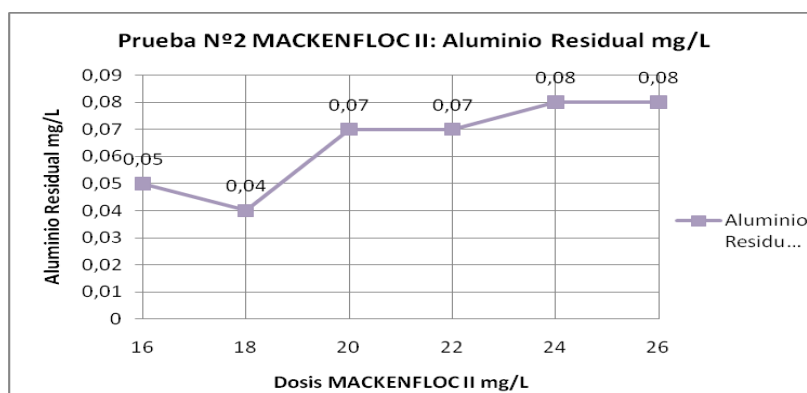
Grafica. 77. Dosis Mackenfloc II Vs Turbiedad residual. (Turbiedad permitida 5 UNT)



Grafica. 78. Dosis Mackenfloc II Vs Color residual. (Color permitido 15 UPC)



Grafica. 79. Dosis Mackenfloc II Vs pH residual. (pH permitido entre 6,5 y 9)



Grafica. 80. Dosis Mackenfloc II Vs Aluminio residual. (Aluminio residual permitido 0,2 mg/L)

Según la gráfica 77 la cual representa el estado comportamental de la turbiedad, una vez iniciado el tratamiento con el producto, arrojó una disminución en 111 UNT el índice inicial con tan solo la adición de 16 ppm de Mackenfloc II, esto ocurrió gracias a que la formación del floc fue rápida, permitiendo un arrastre amplio de las partículas libres en el agua hasta llevarlas a su respectiva sedimentación.

Analizando otro aspecto se tiene que una vez iniciado el tratamiento con el producto en cuestión, los niveles en unidades de platino-cobalto que definen el color en aguas turbias tuvo una reducción súbita como se presentó en el caso anterior; la gráfica 78 identifica la forma en que se comporta y estabilizaba el color en la muestra de agua luego de reducirse en más de 590 UPC gracias a la acción de las primeras 16 ppm de producto adicionado, una vez evidenciado dicha regulación se observa que mientras se homogeniza el sistema los datos de color residual varían de acuerdo a como se incrementan las dosis suministradas oscilando entre 8.9 y 16.3 UPC respectivamente.

Continuando con el análisis, la gráfica 79 identifica la reducción de los iones hidronio presentes en la muestra una vez adicionada la primera dosis del producto, este parámetro de pH se reduce en un 0.41 unidades durante todo el proceso; por otro lado al adicionarse 18 ppm sufre un leve aumento de 0.8 hasta llegar a los 7.68 unidades, experimentando con el incremento de cada dosis una elevación gradual poco significativa hasta estabilizarse en 7.7 unidades de pH totales.

El valor de aluminio residual presente, producto de la acción del químico Mackenfloc II para el tratamiento de aguas, según gráfica 80 se aprecia que una vez adicionada las primeras 16 ppm, el índice se sitúa en 0.05 ppm de Iones Aluminio disueltos, observándose un incremento gradual en la medida en que se aumenta la concentración de producto en las dosis suministradas estabilizándose en 0.08 ppm totales una vez vertidas las últimas dos dosis del producto

4.4.3 Mackenfloc I

El estudio realizado para evaluar el comportamiento y rendimiento del producto I de la línea Mackenfloc, se efectuó de acuerdo con metodología propuesta, donde para dicha prueba se dataron las siguientes cifras que argumentan la acción del producto en el tratamiento de aguas con turbiedad medianamente alteradas en la siguiente tabla 31.

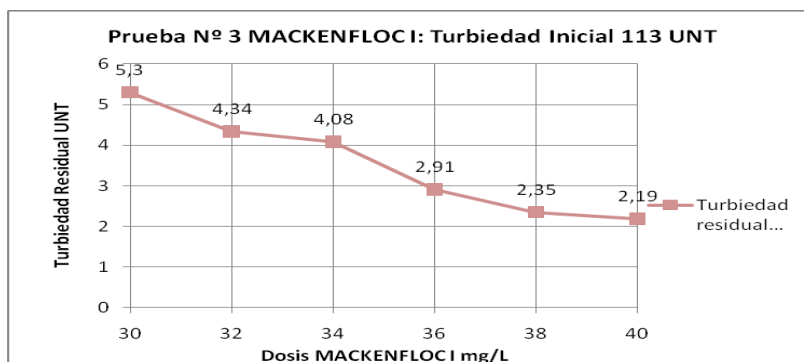
Tabla 31. Resultados Prueba realizada con Mackenfloc I.

VASOS	1	2	3	4	5	6
COAGULANTE c.c	3.0	3.2	3.4	3.6	3.8	4.0
Dosis mg/L	30	32	34	36	38	40
PH	7.39	7.38	7.35	7.33	7.32	7.31
Turbidez U.N.T	5.30	4.34	4.08	2.91	2.35	2.19
Color UPC	40.3	36.1	32.5	22.0	16.0	17.9
Al Residual mg/L	0.37	0.36	0.35	0.32	0.28	0.28

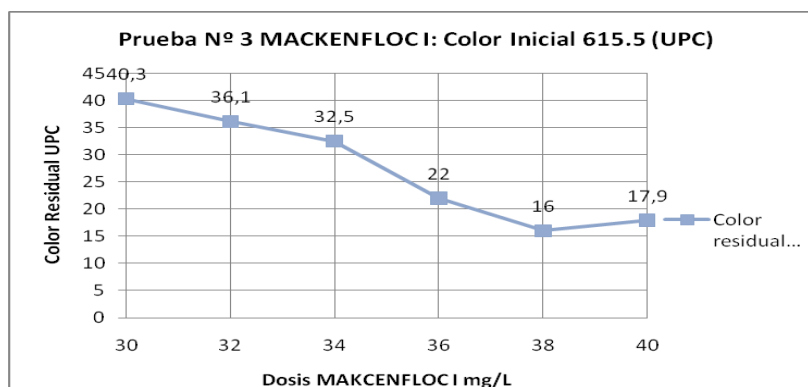
Los datos representados identifican la manera en que el agua optimiza sus valores fisicoquímicos iniciales una vez procedido su tratamiento con el producto químico objeto de estudio. La realización de esta prueba arrojó que la concentración más satisfactoria corresponde a la jarra No.5 en la cual se dispusieron 38 ppm de Mackenfloc I. Cabe resaltar que la muestra inicial contaba con parámetros físicos y químicos elevados donde una vez vertida la primer dosis se obtuvo una reducción drástica en las propiedades fisicoquímicas del medio gracias a la eficacia del producto al momento de realizar la captación de material particulado presente dispuesto posteriormente en forma de floc hasta su fase final de arrastre por sedimentación donde se culmina el proceso y acción de dicho producto.

Los productos, de manera general según los datos obtenidos en el laboratorio, mejoran su espectro de acción en la medida en que los parámetros del agua cruda a tratar sobrepasan de manera significativa los rangos de turbiedad y color que caracteriza un fluido alterado, como se observa en esta muestra, dichos niveles se superaron aproximadamente 20 veces más del valor normalmente permitido, lo cual sin lugar a dudas representa un fenómeno interesante ya que aparentemente los productos de coagulación utilizados tienen un mejor desempeño en aguas medianamente turbias que aquellas con unidades de platino cobalto y de turbiedad bajos; así como se representa en la columna sombreada de la tabla 31 .

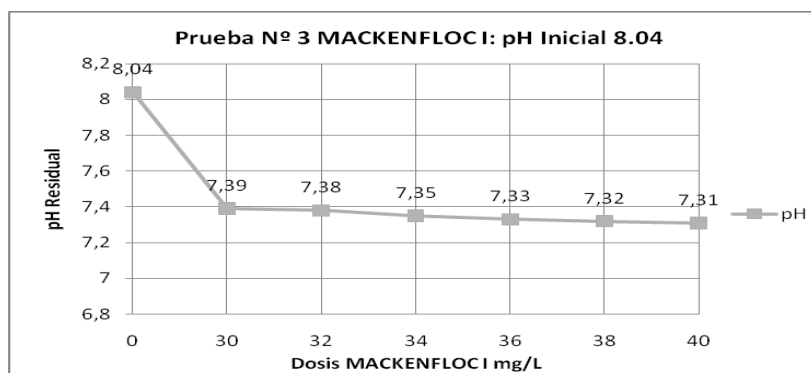
De esta manera, con el fin de dar una mirada más detallada a este fenómeno de cambio súbito en el tratamiento de aguas, se diseñaron una serie de gráficas que representan el comportamiento del producto en cada una de las dosis suministradas:



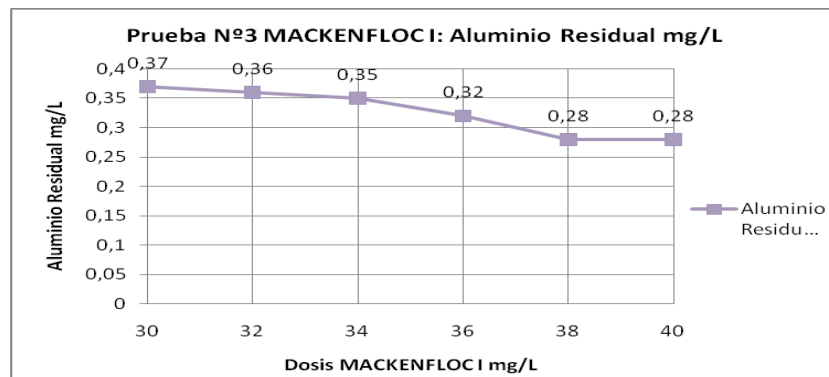
Grafica. 81. Dosis Mackenfloc I Vs Turbiedad residual. (Turbiedad permitida 5 UNT)



Grafica. 82. Dosis Mackenfloc I Vs Color residual. (Color permitido 15 UPC)



Grafica. 83. Dosis Mackenfloc I Vs pH residual. (pH permitido entre 6,5 y 9)



Grafica. 84. Dosis Mackenfloc I Vs Aluminio residual. (Aluminio residual permitido 0,2 mg/L)

Según la grafica 81 los índices de turbiedad expresadas en UNT determinó que los niveles en el agua disminuyeron de forma significativa una vez adicionadas las primeras 30 ppm del producto, donde este llegó desde las 113 UNT iniciales hasta las 5.3 UNT lo cual representa una reducción de mas del 90% del parametro inicial, esto ocurrió debido a que una vez iniciada la fase de mezcla lenta el material atrapado en la superficie empezó a precipitarse generando un fenomeno de arrastre elevado gracias al volumen del floc formado; Por otro lado los índices de platino-cobalto presentes experimentaron una disminución considerable pero aún no aceptables por la resolución 2115 de 2007 la cual establece que la cantidad límite de platino-cobalto en la muestra de agua es de 15 UPC y el valor mínimo aportado por acción del producto en esta prueba es de 16 UPC indicando la falta de remoción de partículas orgánicas o inorgánicas que afectan la calidad del agua.

Los niveles de pH presentes en la gráfica 83 caracterizan la acción regulante del producto Mackenfloc I en los iones hidronio disueltos en la muestra, donde según su comportamiento solo se obtiene una disminución gradual de hasta 0,73 unidades durante todo el proceso, este inicia su trabajo estabilizador en las 7,39 unidades obtenidas luego de adicionarsen 30 ppm del producto las cuales siguen reduciendose gradualmente a medida que se aumentan las concentraciones vertidas; este fenómeno en general trae consigo una serie de irregularidades producto de la acción del químico coagulante utilizado en el tratamiento, prueba de ello es la presencia de iones de aluminio disueltos en el medio luego de la adición de cada una de las dosis. El aluminio residual presente en el medio gracias al vertido del producto alcanza un valor máximo para esta prueba de 0.37 ppm, lo cual representa un índice muy elevado según el capítulo II de la ley 2115 de la constitución Colombiana que regula las condiciones fisicoquímicas de aguas para su consumo humano; Sin embargo es posible que estos valores disminuyan luego de completar el proceso de potabilización.

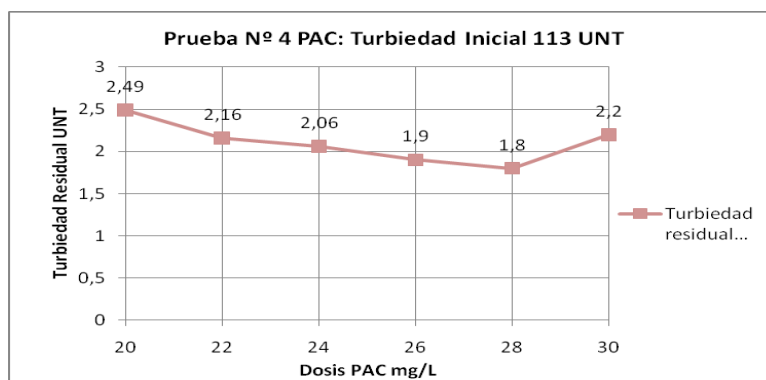
4.4.4 Hidroxicloruro (PAC)

Las pruebas corridas para identificar el comportamiento de producto químico a base de Hidroxicloruro otorgaron por medio del test de jarras los siguientes datos, los cuales se encuentran condensados en la tabla 32.

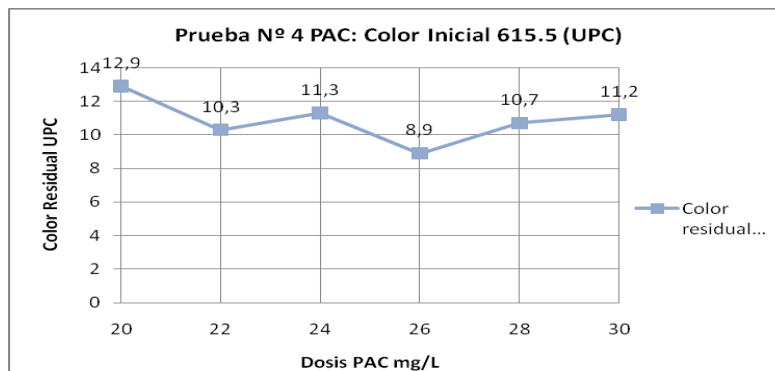
Tabla 32. Resultados Prueba realizada con (PAC).

VASOS	1	2	3	4	5	6
COAGULANTE c.c	2.0	2.2	2.4	2.6	2.8	3.0
Dosis mg/L	20	22	24	26	28	30
PH	7.59	7.59	7.56	7.57	7.55	7.55
Turbidez U.N.T	2.49	2.16	2.06	1.90	1.80	2.20
Color UPC	12.9	10.3	11.3	8.9	10.7	11.2
Al Residual mg/L	0.03	0.03	0.05	0.04	0.05	0.06

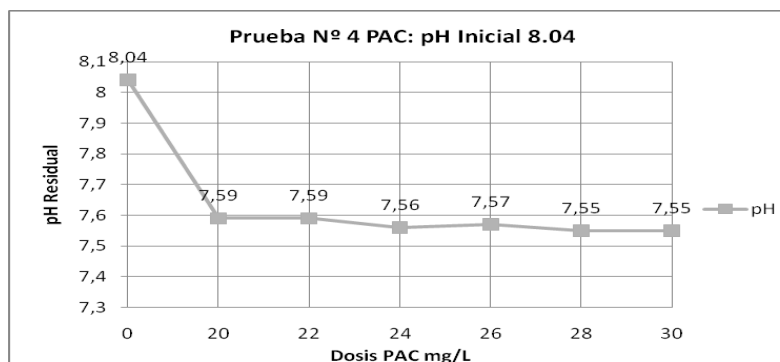
Las cifras obtenidas caracterizan la eficiencia del producto en el tratamiento de aguas medianamente alteradas, según la columna número cuatro, el producto presenta un índice de acción más amplio al utilizarse 26 ppm de dicho químico que otorgó los valores más satisfactorios durante toda la prueba; de esta manera en las siguientes gráficas se ha dispuesto el comportamiento fisicoquímico del agua al ser tratada con el producto Hidroxicloruro y la manera en que este actúa para estabilizar y mantener los patrones ideales para la adecuación de aguas crudas dispuestas para consumo humano.



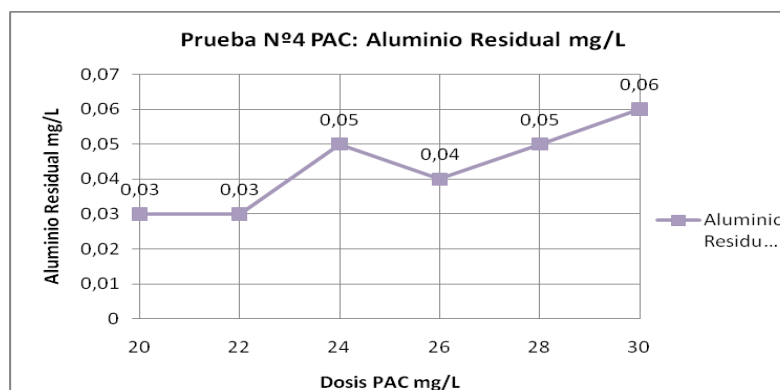
Grafica. 85. Dosis (PAC) Vs Turbiedad residual. (Turbiedad permitida 5 UNT)



Grafica. 86. Dosis (PAC) Vs Color residual. (Color permitido 15 UPC)



Grafica. 87. Dosis (PAC) Vs pH residual. (pH permitido entre 6,5 y 9)



Grafica. 88. Dosis (PAC) Vs Aluminio residual. (Aluminio residual permitido 0,2 mg/L)

Los niveles de turbiedad y color (Gráficas 85 y 86) presentes en la muestra, revelan una disminución considerable ya que sus valores son reducidos en más del 95% del parámetro inicial luego de adicionarse las primeras 20 ppm del producto, esto es gracias a que las partículas suspendidas que generan en gran parte las condiciones adversas en la muestra, una vez adicionado el producto se aglomeran en forma de floc dispuesto en la superficie del líquido donde una vez este ha ganado peso suficiente es precipitado causando un fenómeno de arrastre que permite atrapar las demás partículas en suspensión que no pudieron ser aglutinadas inicialmente con la formación del floc.

Los iones hidronio presentes en la muestra en cada una de las dosificaciones hechas del producto al agua, caracterizan una disminución gradual que decrece en la medida en que se aumenta la concentración de cada una de las dosis realizadas; al observar la gráfica 87 se puede apreciar que las primeras 20 ppm de Hidroxicloruro agregado al medio otorgan al agua una reducción de 0.45 unidades hasta llevarlas a 7.59 unidades donde es el punto de partida para que este se equilibre aparentemente y llegue hasta los 7.55 unidades de pH finales. Por otro lado cabe resaltar que al utilizar este producto, los niveles de aluminio residual otorgados al agua por medio de la acción floculante del producto químico en cuestión y plasmados en la gráfica 88, no representa un parámetro significativo, ya que otorga al medio solo hasta 0.06 unidades de iones aluminio disueltos durante todo el proceso lo cual permite inferir que cumple con las normas establecidas por la constitución colombiana para la adecuación y tratamiento de aguas potables aptas para el consumo humano.

4.4.5 Mackenfloc III

Los ensayos realizados para el estudio del químico coagulante III de la línea Mackenfloc, se llevo a cabo en los laboratorios de las instalaciones de la planta de tratamiento El Jardín de la ciudad de Neiva, allí se ejecutaron una serie de acciones que permitieron realizar un análisis de los cambios ocasionados en cuerpos de agua cruda dispuestas para su potabilización, de ello se registraron una serie de valores que pretenden dar una mirada al comportamiento del producto en condiciones medianamente alteradas.

La tabla 33 condensa los datos colectados producto de las pruebas realizadas:

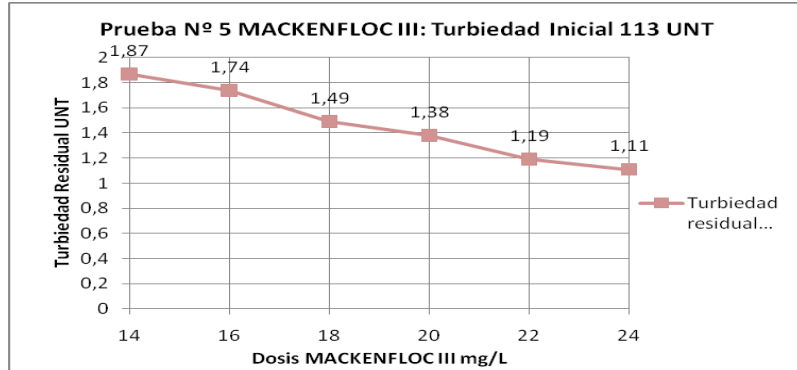
Tabla 33. Resultados Prueba realizada con Mackenfloc III.

VASOS	1	2	3	4	5	6
COAGULANTE c.c	1.4	1.6	1.8	2.0	2.2	2.4
Dosis mg/L	14	16	18	20	22	24
PH	7.64	7.62	7.58	7.57	7.49	7.42
Turbidez U.N.T	1.87	1.74	1.49	1.38	1.19	1.11
Color UPC	17.2	18.1	16.3	14.4	15.9	13.4
Al Residual mg/L	0.07	0.07	0.08	0.08	0.08	0.1

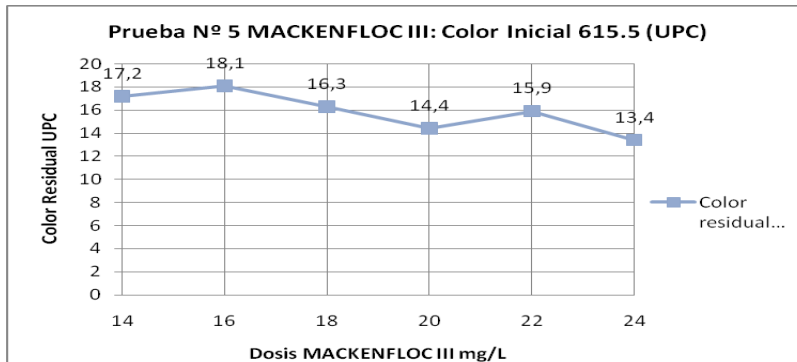
Los valores expuestos en la anterior tabla corresponden a pruebas realizadas el 22 de marzo de 2013, donde se pudo identificar la dosis óptima para alcanzar los resultados más satisfactorios durante todo el proceso, en ese orden de ideas se tiene que al adicionar un volumen de 2.0 cm³ lo que equivale a una concentración de 20 ppm de producto, se alcanzan los valores más estables, sin embargo cabe resaltar que el fenómeno más importante se presentó en el primer instante en que inició el tratamiento con el coagulante en cuestión, pues este permitió evidenciar

un proceso drástico de regulación de los parámetros fisicoquímicos iniciales del medio tratado.

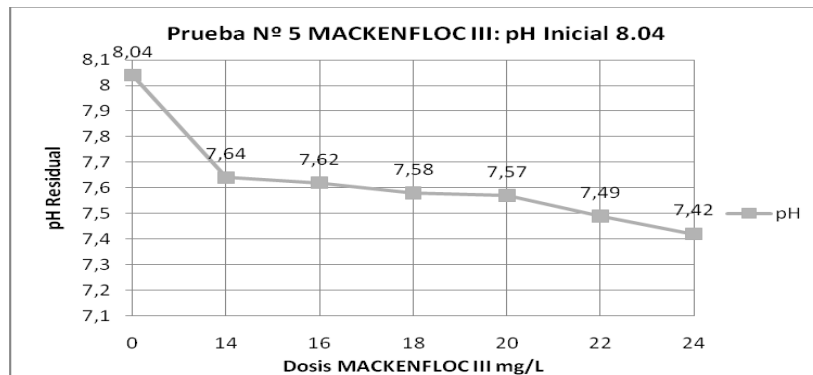
Como segunda medida se construyeron una serie de graficas que datan el comportamiento de dichos parámetros físicos y químicos pre y posteriores a su tratamiento, los cuales permiten tomar un referente más certero al momento de realizar su respectivo análisis



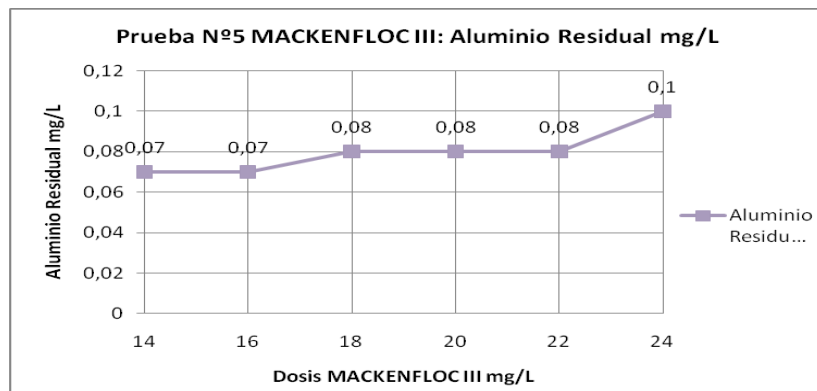
Grafica. 89. Dosis Mackenfloc III Vs Turbiedad residual. (Turbiedad permitida 5 UNT)



Grafica. 90. Dosis Mackenfloc III Vs Color residual. (Color permitido 15 UPC)



Grafica. 91. Dosis Mackenfloc III Vs pH residual. (pH permitido entre 6,5 y 9)



Grafica. 92. Dosis Mackenfloc III Vs Aluminio residual. (Aluminio residual permitido 0,2 mg/L)

Las gráficas 89 y 90 representan los índices variables de turbiedad y unidades de platino-cobalto (color) presentes en la muestras durante todo el proceso de tratamiento y la adición exponencial de producto. Al iniciarse la prueba con los primeros 14 ppm de Mackenfloc III vertidas se observa una aglomeración rápida del material particulado disperso en la superficie del líquido, alcanzando una formación de floc voluminosa que gana peso constantemente gracia a los altos índices fisicoquímicos a controlar por el producto en el agua dispuesta para su tratamiento; este fenómeno permitió la reducción de dichos índices en más del 93% de su valor original lo cual identifica a este químico coagulante como un producto eficiente para el control de dichos índices. Una vez se ha evidenciado el cambio subitito con la primera adición de producto, este tiende a estabilizarse con una ligera decreciente en sus índices, en la medida en que se aumenta la concentración de las dosis suministradas.

Analizando otro aspecto químico en el fluido se tiene que los iones hidronio disueltos disminuyen de acuerdo al incremento de las dosis, destacando así que este parametro tan solo varia en 0.8 unidades del valor inicial presente, lo cual no representa un cambio significativo en la acidez del medio ya que este se mantiene dentro de los rangos establecidos para la aceptación de aguas tratadas dispuestas para su potabilización y distribución para consumo humano; por otro lado, el producto Mackenfloc III mantiene los niveles de aluminio residual al mínimo ya que estos son producto del buen arrastre realizado, sin embargo una vez superado el valor de 14 ppm el producto tiende a aportar aluminio a la muestra, lo que indica una leve sobresaturación con Mackenfloc III; aún así este valor no constituye una violación a la norma constitucional en la adecuación de aguas crudas para su consumo.

4.4.6 Quinsafloc

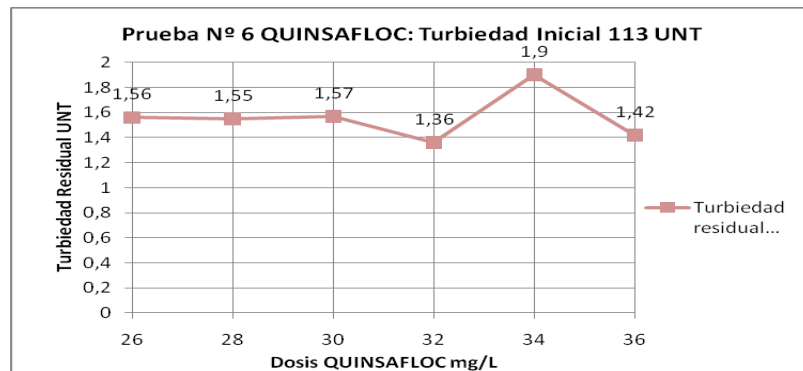
Las pruebas fisicoquímicas realizadas para detallar el comportamiento del producto de coagulación Quinsafloc; produjo una serie de datos, los cuales serán objeto de estudio en esta sexta fase de análisis, los cuales reposan en la tabla 34.

Tabla 34. Resultados Prueba realizada con Quinsafloc.

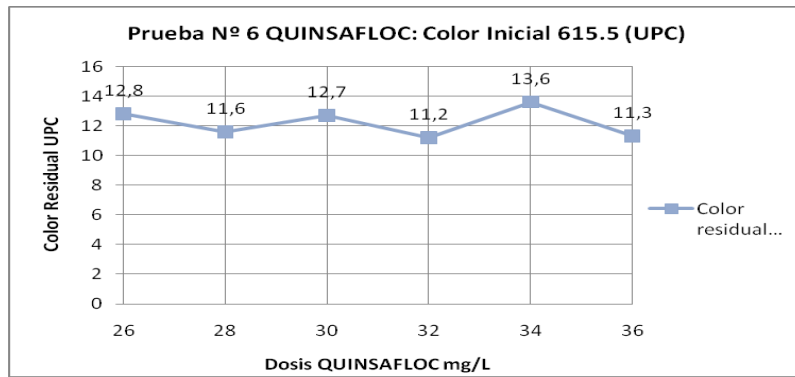
VASOS	1	2	3	4	5	6
COAGULANTE c.c	2.6	2.8	3.0	3.2	3.4	3.6
Dosis mg/L	26	28	30	32	34	36
PH	7.74	7.74	7.72	7.69	7.65	7.64
Turbidez U.N.T	1.56	1.55	1.57	1.36	1.90	1.42
Color UPC	12.8	11.6	12.7	11.2	13.6	11.3
Al Residual mg/L	0.07	0.05	0.06	0.06	0.06	0.08

Los valores obtenidos al correr los ensayos pertinentes para el análisis de este producto determinó la dosis correcta para lograr contrarrestar los altos parámetros físicos y químicos que componen la muestra de agua N° 3. La columna cuatro contiene los datos más bajos, producto de la acción floculante de dicho químico coagulante.

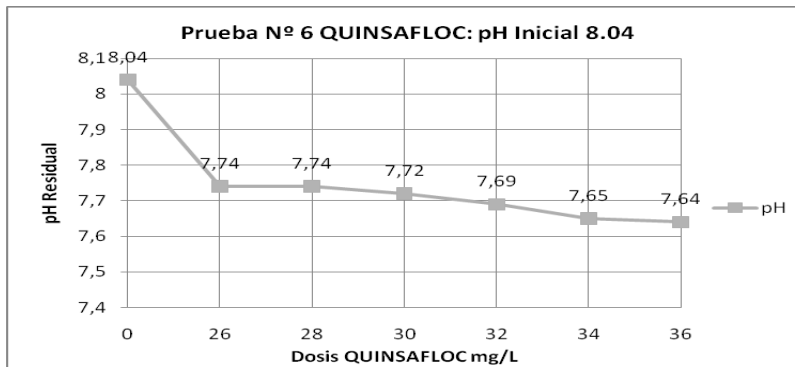
Para obtener un análisis más detallado se elaboraron una serie de gráficas que permiten identificar el comportamiento de cada parámetro de acuerdo al suministro de producto en cada una de las jarras.



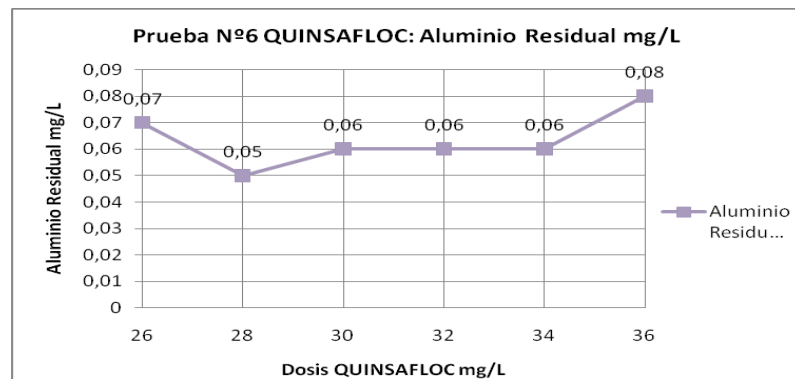
Grafica. 93. Dosis Quinsafloc Vs Turbiedad residual. (Turbiedad permitida 5 UNT)



Grafica. 94. Dosis Quinsafloc Vs Color residual. (Color permitido 15 UPC)



Grafica. 95. Dosis Quinsafloc Vs pH residual. (pH permitido entre 6,5 y 9)



Grafica. 96. Dosis Quinsafloc Vs Aluminio residual. (Aluminio residual permitido 0,2 mg/L)

Los valores plasmados en la grafica 93 caracterizan la forma en la que se comporta el índice de turbiedad en la muestra, mientras esta es expuesta a la acción del producto; una vez se adicionan los primeros 26 ppm de Quinsafloc se presenta una reducción súbita de manera rápida que permitió el control del parámetro inicial hasta llegar a las 1.55 unidades nefelométricas de turbiedad ocasionando al agua un aspecto aparente cristalino, sin olvidar que este fenómeno va estrechamente ligado a los niveles de platino-cobalto (color) presentes de manera simultánea en el agua. La gráfica 94 identifica la manera en que actúa el coagulante en su control de los índices de color presentes inicialmente en la

muestra, una vez es adicionado los primero 2.6 cm³ de coagulante a la muestra, este experimenta una reducción de más de 600 UPC, una vez alcanza las 8.4 ppm de color, este tiende a estabilizarse con la adición de las dosis restantes de la prueba.

La acidez del medio durante la acción del producto químico para tratamiento de aguas Quinsafloc, tuvo un leve aumento lo que permitió reducir el índice inicial de 8.04 unidades a no más de 7.6 unidades de pH, lo cual indica el buen trabajo que realiza dicho producto al momento de estabilizar los niveles de potencial de hidrógeno en muestras de agua potables (ver gráfica 95)

Los químicos coagulantes dejan como resultante de su acción un aporte de aluminio residual, que aunque no constituye un parámetro de análisis inicial si hace parte del estudio de la muestra pos-tratamiento. Según la ley 2115 estos niveles no deberán exceder las 0.2 mg/L presentes; en ese orden de ideas si se observa la grafica 96 se denota que el incremento durante todo el proceso de tratamiento solo alcanza las 0.08 mg/L totales y tiende a incrementarse de acuerdo al aumento en las concentraciones adicionadas.

4.4.7 Mackenfloc IV

La metodología propuesta para el desarrollo del análisis de cada uno de los productos alternativos objeto de estudio, se basa en un test de jarras que luego de su ejecución otorgó una serie de datos cuantitativos que representan la manera en que se comporta en este caso el producto químico IV de la línea Mackenfloc. De acuerdo con lo anterior, se realizó un consolidado de los datos en la tabla 35.

Tabla 35. Resultados Prueba realizada con Mackenfloc IV.

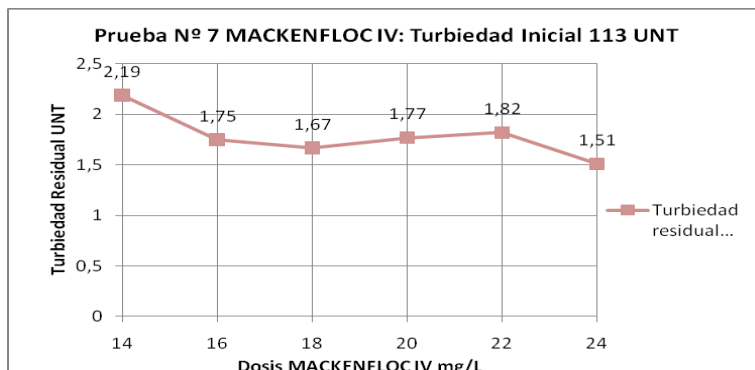
VASOS	1	2	3	4	5	6
COAGULANTE c.c	1.4	1.6	1.8	2.0	2.2	2.4
Dosis mg/L	14	16	18	20	22	24
PH	7.95	7.84	7.80	7.77	7.74	7.73
Turbidez U.N.T	2.19	1.75	1.67	1.77	1.82	1.51
Color UPC	15.6	14.9	14.5	13.9	14.9	12.0
Al Residual mg/L	0.05	0.04	0.06	0.06	0.08	0.05

Los datos dispuestos en la tabla corresponden a la manera en que se modifican las condiciones fisicoquímicas originales de la muestra problema, en este caso agua medianamente alterada tomada del área de captación en el acueducto El Jardín de la ciudad de Neiva, donde los niveles de turbiedad y color sobrepasan los estándares máximos establecidos por la legislación Colombiana en la resolución 2115.

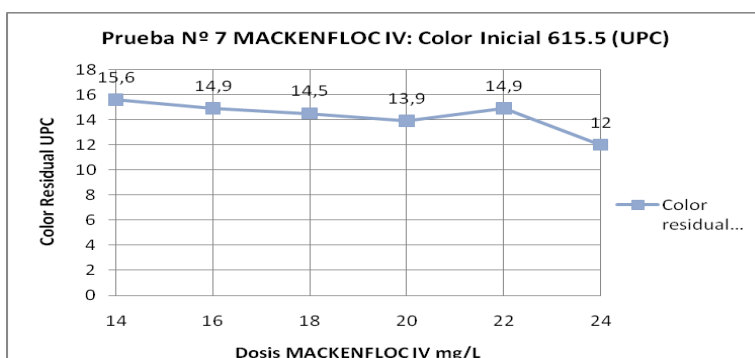
Tomando como referencia la columna número seis se puede observar que solo al alcanzar la finalidad de las dosis previstas, se pudo obtener un balance

satisfactorio, ya que en este sexto beaker del test de jarras donde se adicionaron 24 ppm del producto se pudo obtener los valores fisicoquímicos más bajos, sin olvidar que estos fueron contrarrestados en primera medida por la reacción química inicial en la adición de la primer dosis, puesto que una vez iniciado el proceso y al verse 14 ppm del coagulante los parámetros iniciales descendieron en un 97% hablando de turbiedad y color respectivamente.

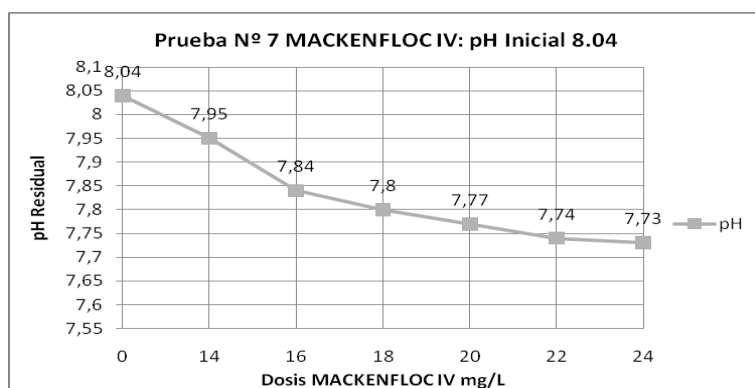
Con el fin de evidenciar la dinámica de comportamiento de cada uno de los aspectos físicos y químicos en cuestión, se trazaron las siguientes gráficas:



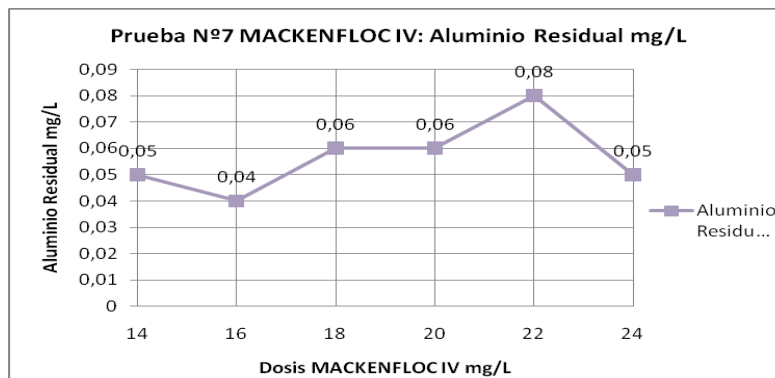
Grafica. 97. Dosis Mackenfloc IV Vs Turbiedad residual. (Turbiedad permitida 5 UNT)



Grafica. 98. Dosis Mackenfloc IV Vs Color residual. (Color permitido 15 UPC)



Grafica. 99. Dosis Mackenfloc IV Vs pH residual. (pH permitido entre 6,5 y 9)



Grafica. 100. Dosis Mackenfloc IV Vs Aluminio residual. (Aluminio residual permitido 0,2 mg/L)

Las gráficas 97 y 98, presentan un comportamiento similar en la medida en que decrecen sus cifras luego de su estabilización a causa de la reducción drástica de los valores mencionados anteriormente, una vez aplicado el producto, las unidades nefelométricas de turbiedad iniciaron en 113 UNT y se redujeron en 110,8 UNT, cifra en la cual el sistema se estabiliza aparentemente y decrece de manera gradual y controlada en la medida que aumentan las dosis de producto en el medio, por otro lado la cantidad en unidades de platino-cobalto presentes, sufrieron de forma paralela una reducción de más de 599 UPC de las 615,5 UPC iniciales, luego de su reducción este tiende a normalizarse y establecer una reducción gradual desde las 15,6 UPC hasta llegar a su menor valor (12 UPC). Los niveles de iones hidronio presentes en el agua una vez realizada la tarea del control fisicoquímico por medio del producto Mackenfloc IV se puede evidenciar que en cada una de las dosis suministradas, este aportó un descenso de dicho parámetro de forma controlada en tan solo 0,07 unidades de pH, los cuales no representan una variable significativa en la acidez del medio, por otro lado si se analiza el aporte de aluminio residual que realiza el químico coagulante la muestra (Gráfica 100) una vez finalizado el proceso y en cada una de las dosis vertidas se puede inferir nuevamente que no representa un carácter significativo ya que este adquiere un valor máximo de no más de 0,08 mg/L, las cuales según la constitución Colombiana puede ser adoptada como agua de calidad para el consumo humano.

4.4.8 Sulfato de Aluminio Líquido Tipo B

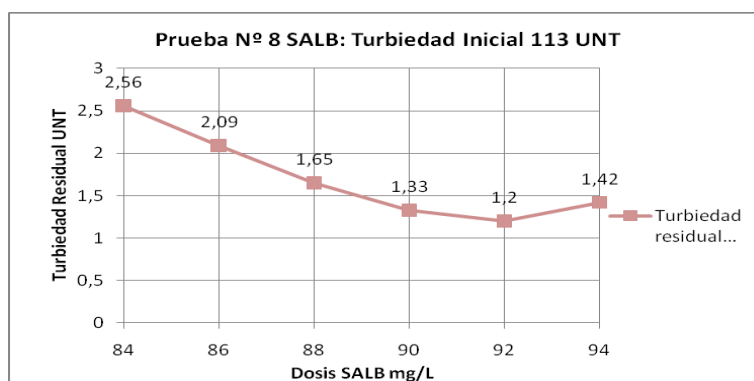
Para finalizar las pruebas fisicoquímicas correspondientes a la muestra de agua N° 3, se trataron los últimos 6 Litros de agua con SALB mediante la utilización del test de jarras. Pasado un tiempo aproximado de 40 minutos, se extrajo alrededor de 75 mL por jarra para realizar los respectivos análisis post-prueba, los cuales proyectaron los siguientes datos plasmados en la tabla 36.

Tabla 36. Resultados Prueba realizada con SALB.

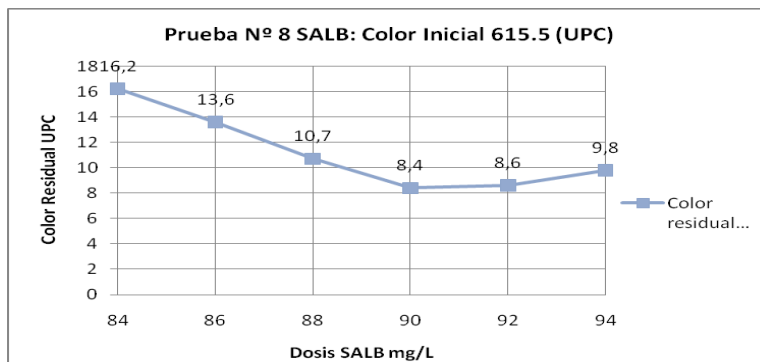
VASOS	1	2	3	4	5	6
COAGULANTE c.c	8.4	8.6	8.8	9.0	9.2	9.4
Dosis mg/L	84	86	88	90	92	94
pH	7.41	7.36	7.33	7.28	7.26	7.22
Turbidez U.N.T	2.56	2.09	1.65	1.33	1.20	1.42
Color UPC	16.2	13.6	10.7	8.4	8.6	9.8
Al Residual mg/L	0.31	0.28	0.24	0.2	0.21	0.25

De acuerdo con la tabla anterior se demuestra la efectividad del SALB para contrarrestar los altos parámetros iniciales de la muestra de agua N°3 aunque se necesite gran cantidad de químico coagulante para lograrlo.

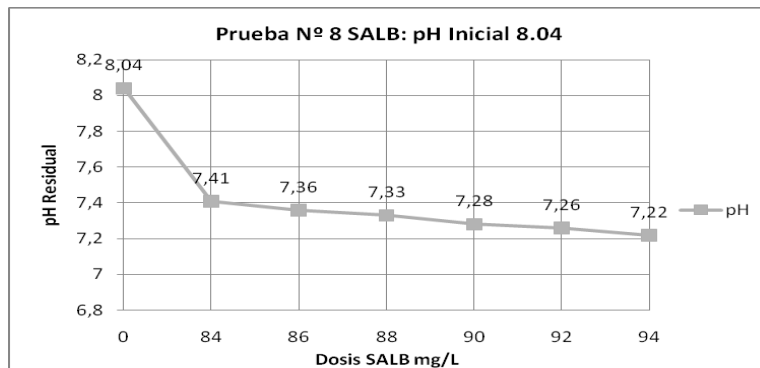
Los niveles del agua una vez tratada se encuentran en buenas condiciones a partir de la segunda dosis de producto, a excepción del aluminio residual el cual presenta un leve aumento en cada una de las jarras. A continuación se presenta un análisis detallado de cada uno de los parámetros establecidos versus la dosificación del producto.



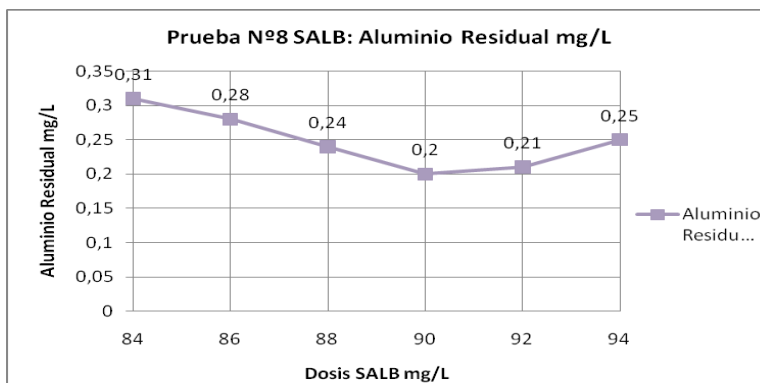
Grafica. 101. Dosis de SALB Vs Turbiedad residual. (Turbiedad permitida 5 UNT)



Grafica. 102. Dosis de SALB Vs Color residual. (Color permitido 15 UPC)



Grafica. 103. Dosis de SALB Vs pH residual. (pH permitido entre 6,5 y 9)



Grafica. 104. Dosis de SALB Vs Aluminio residual. (Aluminio residual permitido 0,2 mg/L)

En las gráficas 101 y 102 se puede observar una disminución uniforme de los niveles de turbiedad y color residual respectivamente a partir de la primera dosificación, ubicándose dentro de un rango permitido de acuerdo a los límites establecidos para aguas propias de consumo humano. Aunque el nivel de pH tiene un descenso drástico según lo revela la gráfica 103, no afecta la calidad del líquido por ende no hay problema alguno que se deba especificar.

En cambio una vez más el aluminio residual, si bien no se encuentra en condiciones tan desproporcionadas como en muestras anteriores, sigue estando levemente por encima de los estándares normales para cuerpos de agua potabilizadas, lo que indica que los coagulantes compuestos de sales de aluminio

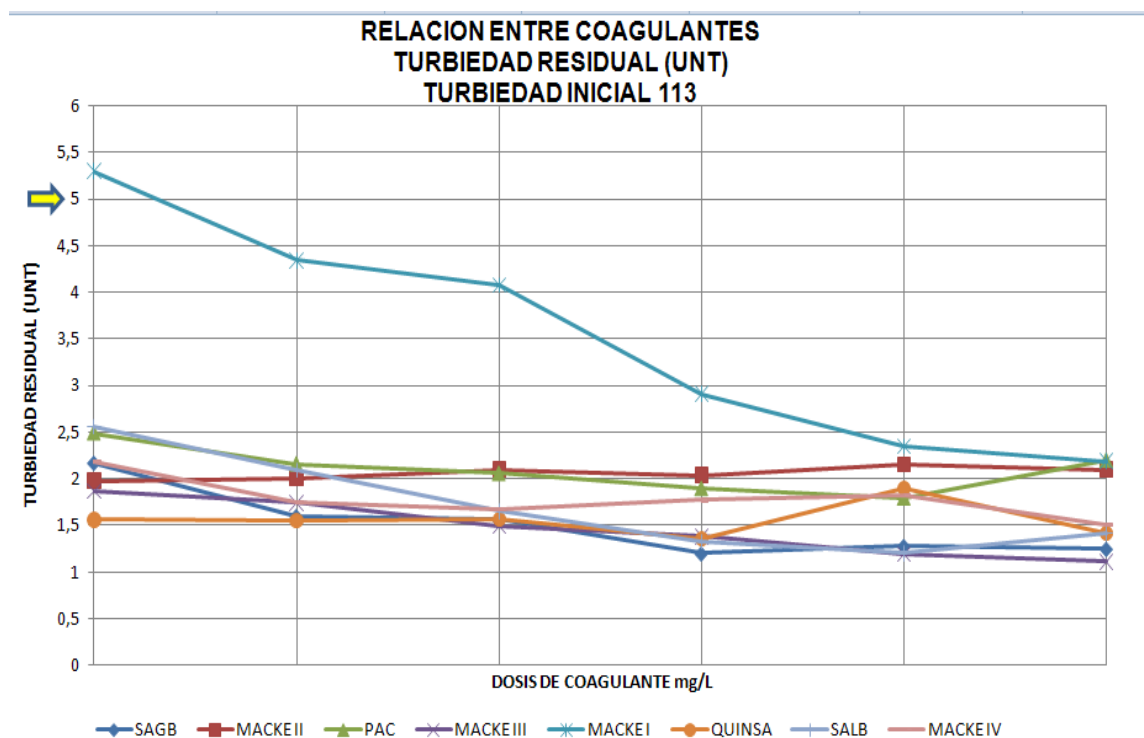
tienden a aportar grandes cantidades de aluminio que afectan de alguna manera la calidad del agua en pocas proporciones.

Siendo consecuentes con lo anterior, la dosis que representa el mejor trabajo realizado por el SALB es de 90 ppm, pues registró los índices más bajos en cada uno de los parámetros evaluados. De allí en adelante se puede observar un ligero incremento en los niveles de turbiedad, color y aluminio residual (Gráficas 101, 102,103) lo que sugiere una sobresaturación del medio con producto lo cual aporta impurezas a la muestra.

4.4.9 Comportamiento y Efectividad Físicoquímica.

Luego de realizar un análisis individual del comportamiento, producto de la acción de cada uno de los coagulantes obsequiados por la empresa QUINSA en la muestra de agua N° 3 catalogada de mediana turbiedad, se procede a realizar un análisis comparativo entre los resultados obtenidos frente a los parámetros escogidos para la realización de este proyecto, con el fin de escoger el producto de mejor comportamiento en el tratamiento de la muestra de agua objeto de estudio.

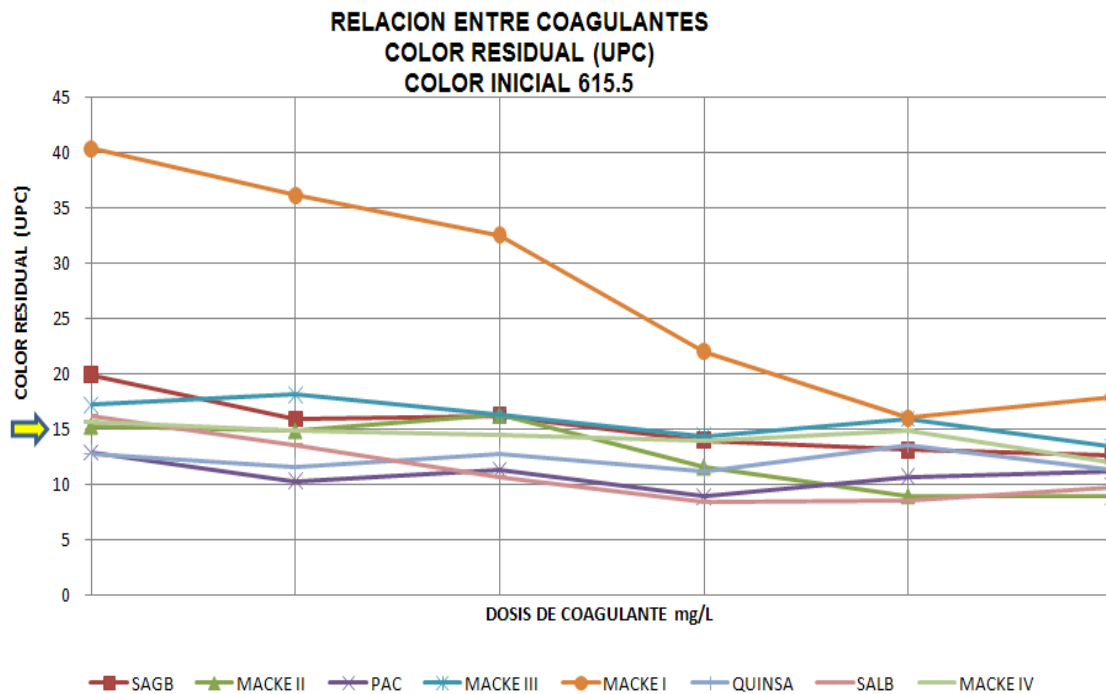
A continuación se muestra los resultados finales de cada coagulante, condensados en una sola gráfica para su posterior análisis.



Gráfica. 105. Dosis de coagulante Vs Turbiedad residual. (Turbiedad permitida 5 UNT)

La gráfica 105 muestra el comportamiento de cada coagulante al momento de reducir las UNT, de los cuales 7 de los 8 productos utilizados, redujeron de manera drástica los elevados índices de la muestra de agua N° 3 catalogada de mediana turbiedad. El octavo coagulante, correspondiente al Mackenfloc I, demora un poco mas en su actuar y poco a poco se une al grupo de aquellos que mantuvieron su estabilidad entre un rango de 1 a 2.5 UNT. Aún así el mackenfloc I fue el producto que peor desempeño tuvo al momento de sedimentar el material particulado de la muestra 3.

Por otro lado los sulfatos (SAGB Y SALB) al igual que el Mackenfoc III a partir de la cuarta dosificación, mostraron una vez mas un gran desempeño en la sedimentación de partículas coloidales, teniendo en cuenta que esta muestra de agua por tener mayor contenido de material no sedimentable permite la generación de floc con mejor peso lo que facilita limpiar la muestra por acción de barrido.



Grafica. 106. Dosis de coagulante Vs Color residual. (Color permitido 15 UPC)

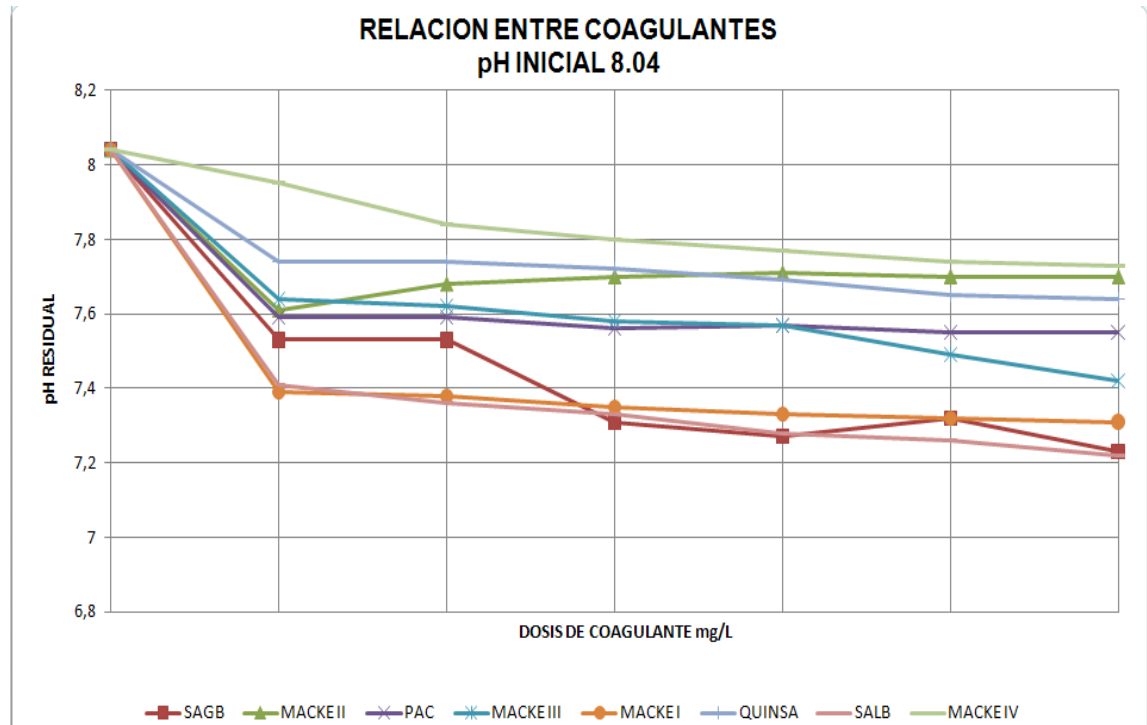
La gráfica 106 la cual representa el trabajo llevado a cabo por cada coagulante en cuanto a neutralizar unidades de platino-cobalto se refiere, muestra una similitud con la gráfica anterior a excepción que esta vez algunos de los productos se quedaron cortos en la disminución de los índices de color.

El Mackenfloc I, como se observa en la gráfica, queda aislado del grupo sin lograr ingresar dentro del rango establecido en la resolución 2115 de 2007 la cual estipula que el límite permitido para aguas aptas para consumo humano es de 15 UPC. A partir de la 5 dosificación del mismo producto, se observa un aumento del

color residual, lo que enseña una sobresaturación del medio aportando color inorgánico a la muestra.

El Mackenfloc II, El PAC y el SALB fueron por poco los que mejor se desempeñaron al momento de neutralizar los índices de color aparente de la muestra, con un resultado final que oscila entre los 5 y 10 UPC.

Los 4 productos restantes (Macke III, IV SAGB y Quinsa) se mantuvieron apenas en el límite establecido. Es necesario tener en cuenta que el color aparente de esta muestra supera los 600 UPC y el trabajo elaborado por estas 8 sustancias ha sido de buena calidad al momento de clarificar muestras de agua.



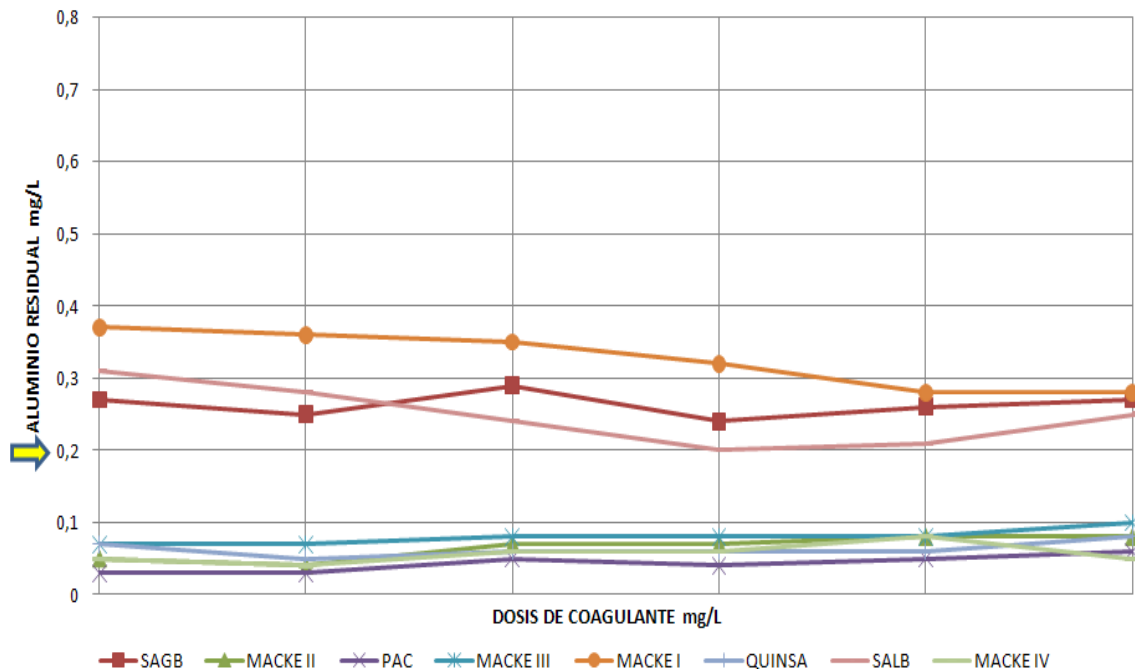
Grafica. 107. Dosis de coagulante Vs pH residual. (pH permitido entre 6,5 y 9)

De acuerdo con la gráfica 107 los 8 químicos coagulantes, aportados por la empresa QUINSA para la realización de este proyecto, mantuvieron el pH dentro del nivel establecido en la norma, la cual impone un rango de 6.5 a 9.

El SAGB, SALB y Mackenfloc I aunque se encuentran dentro de los límites permitidos, fueron los 3 productos que más bajo resultado presentaron teniendo en cuenta el pH inicial, lo cual pudo deberse a gran cantidad de H_2SO_4 generado por la disociación de las sales de aluminio lo cual produjo el descenso observado en la gráfica anterior.

Los 5 coagulantes restantes (Macke II, III, IV, Quinsa y PAC) se equilibraron un poco más cerca del pH original, lo que resulta mejor pues quiere decir que los biopolímeros presentes en su estructura ayudan a neutralizar de manera adecuada las disociaciones que se presentan durante la reacción con la muestra de agua.

RELACION ENTRE COAGULANTES ALUMINIO RESIDUAL



Grafica. 108. Dosis de coagulante Vs Aluminio residual. (Aluminio residual permitido 0,2 mg/L)

La gráfica 108 muestra los resultados equivalentes a la labor efectuada por las 8 coagulantes materias de estudio, de lo cual se evidenció una vez más al SAGB, SALB y al Mackenfloc I violando el límite permitido según la resolución 2115 de 2007 la cual impone un término no mayor a 0.2mg/L de aluminio residual en las muestras de agua aptas para consumo humano. Si bien estos datos no son tan elevados como los observados en resultados anteriores, siguen persistiendo en el hecho de sobrepasar el margen permitido.

En cuanto a los productos restantes, sus resultados finales en comparación al trabajo realizado en otras muestras de agua han mejorado notoriamente, estableciendo un rango de entre 0.05 y 0.1mg/L de aluminio residual.

Estas cifras son el resultado de una buena floculación y posterior sedimentación y todo gracias a la gran cantidad de material particulado presente en esta muestra de agua catalogada como de mediana turbiedad.

Para concluir el análisis realizado a la muestra de agua N° 3, se escoge el coagulante que tuvo el mejor desempeño al momento de clarificar la muestra de agua objeto de estudio, de acuerdo a las graficas 4.105 a la 4.108, las cuales permiten comparar el trabajo de cada uno y escoger el más eficiente.

Los productos constituidos principalmente de sal de sulfato (SAGB Y SALB) minimizan en grandes cantidades los índices de turbiedad y color residual. El pH aunque se encuentra dentro de los límites establecidos, descendió cuantiosamente, considerando que el pH inicial es de 8.04, lo que implica que los productos tienen problemas para tratar aguas de grandes turbiedades y mantener equilibrado el nivel de potencial de hidrogeno, lo que conlleva al último parámetro

(aluminio residual), el cual se encuentra por encima de 0.2 mg/L y tiene una relación directa con la cantidad de ppm de producto suministrado.

En cuanto al producto Mackenfloc I, tuvo inconvenientes al momento de potabilizar la muestra de agua, pues los niveles de turbiedad, color, pH y aluminio residual, no fueron los más ejemplares según lo evidenciado en las gráficas antes mencionadas.

Como los coagulantes restantes tuvieron un buen desempeño durante el trabajo realizado y solo algunos detalles marcaron la diferencia, se especificará de aquellos que sobresalieron en el proceso, los cuales fueron el PAC y el Mackenfloc II. Estos productos no solo redujeron los índices de turbiedad, color y aluminio residual a casi nada, sino que también mantuvieron un equilibrio en los niveles de potencial de hidrogeno que descarta la posibilidad de utilizar algún tipo de alcalinizante para aguas que sobrepasen los niveles de la muestra objeto de estudio. Pero por excelencia y teniendo en cuenta las concentraciones de cada producto utilizados en la dosis óptima, (18ppm utilizados de Mackenfloc II y 26 ppm utilizados de PAC) el Mackenfloc II es el producto elegido como de mejor desempeño en la tratabilidad de la muestra de agua N° 3.

4.5 Análisis Muestra N° 4

Los estudios realizados para el análisis de una cuarta muestra de agua cruda tomada el 8 de Agosto de 2013 en época de lluvia moderada, las propiedades fisicoquímicas del líquido se encuentran dentro de los rangos característicos de fluidos medianamente alterados, como base de investigación y análisis se corrió el respectivo estudio partiendo de un test de jarras que permitió establecer el comportamiento de cada uno de los ocho coagulantes utilizados, candidatos para el remplazo del sulfato de aluminio granulado tipo B utilizado durante un prolongado periodo de tiempo por la planta de tratamiento El Jardín de la ciudad de Neiva.

En la tabla No.37 Parámetros iniciales de la muestra de agua No. 4, se refleja los índices fisicoquímicos basales de dicha muestra.

Tabla 37. Parámetros fisicoquímicos Iniciales, Muestra de agua cruda No.4.

Parámetros	Valores
Turbiedad	220 UNT
Color	167.3 REAL UPC
pH	7.95

La tabla antepuesta pretende dar una mirada que permita un contraste con la acción de cada uno de los coagulantes y los parámetros basales, por ello la importancia de datar los valores fisicoquímicos iniciales en la muestra para el desarrollo del estudio.

Con base en lo anterior, se ha realizado una serie de análisis con cada uno de los ocho coagulantes utilizados y proporcionados por la empresa química QUINSA para este ensayo, de ello tenemos que:

4.5.1 Sulfato de Aluminio Granulado Tipo B (SAGB)

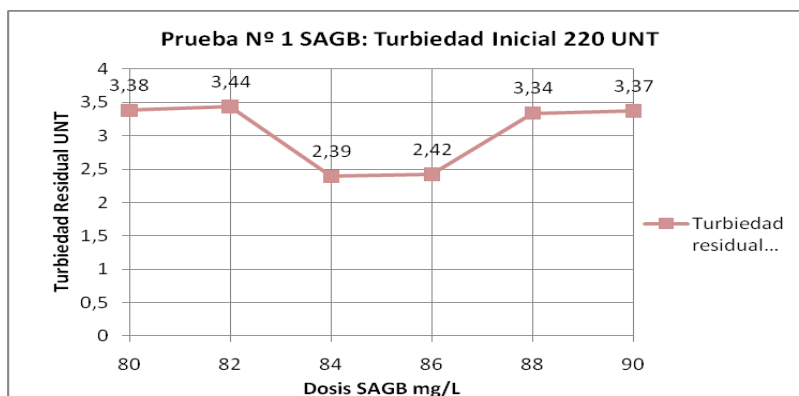
El ensayo realizado para determinar el comportamiento y la eficiencia de este químico coagulante, arrojó a este estudio una serie de datos fisicoquímicos determinantes para el análisis respectivo, gracias a la aplicación de un test de jarras para esta muestra.

Tabla 38. Resultados Prueba realizada con SAGB.

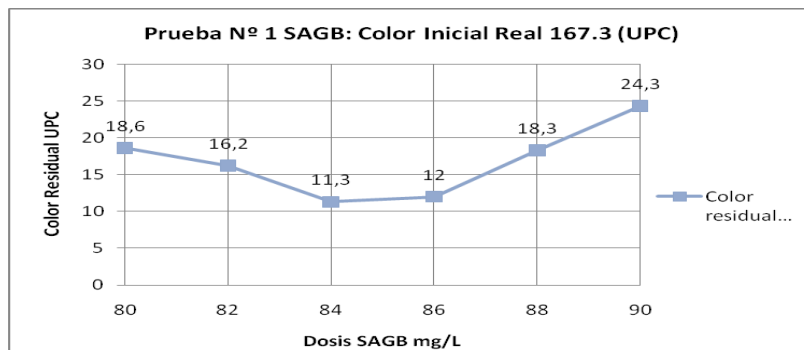
VASOS	1	2	3	4	5	6
COAGULANTE c.c	8.0	8.2	8.4	8.6	8.8	9.0
Dosis mg/L	80	82	84	86	88	90
PH	6.71	6.75	6.74	6.71	6.66	6.63
Turbidez U.N.T	3.38	3.44	2.39	2.42	3.34	3.37
Color UPC	18.6	16.2	11.3	12.0	18.3	24.3
Al Residual mg/L	0.33	0.37	0.3	0.33	0.40	0.41

De acuerdo con los datos obtenidos en la tabla No.38 (Resultados Prueba realizada con SAGB) se puede apreciar que la dosis con mayor acción reguladora corresponde a la jarra numero tres (3), a la cual le fue adicionada 8.4 cm³ del coagulante que permitió obtener los valores más sobresalientes durante todo el ensayo, sin embargo esto no representa una variante significativa para determinar que dicho químico a una dosis de 84 ppm sea el más eficiente ya que para ello es necesario establecer los comportamientos fisicoquímicos mínimos y cuan tan ajusta se encuentre estos valores de acuerdo con la legislación colombiana en su ley 2115 (Parámetros Fisicoquímicos para aguas aptas para el consumo humano).

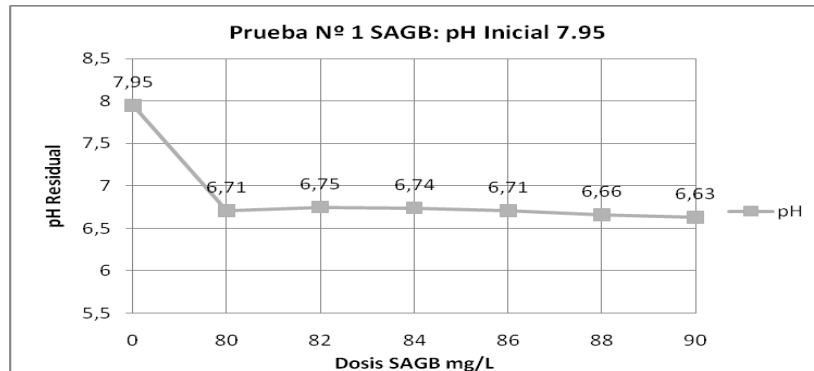
Por ello se ha construido una serie de graficas que permiten dar una mirada detallada en cada unos de los índices físicos y químicos obtenidos durante toda la ejecución del ensayo, de esto tenemos que:



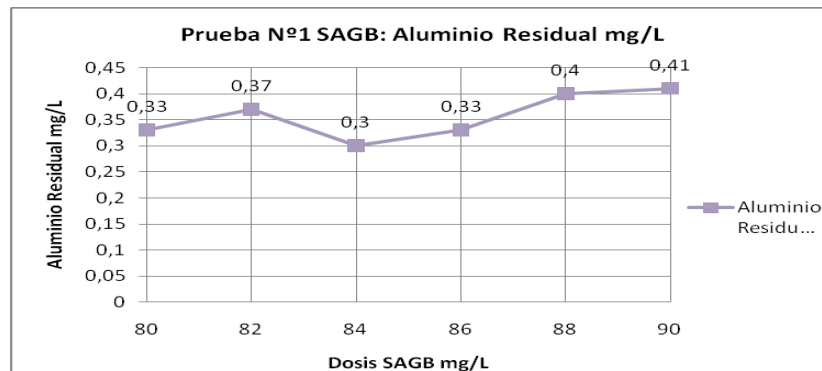
Grafica. 109. Dosis SAGB Vs Turbiedad. (Turbiedad permitida 5 UNT)



Grafica. 110. Dosis SAGB Vs Color Real. (Color permitido 15 UPC)



Grafica. 111. Dosis SAGB Vs pH. (pH permitido entre 6,5 y 9)



Grafica. 112. Dosis SAGB Vs Aluminio residual. (Aluminio residual permitido 0,2 mg/L)

La grafica 109 refleja la acción del coagulante en el control de las unidades nefelométricas de turbiedad expresadas en la muestra inicial y luego de la acción de cada dosis suministrada de sulfato de aluminio granulado tipo B, Durante el recorrido de todo el análisis el coagulante permitió una disminución de más de un 90% de los valores iniciales, así lo demuestra las 2,39 UNT presentes en la jarra numero tres donde se encontraron los valores más bajos de turbiedad. Esto se debe a que el SAGB forma el floc a gran velocidad sin exceder la fase de mezcla rápida, lo cual permite atrapar de manera eficiente todos aquellos sólidos suspendidos de tamaño considerable, quienes son los responsables de otorgar al fluido una apariencia turbia y no apta para su consumo. De la misma manera las

unidades de platino cobalto presentes (ver grafica No.110. Dosis de coagulante Vs Color Real.) Se ven afectadas por la acción del coagulante, ya que este es reducido en más de un 80% de su parámetro inicial debido a la relación que existe en dichas unidades y los valores de turbiedad presentes, pues estos evidencian una relación directamente proporcional otorgando resultados semejantes que corresponden a la formación del floc de manera rápida y su posterior precipitación en fase de sedimentación.

Analizando factores más químicos en la muestra tenemos que las unidades de iones hidronio disueltos en el agua sufren una ligera acidificación que no representa más de 1.2 unidades de pH durante todo el proceso, sin embargo los niveles más bajos se presentaron en la jarra número seis donde vertió la máxima dosis utilizada en el ensayo (ver grafica No.111. Dosis de coagulante Vs pH.) lo cual nos representa que este tiene una relación inversamente proporcional a las dosis suministradas ocasionando una disminución gradual en la medida en que se aumenta las partes por millón de químico vertido.

La gráfica 112. (Dosis de coagulante Vs Aluminio Residual.) Evidencia un factor químico resultante de la acción coagulante del SAGB en el tratamiento de aguas crudas, donde según la constitución en su ley 2115 que estipula los parámetros mínimos para determinar un agua apta para su consumo, dice que los niveles de aluminio residual presentes no deberán exceder las 0.2 unidades, sin embargo en este ensayo vemos que el aporte de aluminio desde el inicio del procedimiento arranca en 0.33 unidades presentando un aumento gradual con cada dosis suministrada, lo cual caracteriza a la muestra como un agua aparentemente no apta para su consumo sin olvidar que dicho índice puede ser tratado más adelante por las siguientes fases de la potabilización del agua.

4.5.2 Mackenfloc II

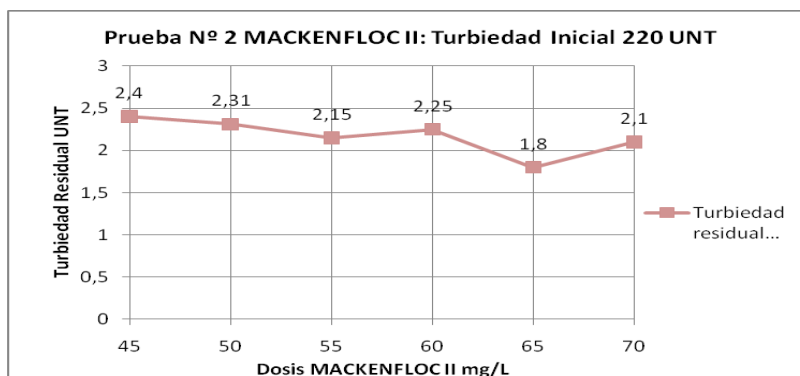
El coagulante otorgado por la empresa QUINSA como candidato para el remplazo del químico utilizado actualmente en la planta de tratamiento El Jardín, fue sometido por medio de un test de jarras a una serie de estudios y análisis fisicoquímicos que permitirán presentar una mirada más objetiva del producto Mackenfloc II y su acción en el tratamiento de aguas crudas.

Los ensayos realizados permitió la obtención de una serie de datos que fueron consignados en la tabla No.39 con el fin de evidenciar los resultados obtenidos durante todo el proceso.

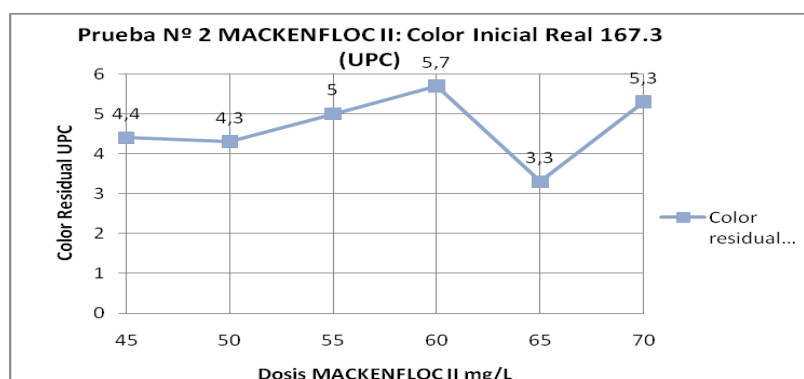
Tabla 39. Resultados Prueba realizada con Mackenfloc II.

VASOS	1	2	3	4	5	6
COAGULANTE c.c	4.5	5.0	5.5	6.0	6.5	7.0
Dosis mg/L	45	50	55	60	65	70
pH	7.37	7.39	7.41	7.50	7.38	7.36
Turbidez U.N.T	2.40	2.31	2.15	2.25	1.80	2.10
Color UPC	4.4	4.3	5.0	5.7	3.3	5.3
Al Residual mg/L	0.09	0.09	0.08	0.08	0.06	0.05

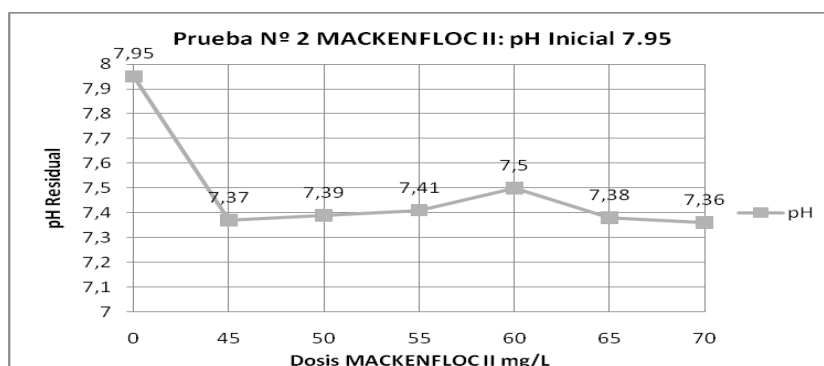
Los resultados obtenidos permiten datar el comportamiento del producto y su acción en nuestra muestra de agua cruda número cuatro, de ello tenemos que la dosis que permitió obtener los valores más satisfactorios se encuentran con la adicción de 5.0 cm³ así como se muestra en el vaso número dos, de igual manera notamos que al verterse 7.0 cm³ del coagulante se obtienen los valores más desfasados de la medida general durante todo el ensayo sin embargo esto está sujeto y deberá ser esclarecido con el siguiente análisis fisicoquímico.



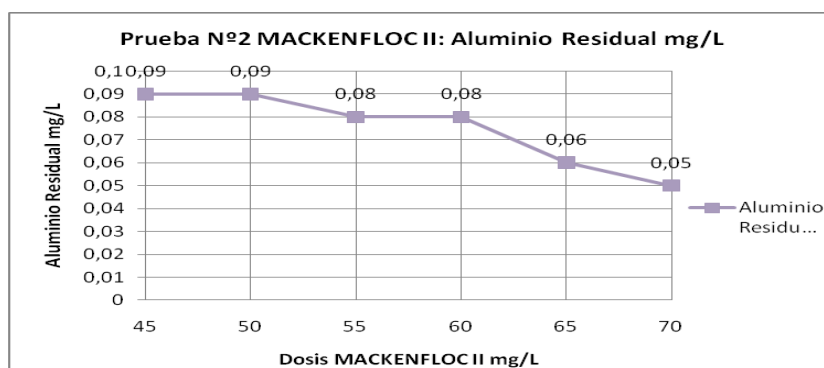
Grafica. 113. Dosis Mackenfloc II Vs Turbiedad residual. (Turbiedad permitida 5 UNT)



Grafica. 114. Dosis Mackenfloc II Vs Color Real. (Color permitido 15 UPC)



Grafica. 115. Dosis Mackenfloc II Vs pH. (pH permitido entre 6,5 y 9)



Grafica. 116. Dosis Mackenfloc II Vs Aluminio residual. (Aluminio residual permitido 0,2 mg/L)

El comportamiento de cada uno de los parámetros físicos y químicos analizados se encuentra reflejadas en una serie de graficas que nos permitirán determinar que tan eficiente es el producto químico Mackenfloc II:

La Gráfica 113. (Dosis de coagulante Vs Turbiedad) nos presenta que los índices iniciales de turbiedad fueron contrarrestados en más de un 90%, lo cual está sustentado en la eficiencia del producto al momento de formar un floc considerable que permite la captación en proporción de grandes cantidades de sólidos que se encuentran suspendidos en el fluido y que otorgan un aspecto aparente inadecuado para su consumo, de igual manera y estrechamente relacionados encontramos que los índices en las unidades de platino cobalto presentes disminuyen significativamente en más de un 90% , característica propia de la acción floculante del producto y su arrastre de sólidos en forma de floc.

Por otro lado se tiene que los valores de pH presentes reflejan una ligera acidificación (ver Gráfica 115. Dosis de coagulante Vs pH.) que no representan un cambio significativo ya que aun de haber sufrido una reducción de 0.59 unidades, este se encuentra dentro de los valores estipulados por la ley 2115 de la constitución colombiana.

Por otro lado la cantidad de aluminio residual aportado a la muestra como resultante de la acción del coagulante es relativamente mínimo, puesto que durante todo el proceso este tan solo apporto menos de 0.1 unidades, lo cual

representa un valor por debajo de la mitad del índice mínimo establecido por la legislación colombiana.

4.5.3 Hidroxicloruro (PAC)

Los análisis realizados para establecer la eficiencia del producto Hidroxicloruro distribuido por la empresa QUINSA se basaron en una serie de pruebas fisicoquímicas elementales capaces de determinar el comportamiento del químico y su acción coagulante.

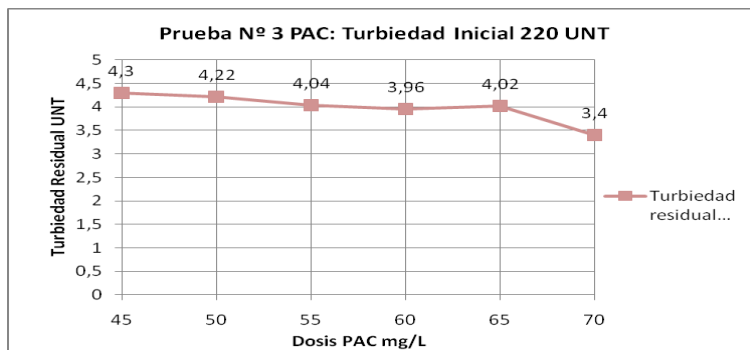
De esta manera se ha recompilado en la siguiente tabla los valores obtenidos durante el ensayo realizado por medio de un test de jarras otorgando como resultado las siguientes cifras.

Tabla 40. Resultados Prueba realizada con Hidroxicloruro.

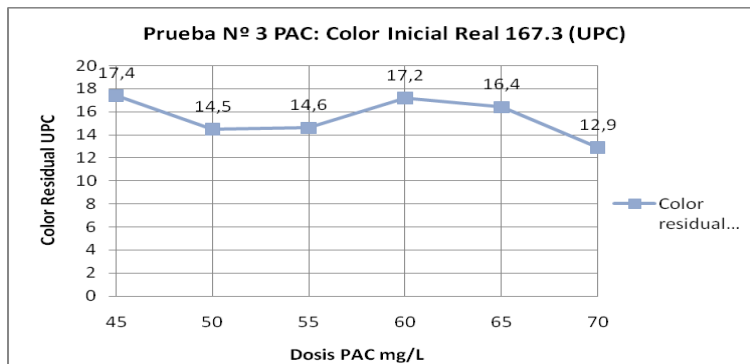
VASOS	1	2	3	4	5	6
COAGULANTE c.c	4.5	5.0	5.5	6.0	6.5	7.0
Dosis mg/L	45	50	55	60	65	70
pH	7.41	7.42	7.39	7.36	7.34	7.31
Turbidez U.N.T	4.3	4.22	4.04	3.96	4.02	3.40
Color UPC	17.4	14.5	14.6	17.2	16.4	12.9
Al Residual mg/L	0.02	0.02	0.05	0.04	0.05	0.05

Los resultados obtenidos con la aplicación del producto aportó los valores más significativos en la máxima dosificación vertida que corresponde a 70 ppm, de esta manera podemos observar que la acción del químico se intensifica con el aumento de las dosis.

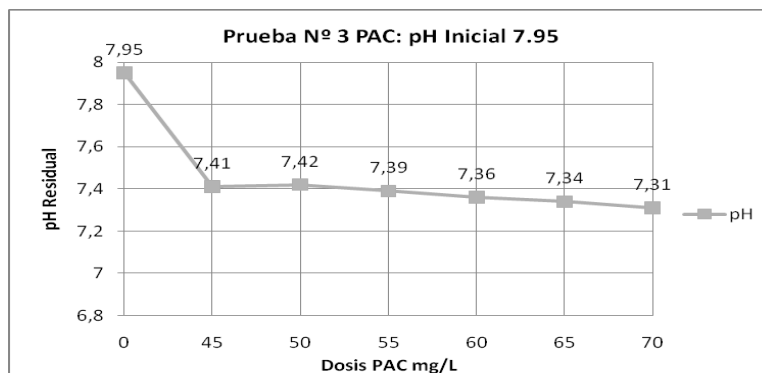
Sin embargo es indispensable un análisis fisicoquímico más detallado con el fin de datar objetivamente el comportamiento de dichos parámetros durante la acción del coagulante en cuestión, de esta manera se han construido una serie de gráficas con cada uno de los índices objeto de estudio.



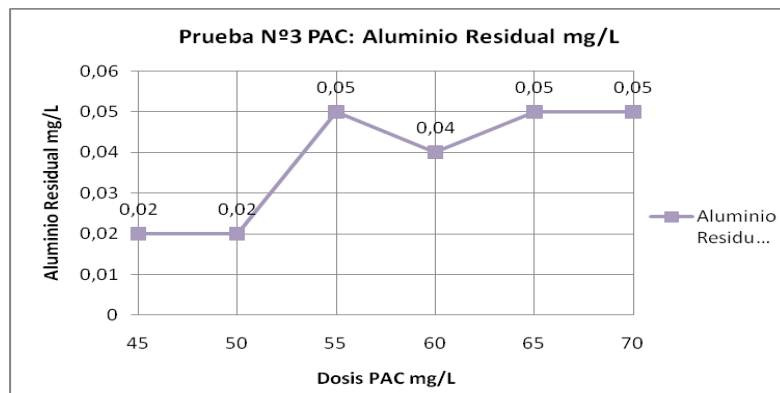
Grafica. 117. Dosis (PAC) Vs Turbiedad residual. (Turbiedad permitida 5 UNT)



Grafica. 118. Dosis (PAC) Vs Color Real. (Color permitido 15 UPC)



Grafica. 119. Dosis (PAC) Vs pH. (pH permitido entre 6,5 y 9)



Grafica. 120. Dosis (PAC) Vs Aluminio residual. (Aluminio residual permitido 0,2 mg/L)

Las graficas No. 117 y 118 reflejan el comportamiento de la turbiedad y el color respectivamente en la muestra, con la acción de cada una de las dosis suministradas de hidroxiclóruo, permitió obtener en cada uno de los parámetros una reducción de más de un 92% del índice inicial, lo cual califica al producto como uno de lo más idóneos para el control súbito de aspectos físicos como la turbiedad y el color expresadas en unidades nefelométricas de turbiedad y unidades de platino cobalto respectivamente, esto se debe a que la formación del floc se genera de manera casi instantánea en el momento en que se vierte cada cantidad de producto, garantizando la captación rápida de los sólidos suspendidos y la homogenización total del floc en la medida que avanza el tiempo de acción y los periodos de mezcla hasta llegar a su respectiva sedimentación.

Por otro lado tenemos que las unidades de iones hidronio (ver Gráfica 119. Dosis de coagulante Vs pH.) presentes inicialmente se ven afectadas de manera poco significativa, puesto que durante y hasta la culminación del ensayo este solo vario en 0.63 unidades, cifra que no data un cambio brusco pero si una ligera acidificación del medio .

La grafica No.120 (Dosis de coagulante Vs Aluminio residual.) identifica la cantidad de aluminio residual que se otorga al medio como resultado de la acción floculante del producto hidroxiclóruo en cada una de sus adiciones, vertidas de manera controlada en los vasos dispuestos para el test de jarras, estos valores durante todo el proceso solo representa 0.05 unidades, cifra que contrastada con los valores mínimos expuestos por la ley 2115 de la legislación colombiana identifica el liquido como un agua apta para su consumo.

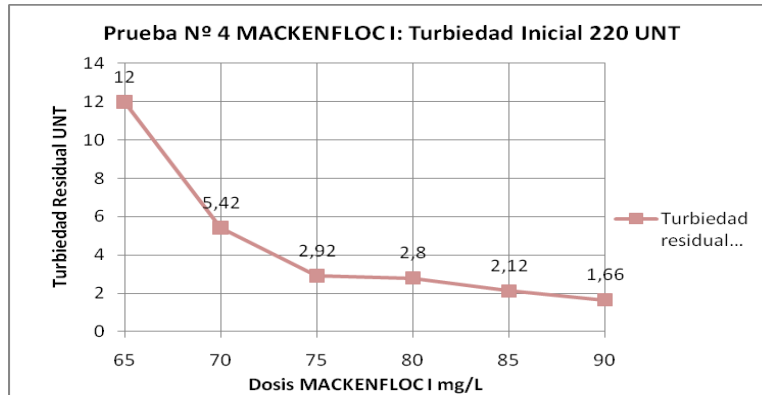
4.5.4 Mackenfloc I

Los análisis corridos para el producto I de la línea Mackenfloc se basa en un estudio fisicoquímico que permitió caracterizar el comportamiento de cada uno de los parámetros objeto de análisis mediante un test de jarras que nos otorgó los siguientes resultados:

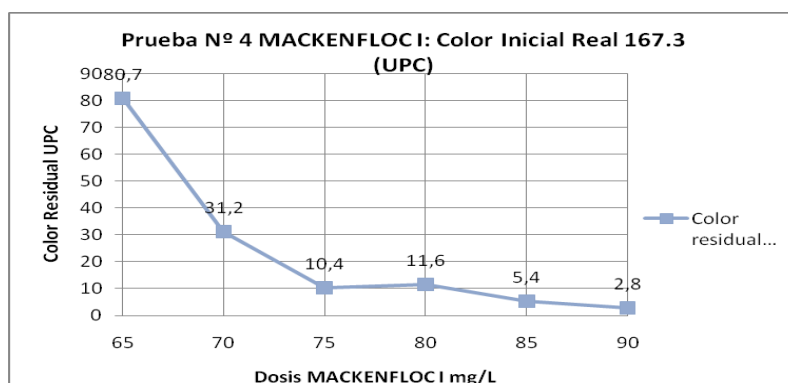
Tabla 41. Resultados Prueba realizada con Mackenfloc I.

VASOS	1	2	3	4	5	6
COAGULANTE c.c	6.5	7.0	7.5	8.0	8.5	9.0
Dosis mg/L	65	70	75	80	85	90
pH	7.09	7.01	6.94	6.97	6.93	6.90
Turbidez U.N.T	12.0	5.42	2.92	2.80	2.12	1.66
Color UPC	80.7	31.2	10.4	11.6	5.4	2.8
Al Residual mg/L	0.66	0.36	0.2	0.2	0.15	0.14

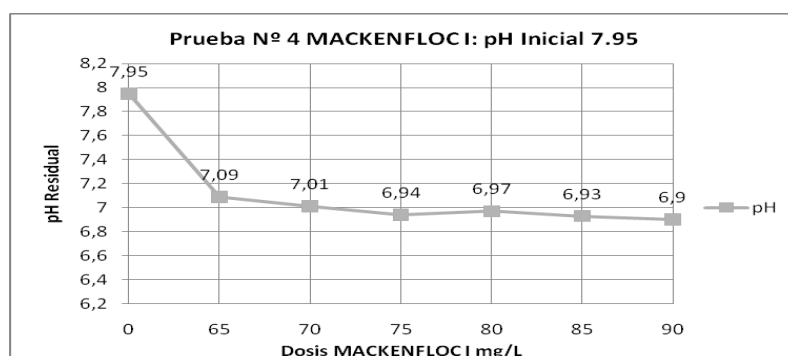
Los resultados obtenidos en la tabla anterior determina las concentraciones dispuestas en cada una de las dosis suministradas y los valores alcanzados en cada uno de los vasos del test de jarras, en ese orden de ideas tenemos que los resultados más sobresalientes se alcanzaron al verterse 9.0 cm³ del producto los cuales refleja que los cambios se dieron gracias a la relación inversamente proporcional entre las dosis vertidas y los parámetros valores obtenidos, sin embargo estos resultados no son suficientes para determinar el comportamiento de los parámetros fisicoquímico a evaluar, por ende se han construido las siguientes graficas con el fin de evidenciar de manera más objetiva cada cambio.



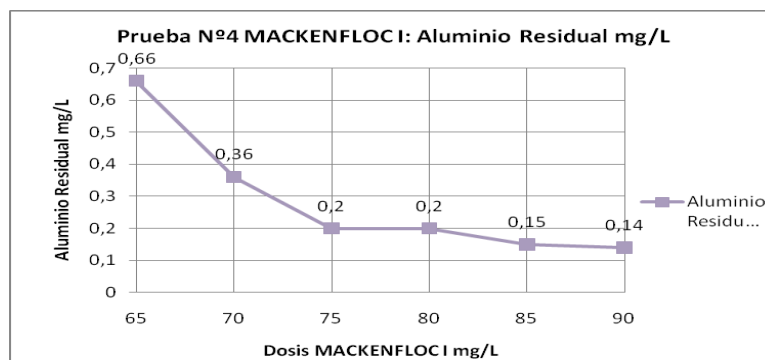
Grafica. 121. Dosis Mackenfloc I Vs Turbiedad residual. (Turbiedad permitida 5 UNT)



Grafica. 122. Dosis Mackenfloc I Vs Color Real. (Color permitido 15 UPC)



Grafica. 123. Dosis Mackenfloc I Vs pH. (pH permitido entre 6,5 y 9)



Grafica. 124. Dosis Mackenfloc I Vs Aluminio residual. (Aluminio residual permitido 0,2 mg/L)

Las graficas No. 121 y 122 representan la forma en que los índices de turbiedad y color respectivamente son controlados en más de un 95%, manteniendo una relación inversamente proporcional en cada adición del producto donde las unidades nefelométricas de turbiedad y unidades de platino cobalto presentes de manera súbita disminuyeron, gracias a la acción inmediata del químico, este permitió la formación de un floc denso de forma rápida y con ello la captación en gran proporción de partículas solidas disueltas. Por otro lado tenemos que los niveles de iones hidronio presentes en la muestra no presentan una alteración

significativa ya que el cambio solo ocurrió en 0.9 unidades y aun así no representan una variante importante según lo estipulado en la ley 2115 de la constitución colombiana.

La grafica 124 (Dosis de coagulante Vs Aluminio residual) caracteriza la forma en que se va depositando en la muestra ciertas cantidades de aluminio residual resultante de la acción floculante del químico, estos valores son elevados desde la primera adición pero como transcurre el tiempo e incrementa la concentración en cada una de las dosis este decae hasta llegar a 0.14 ppm de las 0.66 ppm aportadas inicialmente por 6.3 cm³ del coagulante vertido y analizado, según la constitución colombiana este rango no debe exceder los 0.2 unidades, por ende podemos clasificar a este fluido como un agua con niveles apropiados de aluminio residual para su consumo.

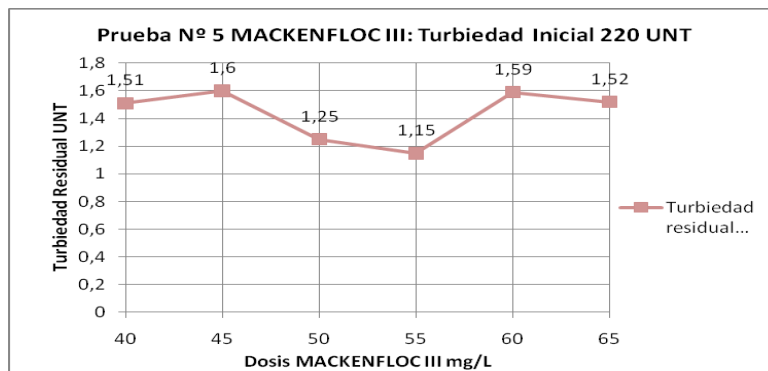
4.5.5 Mackenfloc III

Los análisis realizados para determinar la eficiencia del producto numero III de la línea de productos para el tratamiento de agua Mackenfloc de la empresa QUINSA fue resuelto mediante un test de jarras que permitió el estudio de una serie de parámetros fisicoquímicos en función de las concentraciones adicionadas a una muestra de agua cruda a tratar, de ello tenemos el siguiente consolidado:

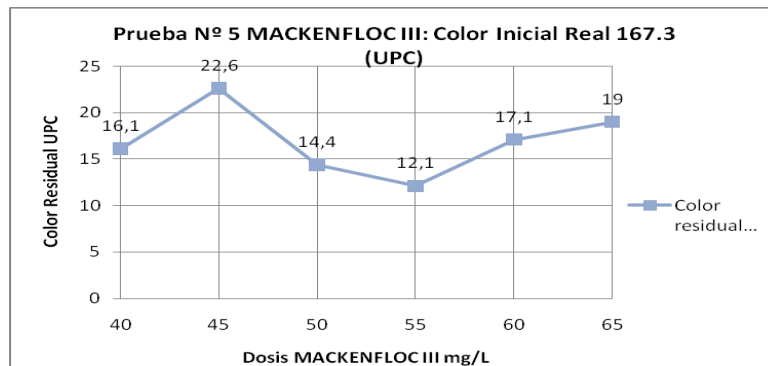
Tabla 42. Resultados Prueba realizada con MACKENFLOC III.

VASOS	1	2	3	4	5	6
COAGULANTE c.c	4.0	4.5	5.0	5.5	6.0	6.5
Dosis mg/L	40	45	50	55	60	65
pH	7.54	7.46	7.40	7.34	7.30	7.28
Turbidez U.N.T	1.51	1.60	1.25	1.15	1.59	1.52
Color UPC	16.1	22.6	14.4	12.1	17.1	19.0
Al Residual mg/L	0.04	0.06	0.07	0.05	0.07	0.07

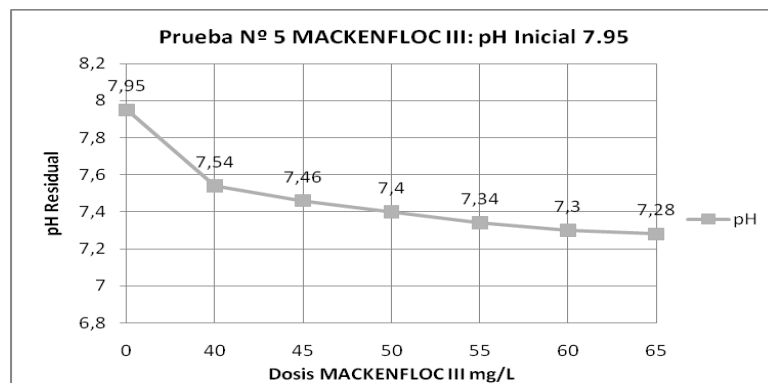
Los resultados obtenidos en cada una de las adiciones del producto vertidas nos demuestran que entre más elevadas sean las concentraciones aplicadas mejores serán los valores obtenidos, así lo demuestra el vaso numero 6 donde con una concentración de 65 ppm del producto se alcanzaron los niveles fisicoquímicos más sobresalientes durante todo el proceso y que seguramente si se hubiese continuado con la adición de dicho químico podría haberse obtenido mejores resultados, sin embargo es necesario realizar un análisis más detallado de los aspectos físicos y químicos controlados por la acción del producto Mackenfloc III :



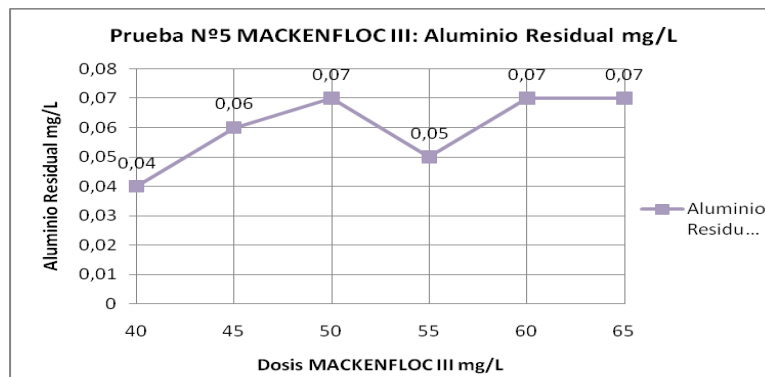
Grafica. 125. Dosis Mackenfloc III Vs Turbiedad residual. (Turbiedad permitida 5 UNT)



Grafica. 126. Dosis Mackenfloc III Vs Color Real. (Color permitido 15 UPC)



Grafica. 127. Dosis Mackenfloc III Vs pH. (pH permitido entre 6,5 y 9)



Grafica. 128. Dosis Mackenfloc III Vs Aluminio residual. (Aluminio residual permitido 0,2 mg/L)

Las graficas obtenidas como resultado del análisis aportaron al estudio el comportamiento de dichos parámetros y el control de los mismos por parte del químico utilizado para este ensayo, de ello tenemos que los niveles de turbiedad iniciales fueron contrarrestados en más de un 96% otorgando como índice más bajo y estable la obtención de 1,15 UNT totales en la muestra con la adición de 55 ppm durante el procedimiento, esto también trajo consigo una reducción drástica en la unidades de platino cobalto presentes ya que gracias a la formación del floc las partículas solidas suspendidas fueron captadas eficientemente otorgando al sistema una reducción de más de un 80% UPC de color (ver Gráfica 126. Dosis de coagulante Vs Color Real.) Manteniéndose estable con 12,1 unidades como valor mínimo y mas regulado.

La grafica 127. nos presenta una mirada a la forma en que se comportan los iones hidronio disueltos y su cantidad presentes en la muestra; estas durante todo el procedimiento mantienen una relación inversamente proporcional a la concentración de las dosis vertidas, obteniendo una reducción total de más de 0.15 unidades de pH, lo anterior puede tomarse como una ligera acidificación del medio que por supuesto no representa un cambio significativo ya que no altera los valores mininamente exigidos por la legislación colombiana.

La cantidad de aluminio residual otorgado a la muestra por la acción coagulante del producto (ver Gráfica.128. Dosis de coagulante Vs Aluminio residual.) No representa para el estudio una variable importante ya que solo se aporta 0,07 p.p.m lo cual solo caracteriza el 35 % de las unidades máximas permitidas, sin embargo este mantiene una relación directamente proporcional al número de dosis suministradas.

4.5.6 Quinsafloc

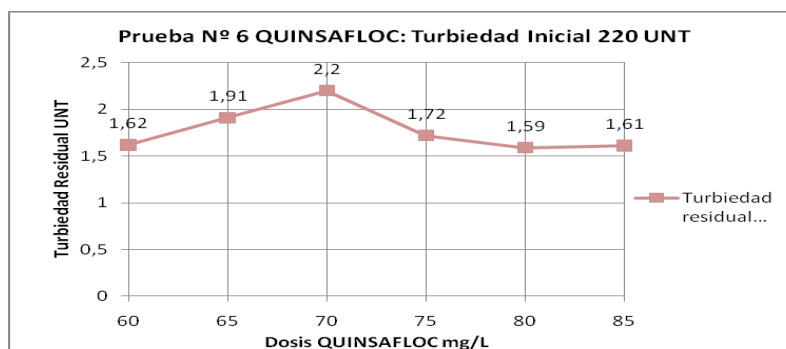
Los estudios corridos para el producto Quinsafloc como proceso de la metodología propuesta arrojó una serie de datos que caracterizan la forma en el que actúa el producto y de cuan tan eficiente puede ser en el tratamiento de aguas crudas bajamente alteradas o con índices fisicoquímicos bajos.

Los resultados obtenidos se encuentran condensados en forma de tabla de la siguiente manera:

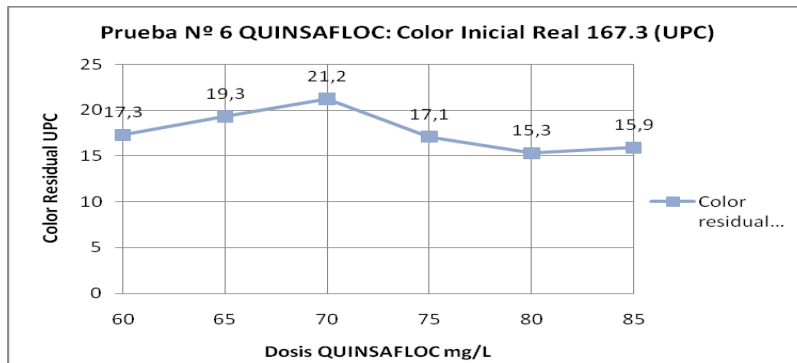
Tabla 43. Resultados Prueba realizada con QUINSAFLOC.

VASOS	1	2	3	4	5	6
COAGULANTE c.c	6.0	6.5	7.0	7.5	8.0	8.5
Dosis mg/L	60	65	70	75	80	85
pH	7.48	7.41	7.36	7.29	7.23	7.23
Turbidez U.N.T	1.62	1.91	2.20	1.72	1.59	1.61
Color UPC	17.3	19.3	21.2	17.1	15.3	15.9
Al Residual mg/L	0.06	0.07	0.09	0.09	0.08	0.10

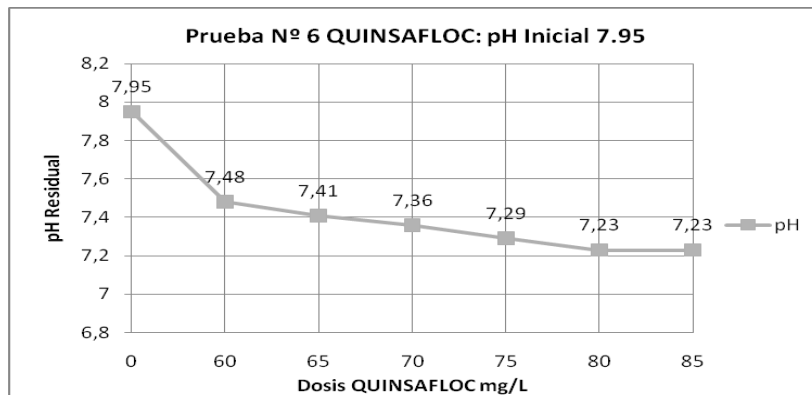
Los valores obtenidos en cada uno de los vasos del test de jarras refleja la acción del coagulante en la regulación de los parámetros físicos y químicos del agua cruda inicial como estrategia para el tratamiento de aguas; durante todo el procedimiento los resultados más sobresalientes reposan en la columna 5 de la tabla 43, donde con 60 ppm del producto adicionado se pudo obtener una reducción significativa de dichos valores y como ha de esperarse los datos menos aceptables reposan en la columna 3 de la misma tabla ya que este funciona de la forma menos esperada otorgando al medio una irregularidad aparente y por consiguiente los valores más altos; sin embargo se hace necesario realizar un análisis más detallado así como se evidencia en el siguiente juego de graficas:



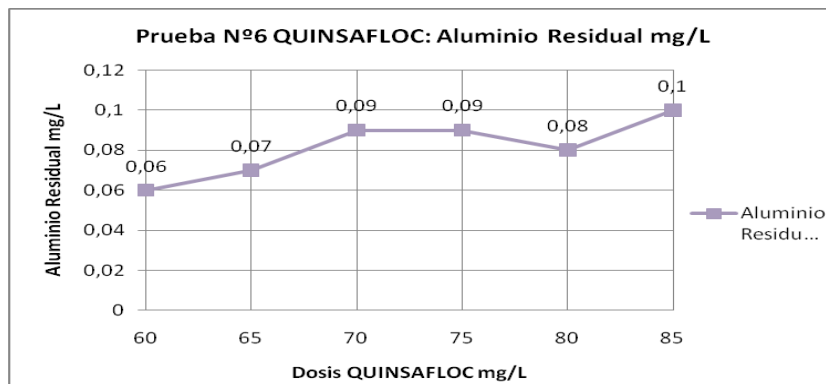
Grafica. 129. Dosis Quinsafloc Vs Turbiedad residual. (Turbiedad permitida 5 UNT)



Grafica. 130. Dosis Quinsafloc Vs Color Real. (Color permitido 15 UPC)



Grafica. 131. Dosis Quinsafloc Vs pH. (pH permitido entre 6,5 y 9)



Grafica. 132. Dosis Quinsafloc Vs Aluminio residual. (Aluminio residual permitido 0,2 mg/L)

La forma en que actúa el producto Quinsafloc una vez adicionado es con la formación de un floc de densidad media que se aglomera de manera rápida y constante hasta alcanzar el peso suficiente, luego del periodo de mezcla lenta precipita y entra en un proceso de sedimentación bastante completo ya que permite la reducción de los parámetros fisicoquímicos iniciales así como se evidencia en la Gráfica 129. (Dosis de coagulante Vs Turbiedad.) Donde los niveles de turbiedad son disminuidos en más del 97% del valor inicial manteniendo un ritmo equilibrado, esto puede ser concebido como una reducción súbita de

dichos valores y de la alta efectividad que este producto posee para captar las partículas solidas disueltas causantes de la turbiedad y el color en aguas de esta naturaleza; De igual manera los valores en la unidades de platino cobalto presentes (color) se ven afectadas obteniéndose un valor mínimo de 15,3 UPC de los 167,3 UPC reales iniciales, lo cual traduce que se ah obtenido una disminución de más de 152 unidades, lo que representa más del 89% de eficiencia.

La Gráfica 131. (Dosis de coagulante Vs pH.) Caracteriza el comportamiento constante que afrontan los iones hidronio disueltos, sufriendo una ligera acidificación en el medio que por supuesto no representa un cambio significativo ya que no excede las 0.72 unidades, según lo estipulado por la norma colombiana para la aceptación de aguas para el consumo humano.

El aluminio residual aportado durante todo el proceso no excede las 0.1 unidades, aun así manteniendo una relación directamente proporcional a las dosis del producto vertidas a la muestra, este conserva una creciente gradual sin alterar lo máximo aceptado por la legislación colombiana en su capítulo II de la ley 2115.

4.5.7 Mackenfloc IV

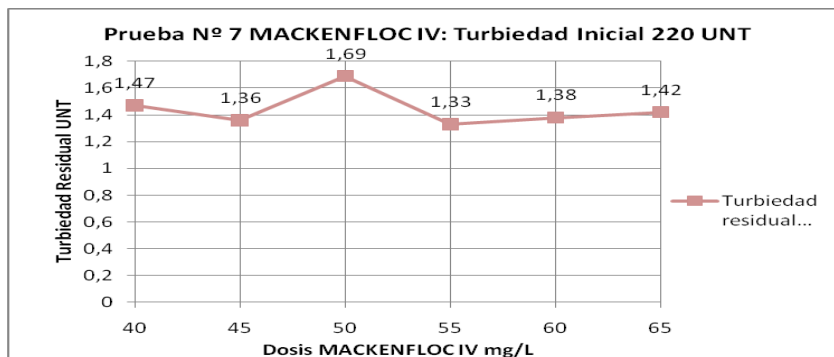
Los producto de la empresa Quinsa pertenecientes a la línea de químicos Mackenfloc se ah caracterizado por otorgar los mejores resultado en el tratamiento de aguas, en este caso el producto Mackenfloc IV fue sometido a una serie de estudios fisicoquímicos que permitió evidenciar su comportamiento y el estado de las muestra de agua cruda intervenidas.

Tabla 44. Resultados Prueba realizada con MACKENFLOC IV.

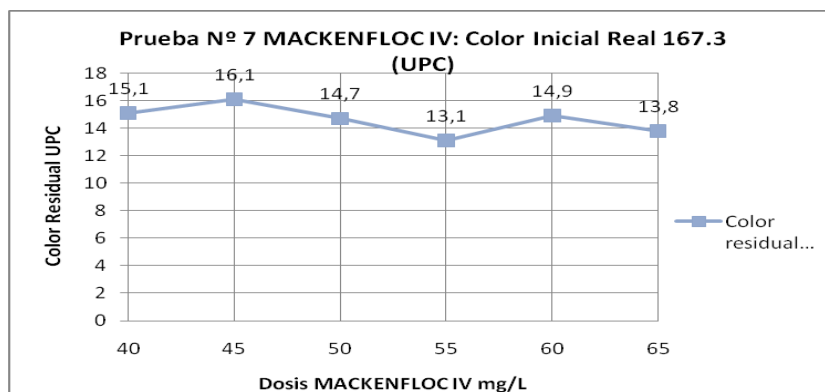
VASOS	1	2	3	4	5	6
COAGULANTE c.c	4.0	4.5	5.0	5.5	6.0	6.5
Dosis mg/L	40	45	50	55	60	65
pH	7.77	7.63	7.57	7.49	7.46	7.43
Turbidez U.N.T	1.47	1.36	1.69	1.33	1.38	1.42
Color UPC	15.1	16.1	14.7	13.1	14.9	13.8
Al Residual mg/L	0.08	0.06	0.07	0.09	0.08	0.12

Los resultados obtenidos van estrechamente relacionados a los niveles de concentracion utilizados en cada dosis del producto al sistema para alcanzar los valores mas sobresalientes durante todo estudio, de esta manera las cifras consignadas en la tabla 44 presentan una connotación interesante ya que al adicionarse 55 ppm del coagulante este otorga al medio los valores más bajos, cuando este excede dicha concentración los índices se elevan de manera irregular hasta alcanzar una aparente estabilización. Sin embargó se ha construido una serie de graficas que permitirán otorgarle al estudio una mirada más detallada en

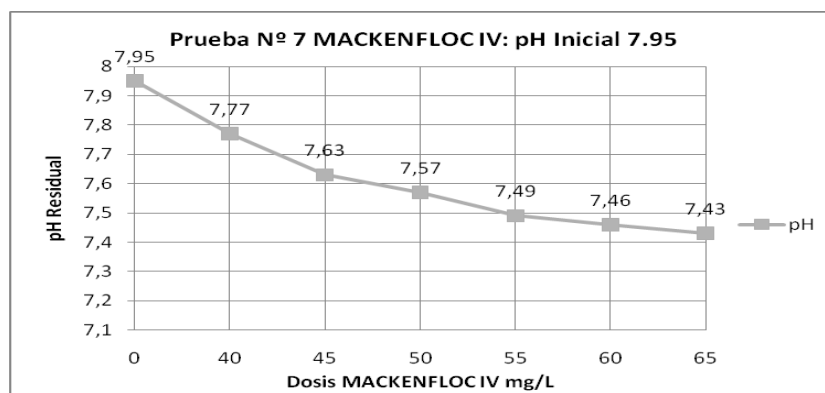
la manera en que este se comporta y que tan eficiente resulta llegar a ser el producto en aguas crudas de condiciones ligeramente alteradas.



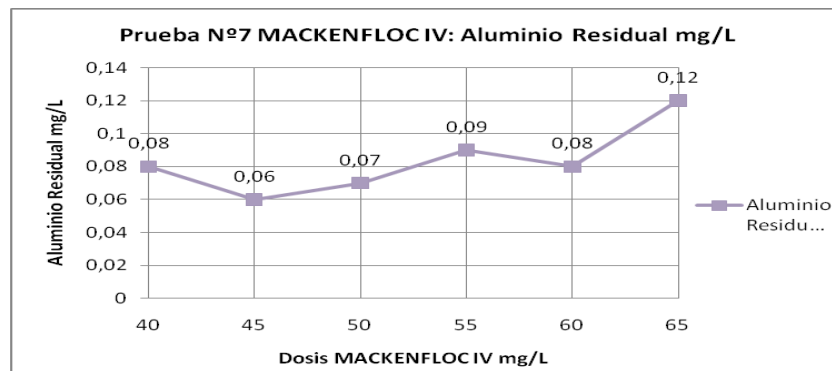
Grafica. 133. Dosis Mackenfloc IV Vs Turbiedad residual. (Turbiedad permitida 5 UNT)



Grafica. 134. Dosis Mackenfloc IV Vs Color Real. (Color permitido 15 UPC)



Grafica. 135. Dosis Mackenfloc IV Vs pH. (pH permitido entre 6,5 y 9)



Grafica. 136. Dosis Mackenfloc IV Vs Aluminio residual. (Aluminio residual permitido 0,2 mg/L)

La Gráfica 133. (Dosis de coagulante Vs Turbiedad.) Demuestra que los índices de turbiedad presentes inicialmente sufrieron una reducción de más del 95% donde los niveles más bajos obtenidos durante todo el proceso fue de 1.33 unidades nefelométricas de turbiedad, esto en gran medida se debe a la acción coagulante que este producto presenta al reaccionar con las partículas solidas disueltas en el medio permitiendo su capitación de manera rápida y una aglomeración idónea para su precipitación que es donde se culminara la fase de arrastre por medio del floc; de igual manera los niveles en unidades de platino cobalto adquieren una reducción de un poco más del 88% ya que este va estrechamente relacionado a las partículas solidas presentes, cabe resaltar que el control de estos dos parámetros físicos son realizados de manera simultánea e la reacción, las cifras mínimas de color obtenidas es de 13,1 UPC lo cual son un poco altas pero no excedidas a la norma colombiana para aguas aptas para su consumo, sin embargo cabe recordar que en procesos más adelante este puede reducirse aun mas.

Los niveles de pH presentes durante el estudio (ver Gráfica135. Dosis de coagulante Vs pH.) Para esta muestra de agua adquirió unas ligeras acidificaciones notables en la reducción de más de 0.52 unidades de iones hidronio disuelto, pero aun así la variación no se constituye significativa y no altera las condiciones físicas y químicas del agua.

La Gráfica 136. (Dosis de coagulante Vs Aluminio residual.) evidencia el comportamiento del aluminio residual presente y aportado en cada una de las dosificaciones vertidas al medio donde se sostienen una relación inversamente proporcional a la concentración dispuesta para cada vaso e el test de jarras, sin embargo el nivel de aluminio no excede el 60% del valor máximo permitido (0,2) por la constitución colombiana en su ley 2115.

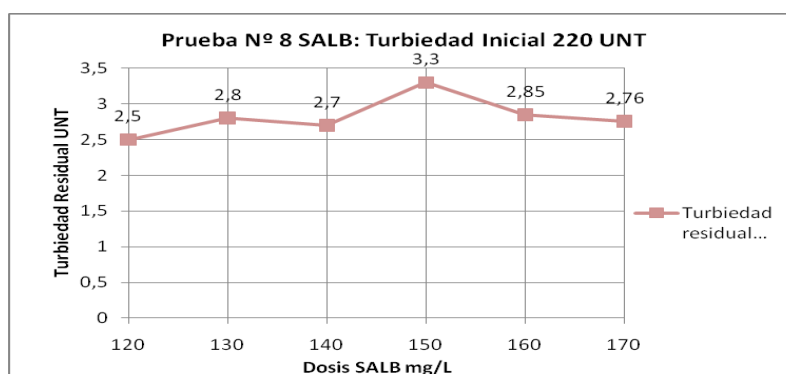
4.5.8 Sulfato de Aluminio Líquido Tipo B (SALB)

Los análisis realizados para determinar la eficiencia del producto SALB se determino por medio de un test de jarras que nos otorgó una serie de cifras que datan el comportamiento fisicoquímico del medio tratado con dicho químico, de ello se obtuvo la siguiente tabla:

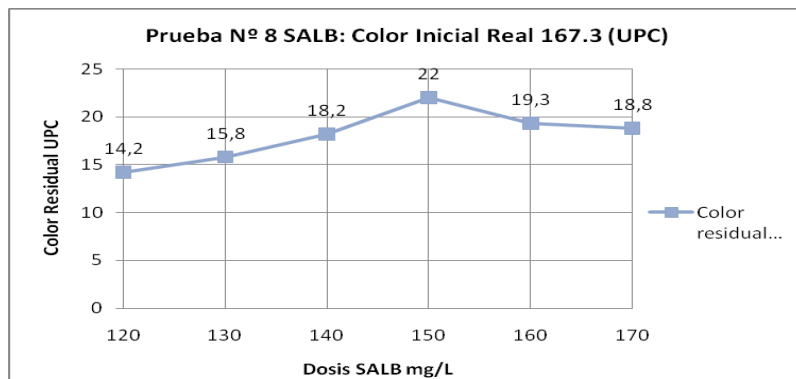
Tabla 45. Resultados Prueba realizada con sulfato de aluminio líquido tipo B.

VASOS	1	2	3	4	5	6
COAGULANTE c.c	12.0	13.0	14.0	15.0	16.0	17.0
Dosis mg/L	120	130	140	150	160	170
pH	6.78	6.69	6.61	6.58	6.52	6.47
Turbidez U.N.T	2.50	2.80	2.70	3.30	2.85	2.76
Color UPC	14.2	15.8	18.2	22.0	19.3	18.8
Al Residual mg/L	0.19	0.20	0.23	0.31	0.35	0.37

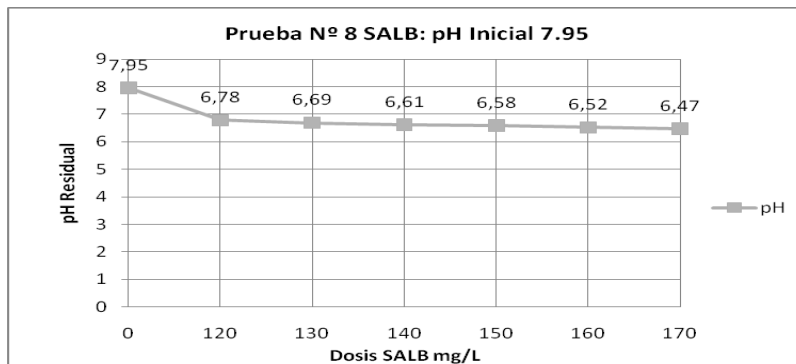
Los resultados obtenidos caracterizan la acción instantánea que este producto a base de sulfato reacciona con el medio formando un floc a gran velocidad permitiendo que en los periodos de mezcla rápida y lenta se homogenizara completamente y por consiguiente la precipitación del mismo, la captación por arrastre final de las partículas solidas presentes se realizo en fase de sedimentación; para un análisis más detallado se realizaron las siguientes graficas:



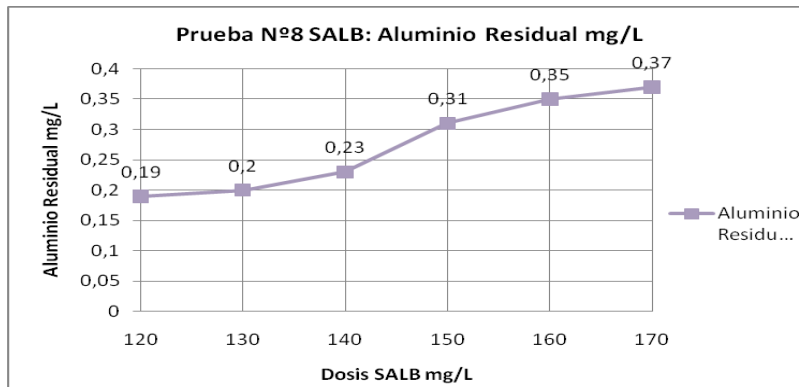
Grafica. 137. Dosis de SALB Vs Turbiedad residual. (Turbiedad permitida 5 UNT)



Grafica. 138. Dosis de SALB Vs Color Real. (Color permitido 15 UPC)



Grafica. 139. Dosis de SALB Vs pH. (pH permitido entre 6,5 y 9)



Grafica. 140. Dosis de SALB Vs Aluminio residual. (Aluminio residual permitido 0,2 mg/L)

La Gráfica 137. (Dosis de coagulante Vs Turbiedad.) Ratifica el comportamiento de control súbito en los valores de turbiedad, tomando como referencia las 220 UNT iniciales y los 2.5 UNT obtenidos como uno de los valores más sobresalientes del ensayo, podemos inferir que se produjo una reducción de más del 98% que traducen 217.5 UNT menos que el valor inicial, sin embargo este al mantener una relación directamente proporcional a la concentración de la dosis suministrada, los índices tienden a elevarse una vez vertida la primer dosis, lo que quiere decir que el sistema se irá sobresaturando moderadamente ocasionando

niveles más altos de turbiedad, cabe recordar que el límite máximo para declarar un agua apta para su consumo si a niveles de turbiedad se refiere es 5 UNT, por consiguiente esta cumple con el requerimiento establecido por la constitución colombiana. El color expresado en unidades de platino cobalto presentes en la muestra expresa una reducción de un 91% con tan solo verter 120 ppm del producto, la cual representa la primer dosis suministrada al sistema, cabe resaltar que este valor crece de manera proporcional en la medida en que se aumenta las concentraciones adicionadas donde al alcanzar las 170 ppm dosificadas, las unidades se excede en aproximadamente 3 unidades por encima del límite legal (15 UPC) lo que quiere decir que las condiciones no garantizan el control y la estabilización de las unidades de platino cobalto presentes en la muestra.

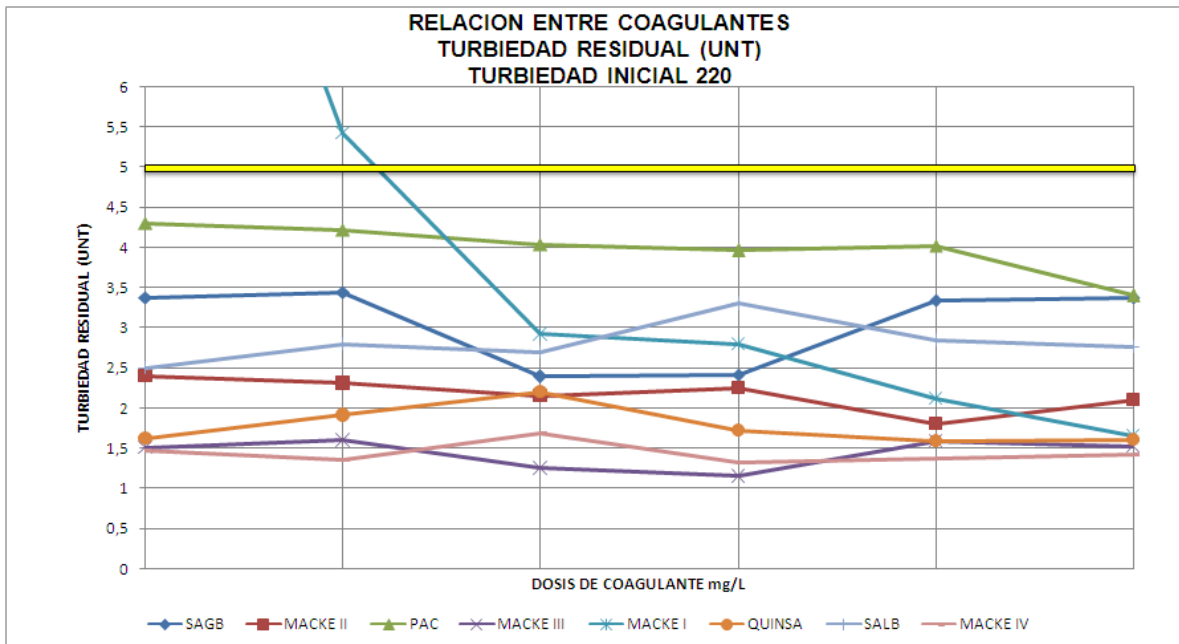
La Gráfica 139. (Dosis de coagulante Vs pH.) Data el comportamiento químico de los iones hidronio disueltos presentes en la muestra de agua cruda a tratar por el producto SALB, lo cual permite evidenciar una acidificación ligera gracias a la disminución de 1.48 unidades, esto otorga al sistema un carácter un poco mas acido. Aún así la variante no representa un cambio significativo al momento de referirnos a la norma que estipula que el rango de un agua apta para su consumo deberá obtener un índice dentro de los 6.5 y 9 de pH.

El aporte de aluminio residual por parte del producto a base de sulfato ofrece al sistema una cantidad considerable que supera el valor máximo permitido en aguas potables, ya que con la adición de 120 ppm de SALB el índice se dispara hasta 0.2 unidades y continua creciendo en la medida que aumentan las concentraciones en la dosificación del producto, en ese orden de ideas el agua luego de ser tratada con SALB no se considera apta de acuerdo a sus niveles de aluminio residual presentes, sin embargo este valor puede variar en la medida que se efectúe en la muestra el resto de procedimientos en su potabilización.

4.5.9 Comportamiento y Efectividad Físicoquímica.

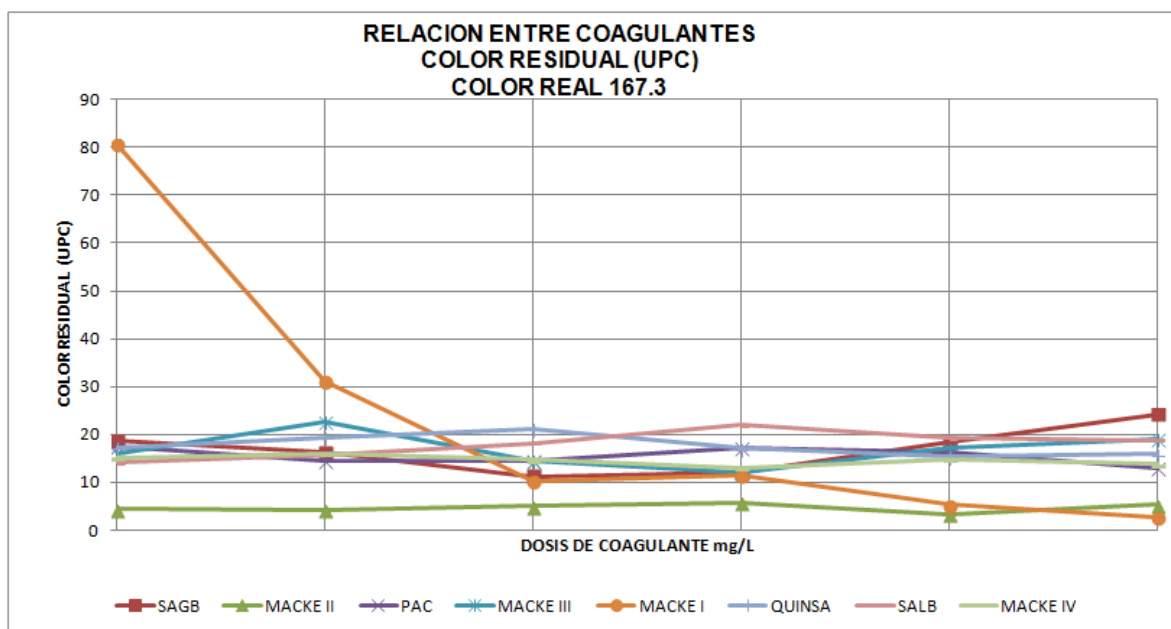
Los datos colectados a lo largo del análisis producto de la intervención de una muestra de agua cruda de características medianamente típicas en épocas de verano en la ciudad de Neiva, presentó inicialmente parámetros fisicoquímicos predominantes, con turbiedad media o medianamente alteradas, esta fue tratada con ocho coagulantes diferentes con el fin de cuantificar su eficiencia frente al control y regulación de los índices físicos y químicos presentes mínimos para catalogar un agua como apta para su consumo, lo cual hace parte del tratamiento de aguas potables, la floculación y sedimentación de material solido suspendido son el objetivo del proceso de coagulación y primer intervención para dicho fin. El estudio fisicoquímico realizado a cada uno de los coagulantes candidatos para el remplazo del actual químico utilizado por la planta de tratamiento de aguas de la ciudad, se realizó de manera independiente sin efectuar un respectivo contraste entre los productos, ni un estudio que permita establecer las ventajas o desventajas en el uso de cada uno de los químicos objeto de análisis. En ese orden de ideas esta investigación ha recopilado la información alcanzada en una

serie de graficas que permiten dar una mirada más clara al comportamiento fisicoquímico y su eficiencia en el control de parámetros como el pH, la turbiedad, el color y el aluminio residual presentes en una muestra de agua.



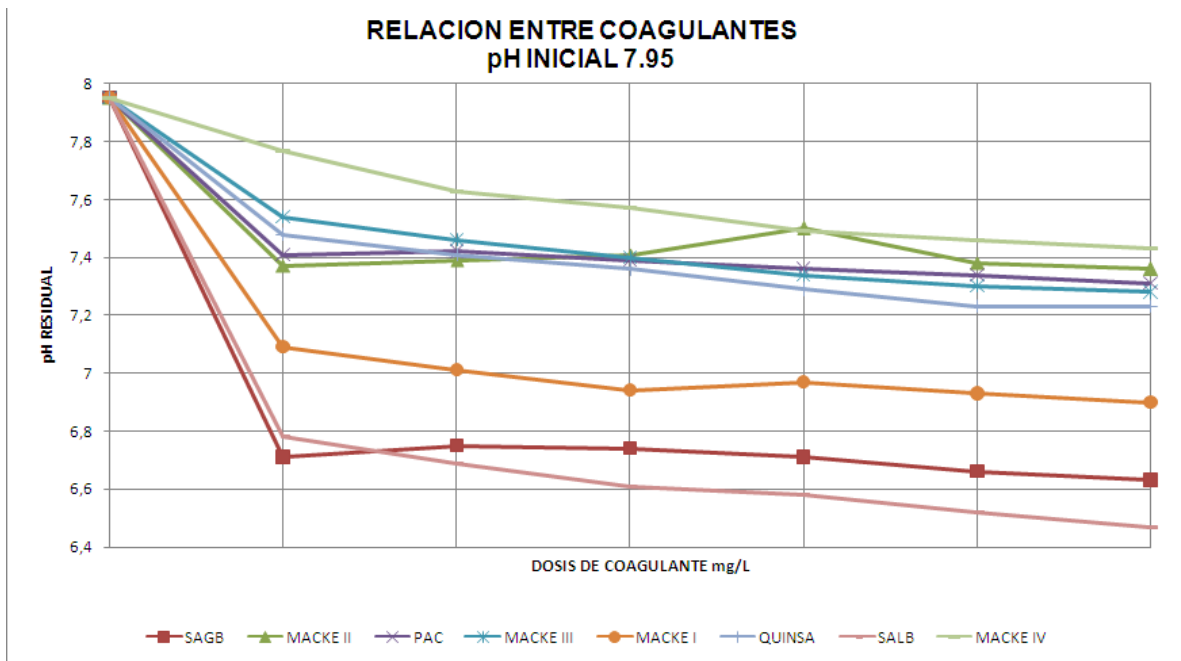
Grafica. 141. Dosis de coagulante Vs Turbiedad residual. (Turbiedad permitida 5 UNT)

La grafica 141 (Dosis de coagulante Vs Turbiedad residual.) Refleja el contraste que poseen los ocho productos al momento de estabilizar los valores de turbiedad iniciales en la muestra, expresadas en unidades nefelométricas de turbiedad. En esta parte tenemos que uno de los productos que otorgó los resultados menos sobresalientes para disminuir dichos niveles de manera eficiente es el producto PAC (hidroxicloruro), esto se debe a que dicho químico presenta una formación del floc moderada y no rápida como se presenta en el resto de situaciones, por ende las partículas en suspensión que no han sido atrapadas por el floc quedan disueltas aun después de realizarse el respectivo arrastre por gravedad que efectúa el floc una vez ha ganado el peso suficiente en el periodo de sedimentación, para que este producto funcione de manera aún más eficiente en el control de dicho parámetro es necesario utilizar una concentración en la dosificación mayor a 70 ppm del producto. uno de los productos con mayor efectividad según la gráfica es el producto III de la línea Mackenfloc, el cual tiene un espectro de acción más determinante y produce en la muestra una decreciente súbita de los niveles de turbiedad iniciales, sin embargo el resto de productos posee un grado de acción significativamente aceptable, lo cual los posiciona como productos alternativos en el momento de no poderse tratar con el coagulante recomendado por este estudio, a lo que refiere en este aspecto en particular.



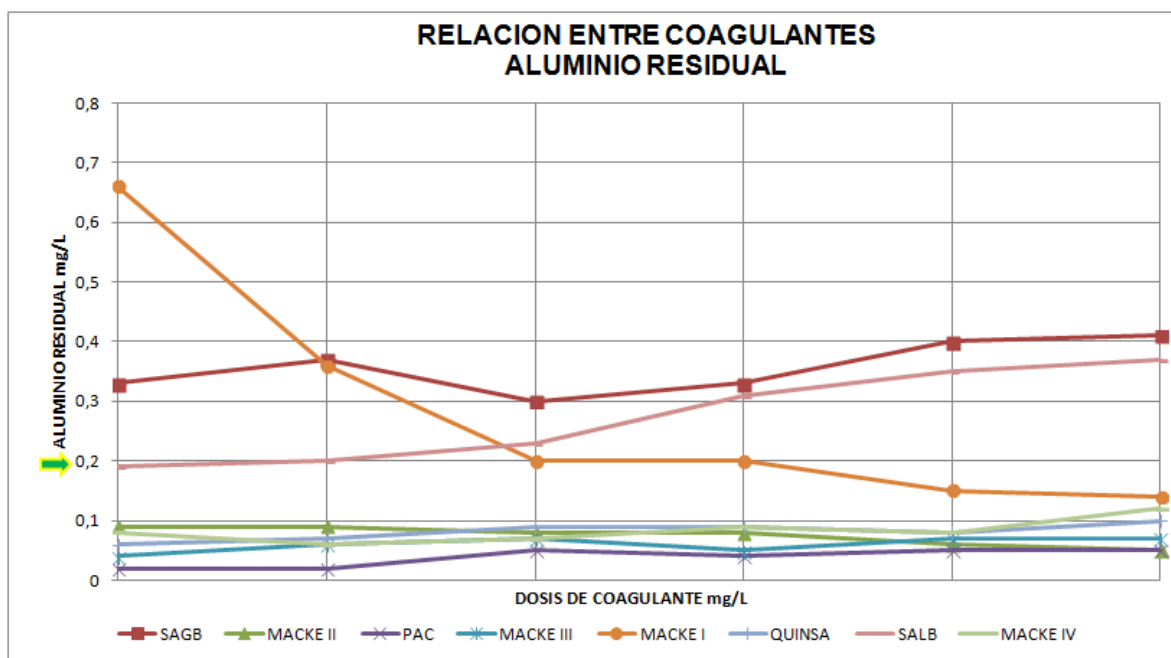
Grafica. 142. Dosis de coagulante Vs Color real. (Color permitido 15 UPC)

Los índices de color en la muestra sin lugar a dudas van estrechamente relacionados a los niveles de turbiedad, estas expresadas en unidades de platino cobalto presentan un comportamiento similar, por ende uno de los productos menos recomendados para el control de dichas unidades en aguas levemente alteradas es el sulfato de aluminio liquido tipo B (SALB), ya que en situaciones leves de turbiedad no es capaz de mantener por debajo del rango establecido por la constitución colombiana los niveles de color presentes en la muestra, sin embargo cabe resaltar que las dosificaciones utilizadas para este estudio arrojaron los datos anteriormente expuestos, por consiguiente si se eleva considerablemente la concentración en las dosis del producto suministradas, puede que se note una mejoría significativa, resaltando que esta medida no pueda generar una rentabilidad sostenible para su uso; uno de los productos con mayor eficiencia en la regulación de las unidades de platino cobalto presentes en el agua es el Mackenfloc II, ya que con la adición de 50 ppm se puede alcanzar una reducción de un poco más del 92% en los niveles de color inicial, por otro lado es necesario inferir en que el resto de producto analizados presentan una idoneidad aceptable para tratar dicho factor fisicoquímico en cuerpos de agua cruda levemente alteradas.



Grafica. 143. Dosis de coagulante Vs pH residual. (pH permitido entre 6,5 y 9)

La cantidad de iones hidronio presentes luego de la acción de cada uno de los ocho coagulantes, presentan connotaciones químicas leves, evidenciando en la mayoría de los casos acidificaciones mínimas del medio, por tanto los diferentes compuestos reaccionan de manera diferente, por ejemplo el producto Mackenfloc II presenta un comportamiento irregular durante el proceso, pero aun así manteniendo su niveles dentro de los parámetros establecidos por la legislación colombiana; Los productos que mas desestabilizan el pH de tal manera que tienen descensos drásticos son el SAGB, SALB y el mackenfloc I, los cuales acidifican la muestra de manera progresiva y constante durante todo el análisis entregando valores que se acercan a los 6.5 de pH, de tal forma que si se aumenta las concentraciones vertidas este continuara descendiendo de manera significativa. El producto IV de la línea Mackenfloc es uno de los compuestos que menos interviene en la composición de iones hidronio disueltos en la muestra manteniendo los índices equilibrados



Grafica. 144. Dosis de coagulante Vs Aluminio residual. (Aluminio residual permitido 0,2 mg/L)

El aporte de aluminio residual presente en cada uno de los procesos obtenidos por la acción de los coagulantes, arrojo que uno de los compuestos que menos aporta aluminio al fluido es el Hidroxicloruro, manteniendo durante todo el proceso un valor de 0,05 ppm como máximo, ello lo califica como uno de los productos idóneos para regular la adición desmesurada de iones aluminio a la muestra, caso que no sucede con el sulfato de aluminio granulado tipo B (SAGB) ya que este aporta a la muestra más de 0,3 unidades de aluminio residual, aumentando de manera gradual en cada incremento en la concentración de las dosis vertidas del producto para el tratamiento de la muestra de agua cruda número cuatro de características de alteraciones media.

Al aumentar el grado de dificultad en los parámetros iniciales de las muestras recolectadas, se observa que son pocos los coagulantes que sobresalen durante el desarrollo del análisis. El SAGB, SALB y el Mackenfloc I marcaron la diferencia, de tal forma que los niveles de pH se encuentran muy por debajo del pH inicial lo cual indica que no tienen capacidad para estabilizar el potencial de hidrógeno. En cuanto al aluminio residual, se encuentran por encima del límite permitido con un valor mínimo de 0.15 aproximadamente y lo registra el Mackenfloc I.

Los productos restantes aunque no brillaron como de costumbre, tuvieron cifras aceptables dentro de lo permitido. El Mackenfloc II y IV fueron los más sobresalientes, pero fue el Mackenfloc II el producto que mantuvo bajos los índices de color de acuerdo a la gráfica 142, equilibrando el pH y manteniendo por debajo de 0.1 mg/L los índices de aluminio residual con tan solo 50 ppm como dosis óptima de acuerdo con la tabla 39.

4.6 Análisis Muestra Nº 5

Para alcanzar el objetivo del proyecto el cual es identificar un coagulante que sea capaz de sustituir el SAGB el cual ha estado en funcionamiento durante mucho tiempo en el acueducto El Jardín de la Ciudad de Neiva, se ha realizado el tratamiento de una quinta muestra de agua, la cual fue tomada el día 22 de Octubre a las 9:12 AM en la zona de captación del acueducto luego de una precipitación torrencial de más de 8 horas; se efectuó el respectivo estudio con los 8 coagulantes proporcionados por la empresa QUINSA.

Tal muestra de agua ha sido catalogada como de alta turbiedad y sus características fisicoquímicas se encuentran anexadas en la tabla 46.

Es preciso resaltar que el color tomado ha sido el color real y no el aparente, debido a que la gran cantidad de sólidos suspendidos, no permitieron que el equipo registrara dato alguno del agua a tratar, a lo cual se procedió a centrifugar una pequeña muestra del agua captada, con el fin de sedimentar aquel material en suspensión para determinar el color real de la muestra objeto de estudio.

Tabla 46. Parámetros iniciales de la Muestra de agua No.5.

Parámetros	Valores
Turbiedad	2360 UNT
Color	313 REAL UPC
pH	7.44

Para el éxito del tratamiento de esta muestra de agua, se ha utilizado la prueba de jarras, con el fin de modificar las características iniciales, plasmadas en la tabla 46, a través de la intervención de 8 tipos de químicos coagulantes, los cuales garantizan la potabilización de dicha muestra de agua.

A continuación se presentan los resultados finales, obtenidos del estudio fisicoquímicos realizado una vez se ha tratado el agua con cada uno de los productos mencionados en la tabla 10.

4.6.1 Sulfato de Aluminio Granulado Tipo B (SAGB)

El primer coagulante utilizado para tratar la muestra de agua N° 5 ha sido el SAGB y los datos arrojados se presentan a continuación en la tabla 47.

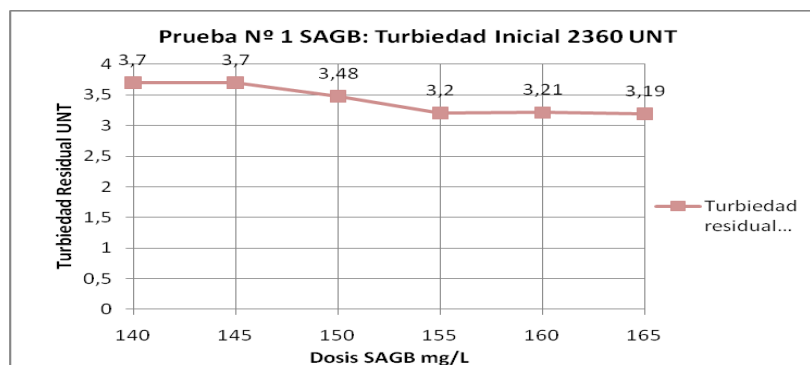
Tabla 47. Resultados Prueba realizada con SAGB.

VASOS	1	2	3	4	5	6
COAGULANTE c.c	14.0	14.5	15.0	15.5	16.0	16.5
Dosis mg/L	140	145	150	155	160	165
PH	5.66	5.36	5.35	5.20	5.16	5.07
Turbidez U.N.T	3.70	3.70	3.48	3.20	3.21	3.19
Color UPC	21.3	21.9	21.2	20.1	22.5	19.3
Al Residual mg/L	0.32	0.43	0.56	0.60	0.70	0.72

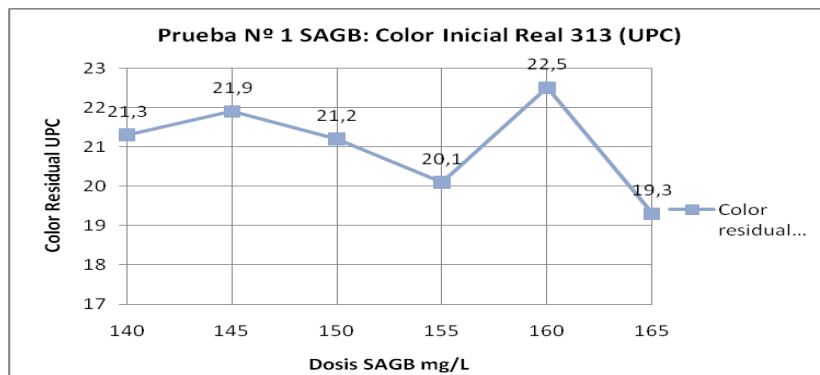
Una vez registrados los datos en la tabla 47, se logra observar que las cifras plasmadas se encuentran muy altas con relación a las pruebas realizadas con anterioridad.

La 1^{er} dosificación, ha sido escogida como la mejor, teniendo en cuenta que es aquella que mejores resultados de pH y aluminio residual presenta.

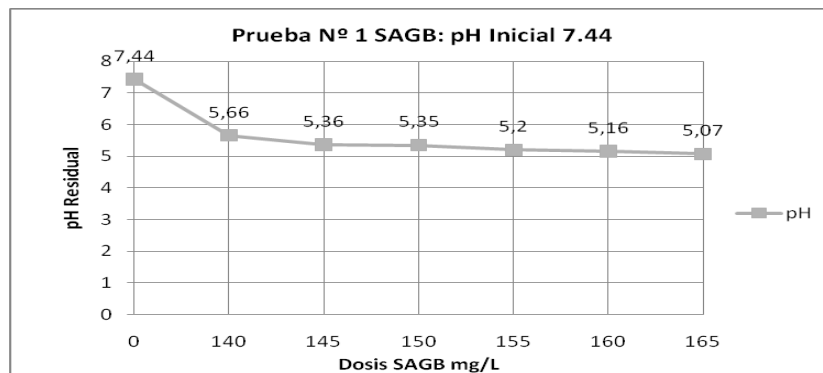
Para un mejor entendimiento, se han realizada 4 tipos de gráficas las cuales permiten realizar un estudio más detallado de los parámetros establecidos.



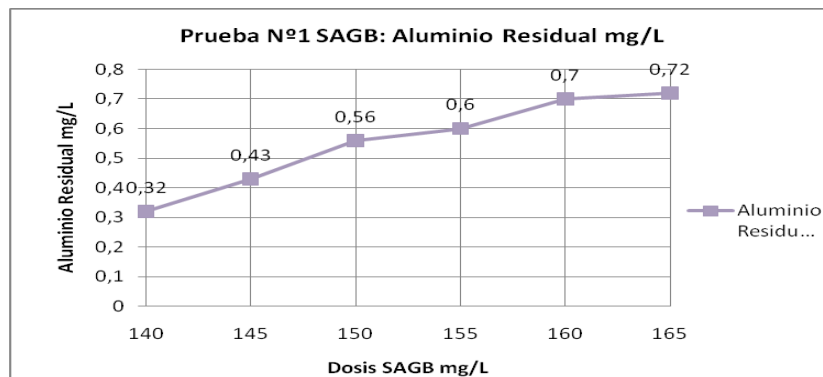
Grafica. 145. Dosis SAGB Vs Turbiedad residual. (Turbiedad permitida 5 UNT)



Grafica. 146. Dosis SAGB Vs Color residual. (Color permitido 15 UPC)



Grafica. 147. Dosis SAGB Vs pH residual. (pH permitido entre 6,5 y 9)



Grafica. 148. Dosis SAGB Vs Aluminio residual. (Aluminio residual permitido 0,2 mg/L)

De acuerdo con la gráfica 145, la turbiedad residual es el único de los 4 parámetros evaluados que presenta normalidad en sus estadísticas, manteniéndose dentro del límite establecido el cual es de 5 UNT para cada dosificación.

Respecto a las gráficas siguientes (146, 147 y 148), se puede observar que en ninguna de ellas se cumple con lo establecido en la resolución 2115 de 2007, capítulo II, el cual estipula los criterios a seguir para muestras de agua dispuestas al consumo humano. El color que debe estar dentro de los 15 UPC, se encuentra

en un estimado de entre 19 y 22 unidades de platino-cobalto para esta muestra tratada con SAGB.

El pH, parámetro que se debe encontrar dentro del rango de 6.5 a 9, se encuentra muy por debajo de 5.66 unidades de potencial de hidrógeno, lo cual indica que es una muestra de agua demasiado acida, por causa de la incontrolable generación de ácido sulfúrico producto de la disociación del sulfato de aluminio, y se necesita la colaboración de alcalinizantes que neutralicen estos índices de acidez. Y en cuanto al aluminio residual, se logra evidenciar un alto contenido de aluminio que sobrepasa el límite de 0.2 mg/L y crece uniformemente, conforme se aumenta la dosificación en la muestra de agua.

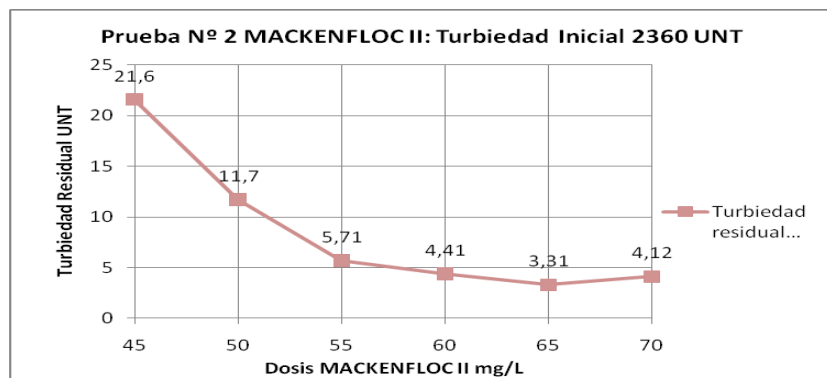
4.6.2 Mackenfloc II

Para la segunda prueba, se utiliza uno de los productos de la línea Mackenfloc (Mackenfloc II), el cual arrojó una serie de datos, los cuales se registraron en la tabla 48 presente a continuación.

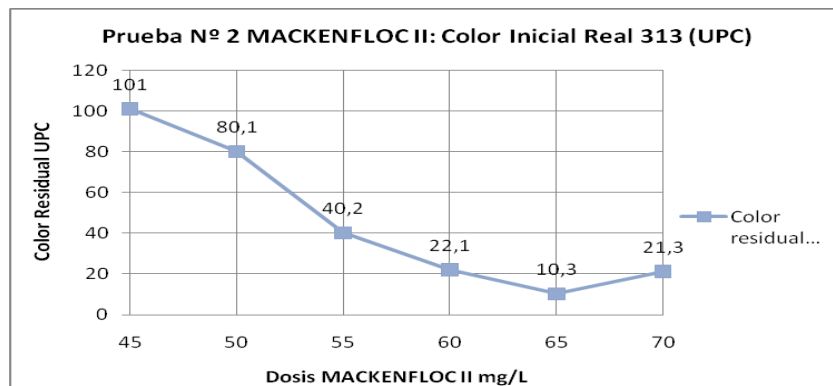
Tabla 48. Resultados Prueba realizada con Mackenfloc II.

VASOS	1	2	3	4	5	6
COAGULANTE c.c	4.5	5.0	5.5	6.0	6.5	7.0
Dosis mg/L	45	50	55	60	65	70
PH	7.24	7.21	7.20	7.20	7.17	7.15
Turbidez U.N.T	21.6	11.7	5.71	4.41	3.31	4.12
Color UPC	101	80.1	40.2	22.1	10.3	21.3
Al Residual mg/L	0.06	0.04	0.02	0.03	0.01	0.04

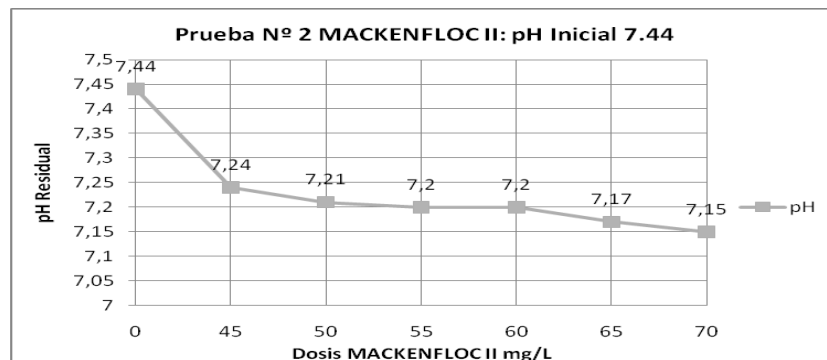
La tabla 48 muestra el contenido de coagulante en ppm dispuestos en cada una de las jarras de prueba. De las cuales 65 ppm ha sido elegida como la que mejor rendimiento tubo para la clarificación de la muestra de agua N° 5 catalogada de alta turbiedad, con registros que se encuentran dentro de lo establecido en la legislación Colombiana, indicando el amplio rango de acción que dicho producto tiene al momento de tratar aguas con diferentes características fisicoquímicas. Para efectos de una mejor comprensión se ha dispuesto de 4 gráficas las cuales especifican el rendimiento del producto en cada uno de los parámetros evaluados.



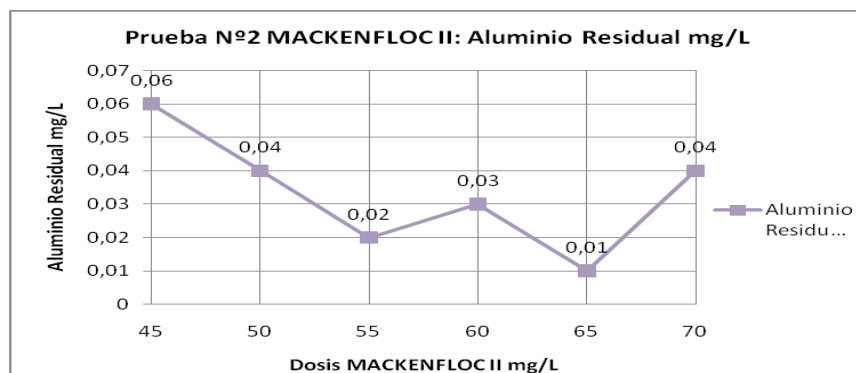
Grafica. 149. Dosis Mackenfloc II Vs Turbiedad residual. (Turbiedad permitida 5 UNT)



Grafica. 150. Dosis Mackenfloc II Vs Color residual. (Color permitido 15 UPC)



Grafica. 151. Dosis Mackenfloc II Vs pH residual. (pH permitido entre 6,5 y 9)



Grafica. 152. Dosis Mackenfloc II Vs Aluminio residual. (Aluminio residual permitido 0,2 mg/L)

Teniendo en cuenta la magnitud de los parámetros iniciales, el mackenfloc II ha tenido un rendimiento de gran calidad al momento de tratar esta muestra de agua Nº 5 catalogada de alta turbiedad, pues siendo consecuentes con las gráficas 149, 150 y 151, las cifras inicales descendieron cuantiosamente y de manera uniforme hasta ingresar al rango de lo establecido en la resolución 2115 de 2007 en la 5 dosificación. En la sexta dosis, de acuerdo con las mismas gráficas mencionadas con anterioridad a excepción del pH (gráfica4.152), se avista un incremento en los niveles de turbiedad, color y aluminio residual (gráfica 152), el cual por cierto se encuentra en niveles inmejorables, debido a la sobresaturación del sistema con producto, lo que entorpece el buen andar del mackenfloc II. Por tal motivo 65 ppm

ha sido la dosificación elegida como de mejor rendimiento para tratar esta muestra de agua por dicho producto.

4.6.3 Mackenfloc III

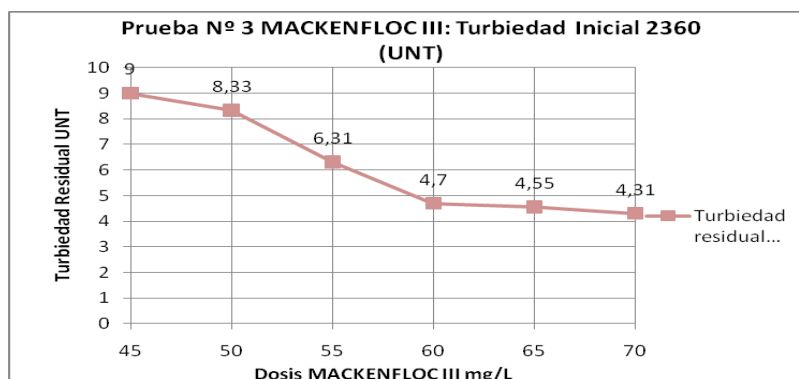
Los resultados condensados en la tabla 49, son producto de la acción del Mackenfloc III en la muestra de agua N° 5, la cual presenta registros iniciales de alto nivel y se presentan a continuación.

Tabla 49. Resultados Prueba realizada con Mackenfloc III.

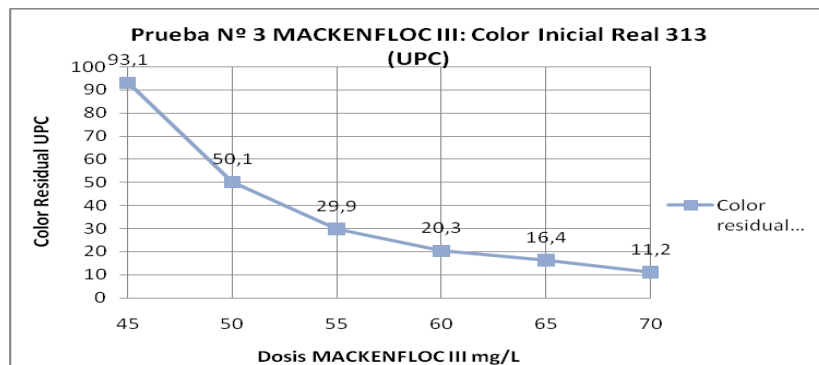
VASOS	1	2	3	4	5	6
COAGULANTE c.c	4.5	5.0	5.5	6.0	6.5	7.0
Dosis mg/L	45	50	55	60	65	70
PH	7.20	7.16	7.14	7.12	7.08	7.05
Turbidez U.N.T	9.00	8.33	6.31	4.7	4.55	4.31
Color UPC	93.1	50.1	29.9	20.3	16.4	11.2
Al Residual mg/L	0.07	0.05	0.05	0.03	0.03	0.03

Los registros anteriores, evidencian la forma en que el Mackenfloc III trabaja cuando se dispone a clarificar aguas con alta turbiedad. Una vez se ha realizado la prueba con el producto en cuestión, se observa que los niveles de cada uno de los parámetros iniciales descienden considerablemente hasta el punto de mantenerse dentro del rango establecido para aguas potabilizadas, como lo revela la dosificación 6 la cual se encuentra sombreada indicando que fue la que mejor desempeño tuvo al momento de clarificar la quinta muestra de agua.

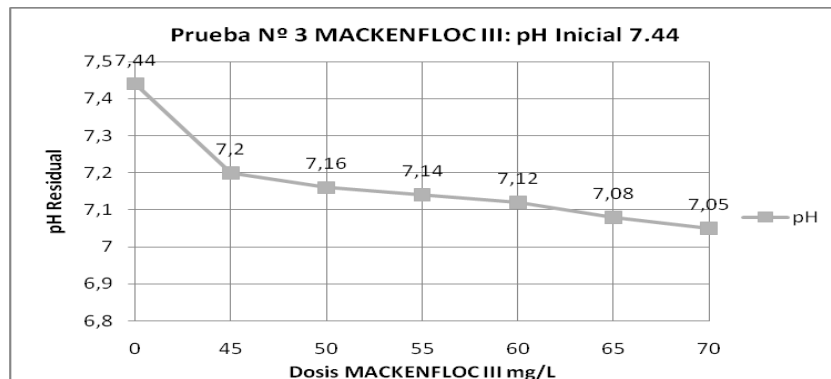
A continuación se presentan las gráficas que especifican el comportamiento del producto coagulante luego de realizada la prueba.



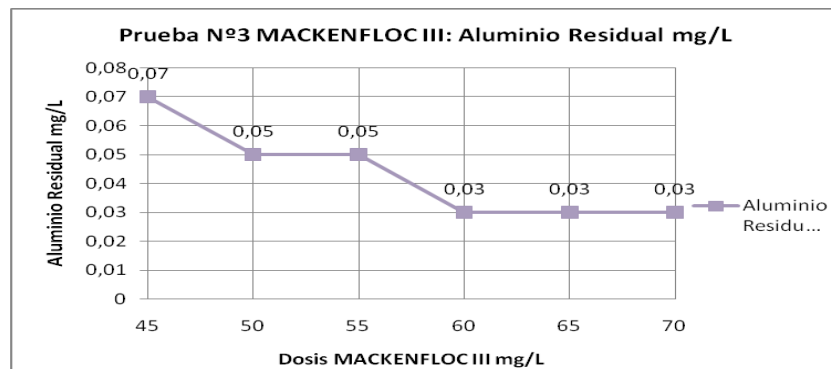
Grafica. 153. Dosis Mackenfloc III Vs Turbiedad residual. (Turbiedad permitida 5 UNT)



Grafica. 154. Dosis Mackenfloc III Vs Color residual. (Color permitido 15 UPC)



Grafica. 155. Dosis Mackenfloc III Vs pH residual. (pH permitido entre 6,5 y 9)



Grafica. 156. Dosis Mackenfloc III Vs Aluminio residual. (Aluminio residual permitido 0,2 mg/L)

Las dos primeras gráficas (153 y 154) correspondientes a la turbiedad y el color residual respectivamente, muestran un descenso gradual en las unidades nefelométricas y de platino-cobalto, pero solo hasta la 6 dosificación se encontró el buen rendimiento de este producto al generar índices de 4.31 UNT y 11.2 UPC como producto final.

En cuanto al pH, se observa una disminución considerable teniendo en cuenta el registro inicial de 7.44; pero aún así se encuentra dentro del rango permitido por la legislación Colombiana sin presentar inconveniente alguno.

En cuanto al aluminio residual presente en la gráfica (156), se observan cifras notoriamente bajas gracias no solo a la cantidad de material no sedimentable que permite una formación de floc mas pesado, lo cual genera un mejor arrastre por sedimentación simple, sino tambien a los biopolimeros que dichos productos de la linea mackenfloc contienen en su estructura, los cuales ayudan a flocular mejor todo material particualdo presente en la muestra de agua.

4.6.4 Mackenfloc IV

A continuación se presenta la tabla 50, la cual contiene los registros producto de la acción del Mackenfloc IV, al momento de tratar la muestra de agua N° 5 con altos índices de turbiedad.

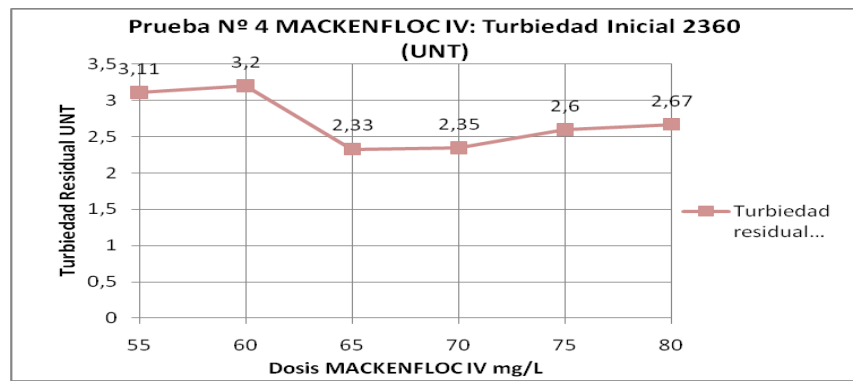
Tabla 50. Resultados Prueba realizada con Mackenfloc IV.

VASOS	1	2	3	4	5	6
COAGULANTE c.c	55	6.0	6.5	7.0	7.5	8.0
Dosis mg/L	55	60	65	70	75	80
PH	7.50	7.41	7.39	7.35	7.28	7.25
Turbidez U.N.T	3.11	3.20	2.33	2.35	2.6	2.67
Color UPC	20.3	25.7	15.3	12.5	18.4	19.7
Al Residual mg/L	0.05	0.02	0.02	0.01	0.02	0.02

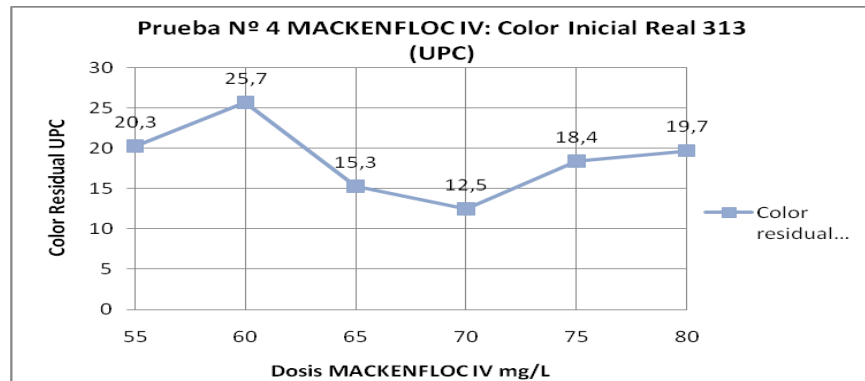
Los registros anteriores muestran la eficacia del Mackenfloc IV al momento de tratar aguas con características de alto nivel propias de muestras de agua catalogadas de alta turbiedad.

Siendo consecuente con los datos anteriores, la 4 dosificación fue elegida como la de mejor rendimiento, debido a sus buenos valores arrojados luego de realizar los respectivos análisis fisicoquímicos.

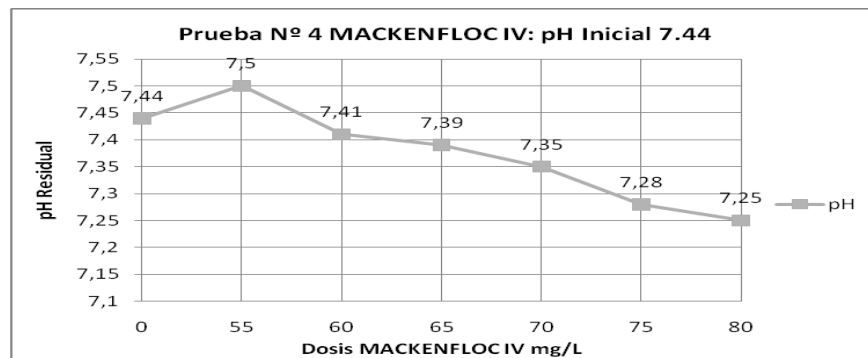
A continuación, se presentan las gráficas correspondientes al comportamiento del Mackenfloc IV luego del proceso de clarificación de la muestra de agua N° 5.



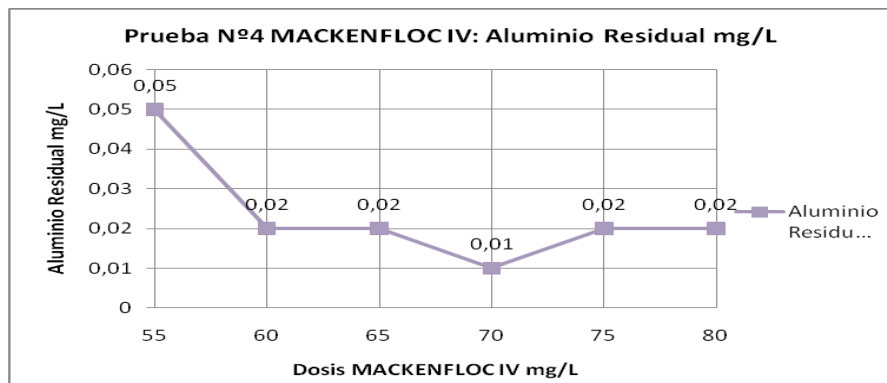
Grafica. 157. Dosis Mackenfloc IV Vs Turbiedad residual. (Turbiedad permitida 5 UNT)



Grafica. 158. Dosis Mackenfloc IV Vs Color residual. (Color permitido 15 UPC)



Grafica. 159. Dosis Mackenfloc IV Vs pH residual. (pH permitido entre 6,5 y 9)



Grafica. 160. Dosis Mackenfloc IV Vs Aluminio residual. (Aluminio residual permitido 0,2 mg/L)

Las gráficas 157, 158 y 159, correspondientes a turbiedad, color y pH respectivamente, evidencian que el objetivo del Mackenfloc IV de limpiar la muestra de agua fue alcanzado satisfactoriamente. En la 4 dosificación se observan los mejores resultados producto de la acción del químico coagulante en el proceso de potabilización del agua con cifras de 2.35 UNT, 12.5 UPC y 7.35 de pH. Luego de la 4 dosificación, se registra un aumento de los índices de turbiedad, color y aluminio residual, lo cual hace suponer una sobredosificación de la muestra con producto dejando de actuar a favor del objetivo principal del coagulante el cual es clarificar la muestra de agua y por el contrario aportando material inorgánico que perjudica la calidad de la misma.

Es de considerar que el pH se mantiene relativamente estable, descendiendo lentamente sin perjudicar el fin del proceso y mejor aún, manteniéndose dentro de lo establecido.

El aluminio residual una vez mas y como ha sido el andar de los productos de la línea Mackenfloc, se mantiene en niveles significativamente bajos teniendo en cuenta que las muestras de agua objeto de estudio se encuentran en fase de sedimentación.

4.6.5 Hidroxicloruro de Aluminio (PAC)

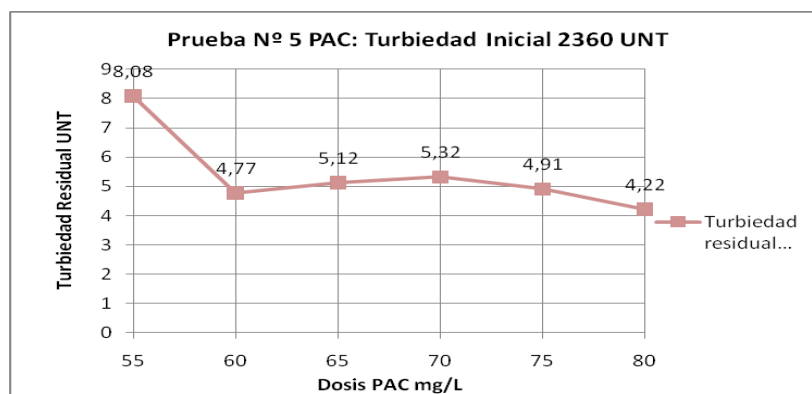
El quinto ensayo realizado a la muestra de agua N° 5 se llevo a cabo con el producto PAC, el cual arrojó los siguientes datos una vez fueron practicados los análisis fisicoquímicos correspondientes a las muestras procedentes de cada jarra. A continuación se presenta la tabla 51, donde fueron plasmados los datos antes mencionados.

Tabla 51. Resultados Prueba realizada con (PAC).

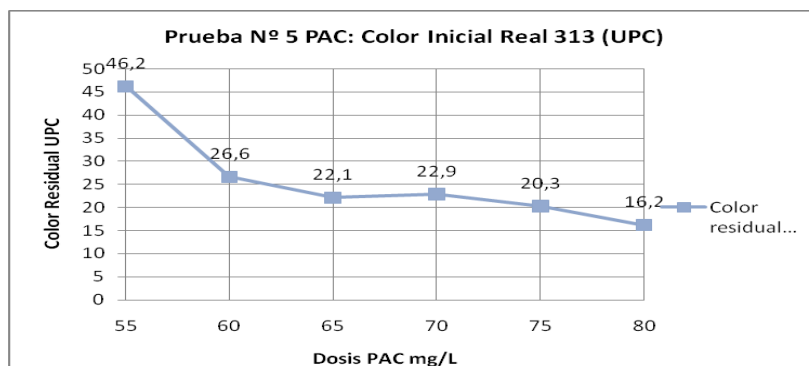
VASOS	1	2	3	4	5	6
COAGULANTE c.c	5.5	6.0	6.5	7.0	7.5	8.0
Dosis mg/L	55	60	65	70	75	80
PH	7.29	7.23	7.20	7.19	7.17	7.14
Turbidez U.N.T	8.08	4.77	5.12	5.32	4.91	4.22
Color UPC	46.2	26.6	22.1	22.9	20.3	16.2
Al Residual mg/L	0.05	0.05	0.05	0.04	0.04	0.04

En la tabla anterior se observa que fue necesario 80 ppm de PAC, dosis que fue elegida como la de mejor rendimiento, para obtener los resultados deseados al momento de tratar la muestra de agua N° 5.

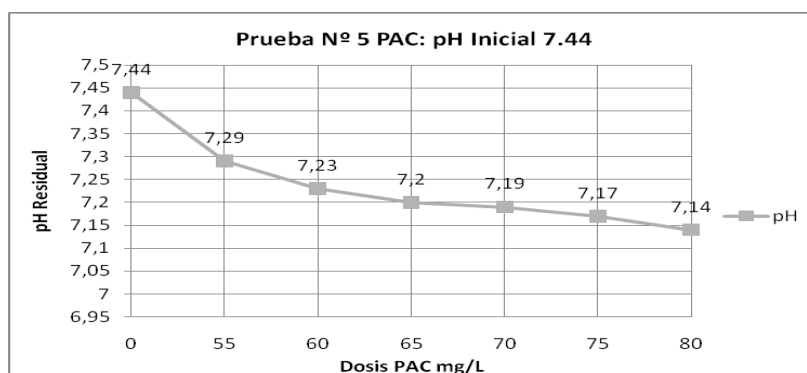
A continuación se presentan las gráficas alusivas al comportamiento del PAC luego de ser corrida la quinta prueba de jarras para dicha muestra de agua.



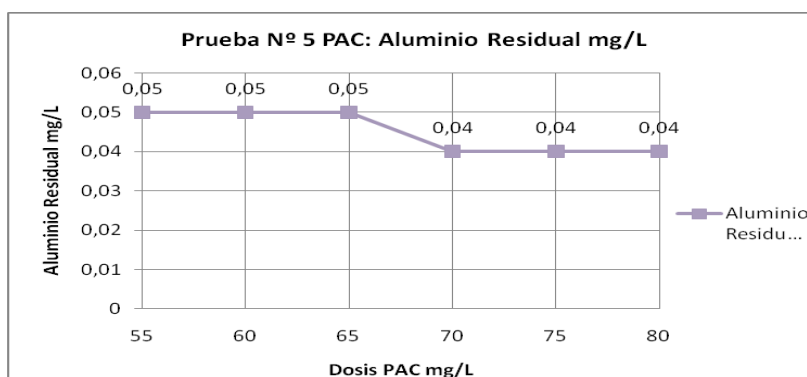
Grafica. 161. Dosis (PAC) Vs Turbiedad residual. (Turbiedad permitida 5 UNT)



Grafica. 162. Dosis (PAC) Vs Color residual. (Color permitido 15 UPC)



Grafica. 163. Dosis (PAC) Vs pH residual. (pH permitido entre 6,5 y 9)



Grafica. 164. Dosis (PAC) Vs Aluminio residual. (Aluminio residual permitido 0,2 mg/L)

Las dos primeras gráficas (161 y 162), las cuales representan las unidades de turbiedad y color presentes en el agua, indican que el PAC no tuvo un buen desempeño al momento de reducir los índices de UNT y UPC de la muestra, alcanzando a ingresar por tan solo un poco dentro del rango permitido en cuanto a turbiedad se refiere con 4.22 UNT y quedando por fuera del límite establecido por la resolución 2115 de 2007 de máximo 15 UPC, al tener 16.2 UPC en la dosis de mejor rendimiento.

En cuanto al pH y al aluminio residual, (Gráficas 163 y 164), sus registros muestran un buen comportamiento en estos 2 últimos parámetros, reduciendo los niveles de aluminio residual a cantidades minimas y manteniendo un pH relativamente estable, considerando la gran cantidad de ppm de coagulante adicionados a la muestra de agua.

4.6.6 Quinsafloc

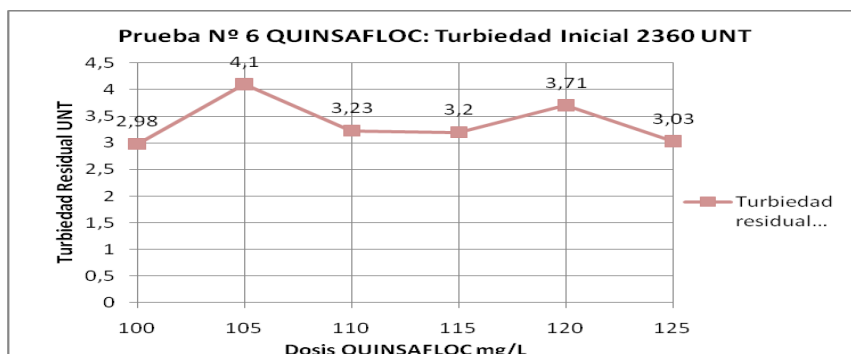
La prueba de jarras 6 realizada a la muestra de agua N° 5, fue corrida bajo la acción del Quinsafloc y los datos obtenidos reposan en la tabla 52.

Tabla 52. Resultados Prueba realizada con Quinsafloc.

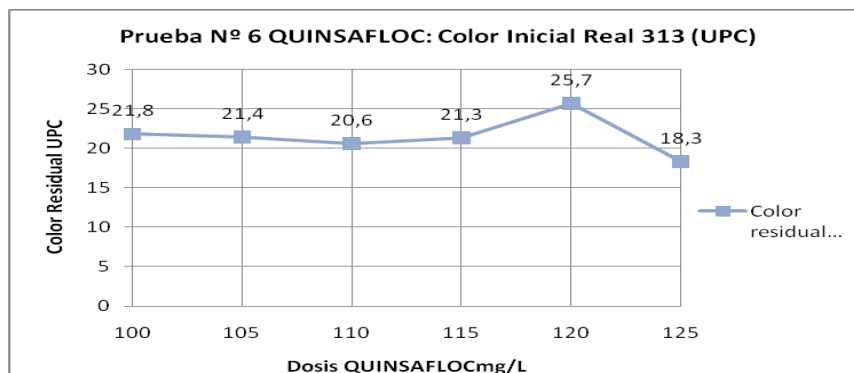
VASOS	1	2	3	4	5	6
COAGULANTE c.c	10.0	10.5	11.0	11.5	12.0	12.5
Dosis mg/L	100	105	110	115	120	125
PH	6.47	6.83	6.78	6.76	6.78	6.78
Turbidez U.N.T	2.98	4.10	3.23	3.20	3.17	3.03
Color UPC	21.8	21.4	20.6	21.3	25.7	18.3
Al Residual mg/L	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05

Al observar los datos registrados en la tabla 52, se puede determinar que el rendimiento del Quinsafloc no es el más apropiado al momento de tratar aguas catalogadas como de alta turbiedad, pues los índices son demasiado elevados en cuanto a turbiedad y color se refiere y el pH desciende cuantiosamente al punto de quedar al límite de lo establecido.

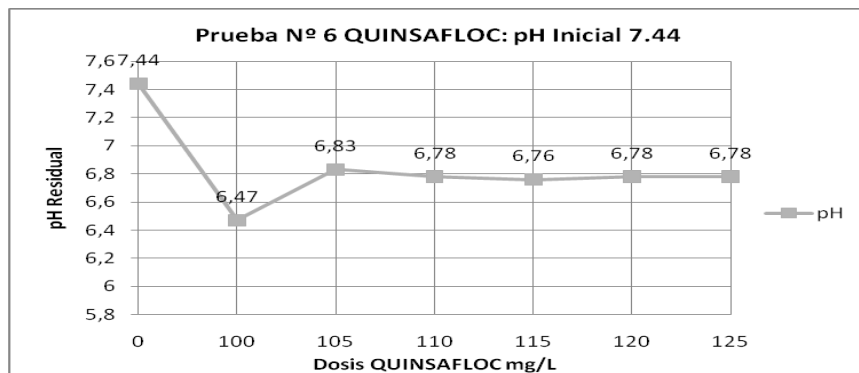
Para obtener un análisis más detallado se presentan 4 gráficas alusivas al comportamiento del coagulante en cuestión frente a cada uno de los parámetros establecidos.



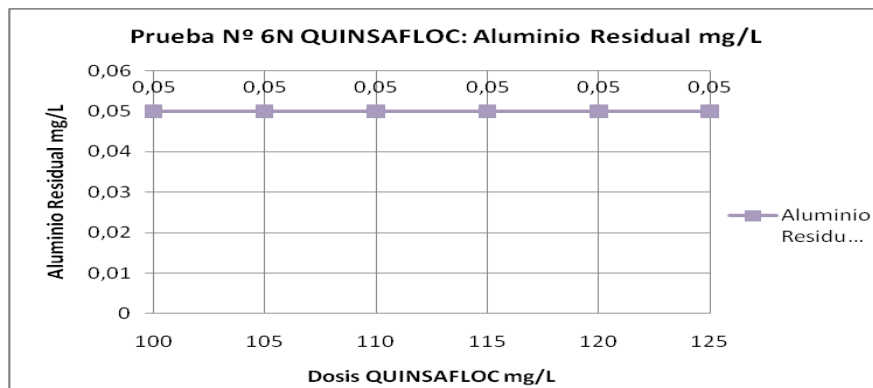
Grafica. 165. Dosis Quinsafloc Vs Turbiedad residual. (Turbiedad permitida 5 UNT)



Grafica. 166. Dosis Quinsafloc Vs Color residual. (Color permitido 15 UPC)



Grafica. 167. Dosis Quinsafloc Vs pH residual. (pH permitido entre 6,5 y 9)



Grafica. 168. Dosis Quinsafloc Vs Aluminio residual. (Aluminio residual permitido 0,2 mg/L)

Los valores representados en la gráfica 4.165 los cuales corresponden a la turbiedad residual, muestran un descenso considerable, teniendo en cuenta el registro inicial el cual es superior a 2300 UNT, dejando como resultado final una muestra con 3.03 UNT lo que indica una disminución de más del 90% del material no sedimentable. Con el color no tuvo el mismo resultado, pues al registrar un mínimo de 18.3 UPC, no alcanza a ingresar al rango de lo estipulado en la resolución 2115 de 2007 donde se impone un límite no mayor a 15 UPC, lo cual indica que se debe trabajar mejor en este aspecto, aunque el Quinsafloc es utilizado mayormente para tratar aguas que presentan baja turbiedad.

En la gráfica 167, se evidencia un peligroso descenso del potencial de hidrógeno hasta un total de 6.78, en la dosis elegida como la de mejor rendimiento, lo cual pudo haber sido causado por la generación de grandes cantidades de H_2SO_4 durante el proceso de floculación.

Por último se evidencia una cantidad constante de aluminio residual en cada una de las jarras evaluadas, lo que sugiere que el arrastre simple generado por la formación de floc pesado fue efectivo, al mantenerse por debajo de 0.2 mg/L.

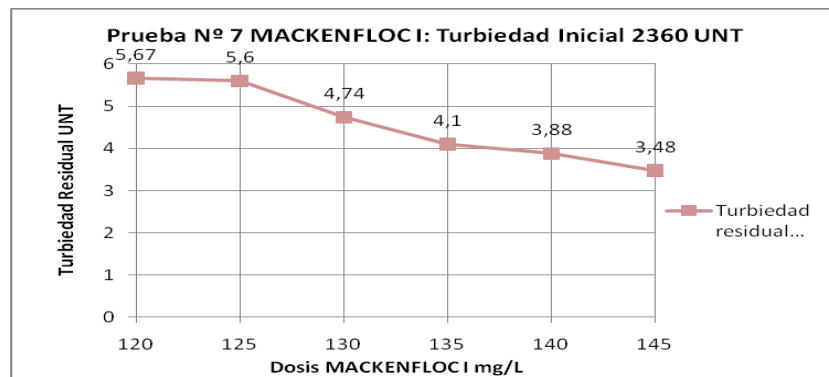
4.6.7 Mackenfloc I

Con el fin de encontrar un producto coagulante que sea eficiente al momento de tratar diferentes tipos de aguas, se realiza otra prueba de jarras esta vez con el Mackenfloc I como químico a probar. Los resultados obtenidos fueron plasmados en la tabla 53 presente a continuación.

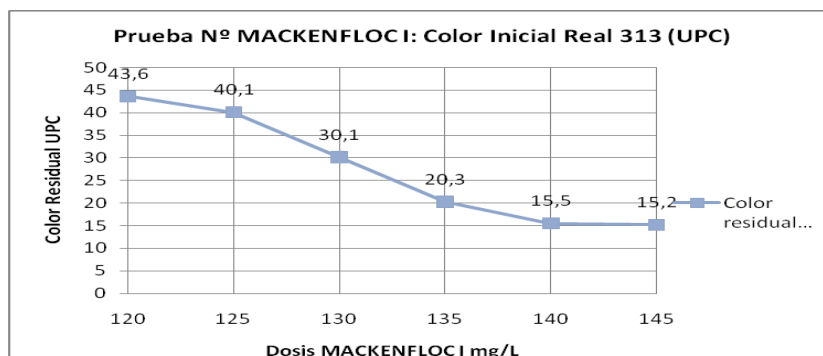
Tabla 53. Resultados Prueba realizada con Mackenfloc I.

VASOS	1	2	3	4	5	6
COAGULANTE c.c	12.0	12.5	13.0	13.5	14.0	14.5
Dosis mg/L	120	125	130	135	140	145
PH	6.72	6.67	6.61	6.58	6.49	6.47
Turbidez U.N.T	5.67	5.60	4.74	4.10	3.88	3.48
Color UPC	43.6	40.1	30.1	20.3	15.5	15.2
Al Residual mg/L	0.03	0.03	0.04	0.03	0.04	0.01

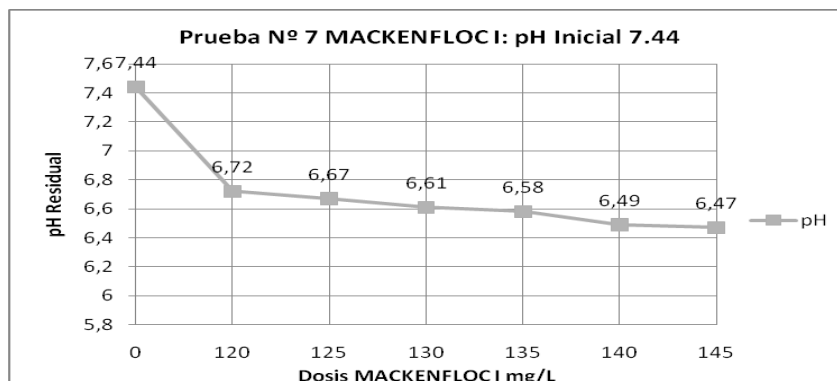
Los datos dispuestos en la tabla anterior, pertenecen a las nuevas características fisicoquímicas de la muestra de agua N° 5, luego de ser tratada con el Mackenfloc I. Para efectos de un mejor entendimiento, se han dispuesto de 4 gráficas, las cuales representan de manera esquemática el rendimiento del producto luego del proceso de clarificación y se presentan a continuación.



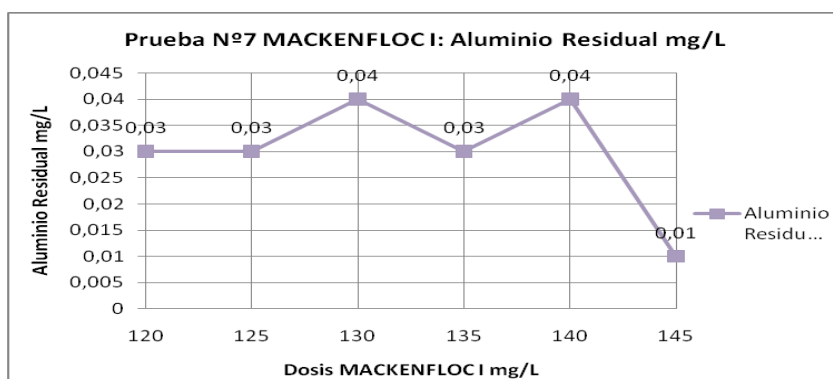
Grafica. 169. Dosis Mackenfloc I Vs Turbiedad residual. (Turbiedad permitida 5 UNT)



Grafica. 170. Dosis Mackenfloc I Vs Color residual. (color permitido 15 UPC)



Grafica. 171. Dosis Mackenfloc I Vs pH residual. (pH permitido entre 6,5 y 9)



Grafica. 172. Dosis Mackenfloc I Vs Aluminio residual (Aluminio residual permitido 0,2 mg/L)

De acuerdo con las gráficas 169 y 170 las cuales representan la turbiedad y el color residual de la muestra respectivamente, se observa que luego de adicionar 145 ppm de producto se alcanza reducir gran cantidad del material no sedimentable y el color orgánico y/o inorgánico presente en la muestra. Aunque la turbiedad se encuentra dentro de los límites establecidos por la legislación Colombiana, las unidades de platino-cobalto exceden por poco la medida establecida lo cual perjudica la calidad del agua en proceso.

Por otro lado los niveles del potencial de hidrogeno de la dosificación seleccionada como de mejor desempeño, se sale de lo permitido en la resolución 2115 de 2007,

donde establece que el rango a mantener es de 6.5 a 9, confiriéndole características de tipo ácida a la muestra de agua convirtiéndola en una sustancia posiblemente perjudicial para el consumo humano.

Por último y característico de los productos que contienen biopolímeros en su composición, el aluminio residual resulta en cantidades pequeñas así que no resulta importante establecer un análisis a fondo sobre el tema pues el máximo permitido es de 0.2 mg/L.

4.6.8 Sulfato de Aluminio Líquido Tipo B (SALB)

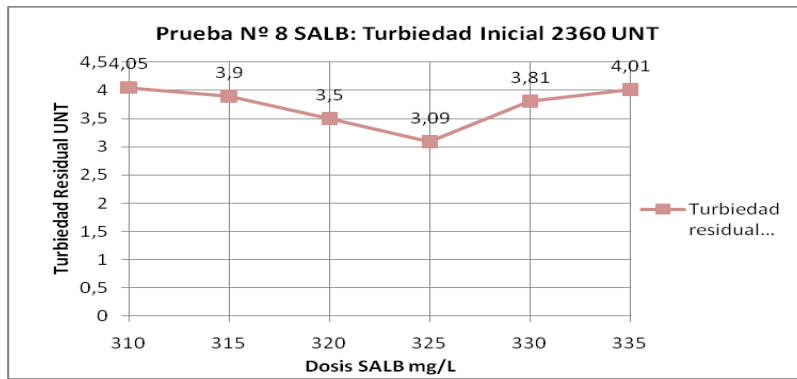
Para dar por terminado las pruebas de jarras correspondientes a la muestra de agua N° 5, se trata el contenido restante con el químico coagulante faltante el cual es el SALB y de esta manera dar por terminada la sesión de pruebas con coagulantes.

Tabla 54. Resultados Prueba realizada con SALB.

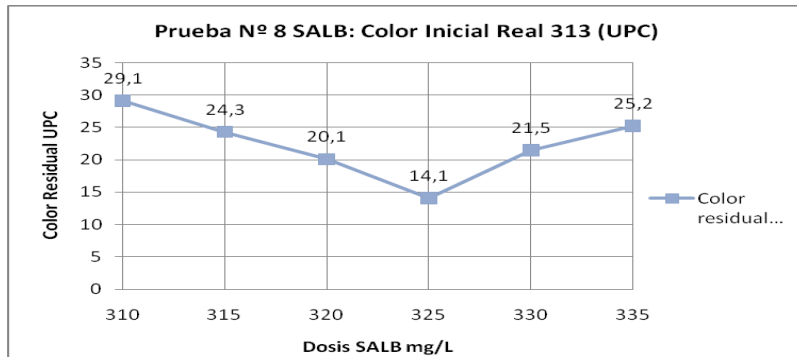
VASOS	1	2	3	4	5	6
COAGULANTE c.c	31.0	31.5	32.0	32.5	33.0	33.5
Dosis mg/L	310	315	320	325	330	335
pH	4.93	4.87	4.83	4.77	4.76	4.78
Turbidez U.N.T	4.05	3.90	3.50	3.09	3.81	4.01
Color UPC	29.1	24.3	20.1	14.1	21.5	25.2
Al Residual mg/L	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8

Los resultados plasmados en la tabla anterior evidencia resultados fuera de serie luego de tratar la muestra N° 5 catalogada de alta turbiedad con SALB, al igual que las altas concentraciones de producto utilizado con el fin de contrarrestar los parámetros iniciales de la muestra.

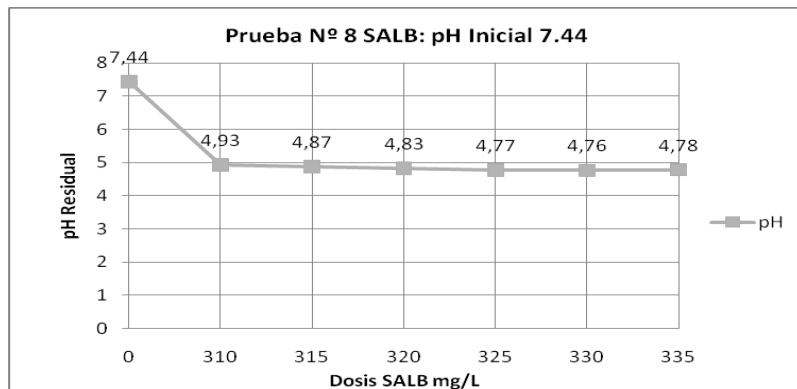
Los resultados anteriores han sido esquematizados en 4 gráficas que corresponden a la cantidad de producto usado frente al parámetro evaluado, para determinar el comportamiento del producto en la clarificación del agua.



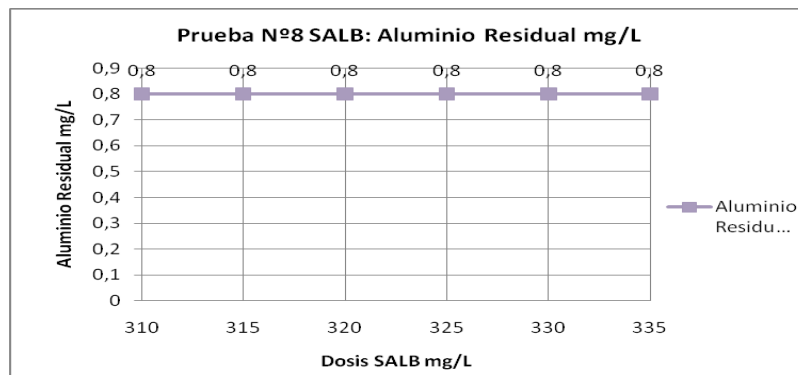
Grafica. 173. Dosis de SALB Vs Turbiedad residual. (Turbiedad permitida 5 UNT)



Grafica. 174. Dosis de SALB Vs Color residual. (Color permitido 15 UPC)



Grafica. 175. Dosis de SALB Vs pH residual. (pH permitido entre 6,5 y 9)



Gráfica. 176. Dosis de SALB Vs Aluminio residual. (Aluminio residual permitido 0,2 mg/L)

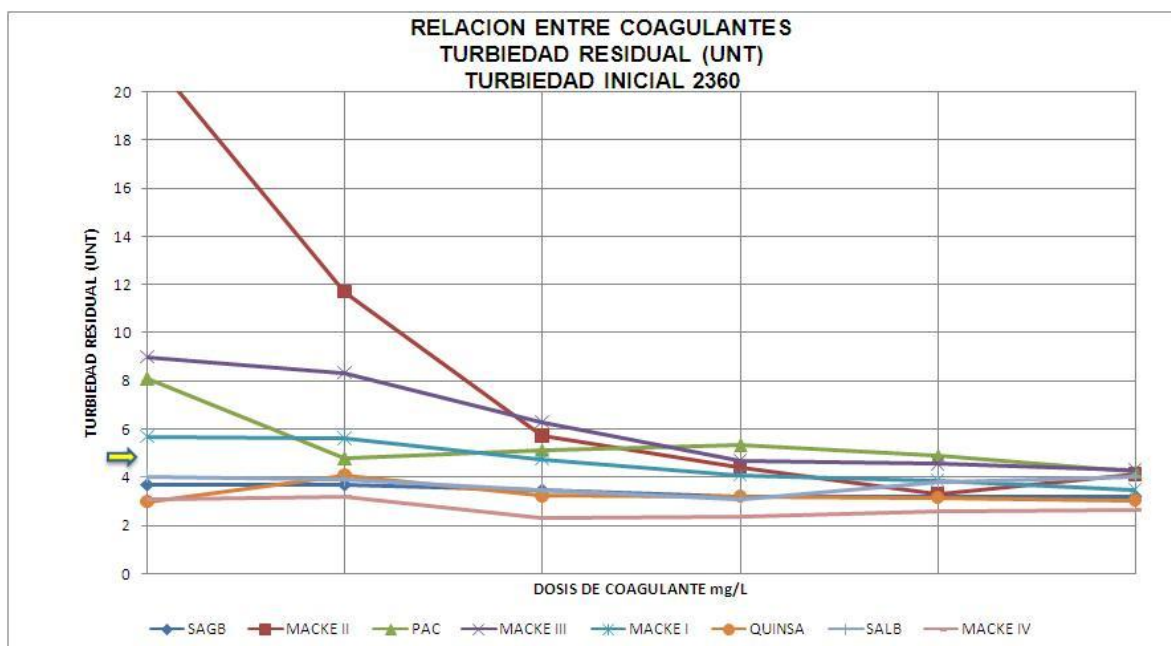
El rendimiento del SALB en comparación a las pruebas anteriores, disminuyó considerablemente, pues en las gráficas 173 y 174, las cuales hacen referencia a la turbiedad y color residual, se evidencia una reducción significativa de las cifras iniciales, pero aún así no es el desempeño que ha demostrado a lo largo del proyecto y aún más teniendo en cuenta la gran cantidad de producto utilizado para neutralizar dichos registros iniciales.

El pH (gráfica 175) ha descendido a niveles exageradamente ácidos, lo cual supone un exceso de H_2SO_4 liberado al momento de la disociación del sulfato de aluminio que no pudieron ser controlados, debido a la cantidad de ppm utilizados de producto.

Los niveles de aluminio residual (gráfica 176) fueron tan altos que el equipo no pudo leer sino hasta 0.8 mg/L, resultado muy lejano del permitido en la resolución 2115 de 2007 donde se estipula que el máximo permitido es de 0.2 mg/L.

4.6.9 Comportamiento y Efectividad Fisicoquímica.

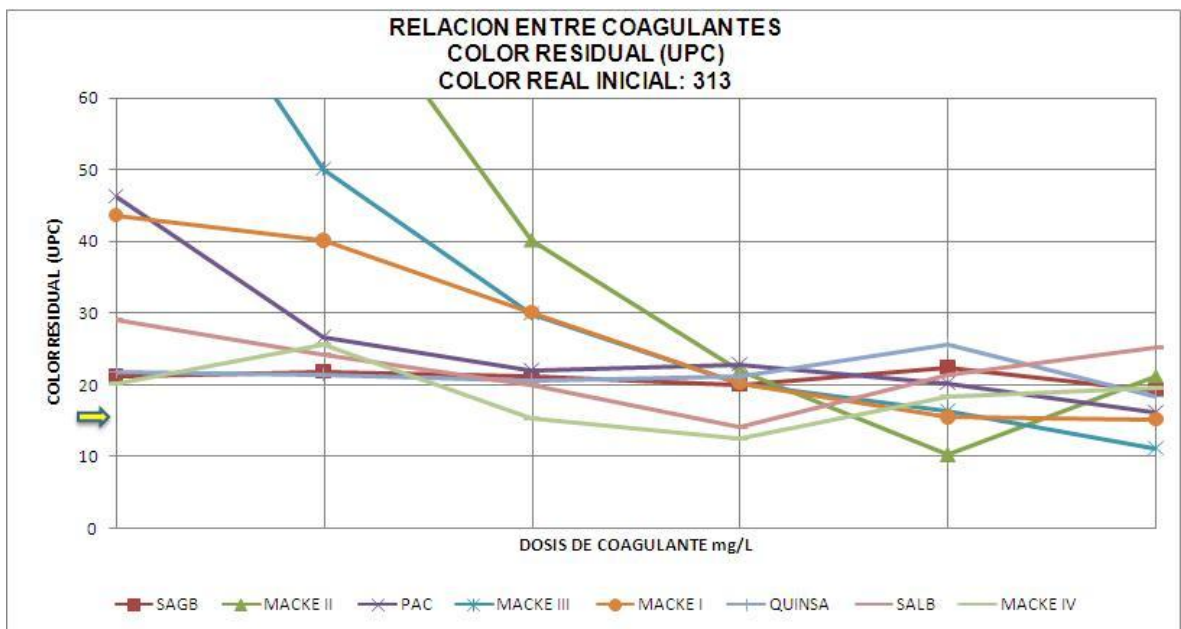
Para efectos de un mejor entendimiento del trabajo que cada uno de los químicos coagulantes ha realizado durante el proceso de tratabilidad realizado a la muestra de agua N° 5 catalogada de alta turbiedad, se ha dispuesto de 4 gráficas que permiten relacionar la labor y desempeño de cada producto con el fin de escoger al más eficiente en la clarificación de aguas con parámetros iniciales elevados y se presentan a continuación.



Grafica. 177. Dosis de coagulante Vs Turbiedad residual. (Turbiedad permitida 5 UNT)

De acuerdo a la gráfica 177, el Mackenfloc I, II, III y el PAC, tuvieron inconvenientes en las primeras dosificaciones, pero a medida que se aumentaba la concentración de cada producto, su rendimiento mejoraba al punto de mantener los niveles de turbiedad dentro del rango establecido en la resolución 2115 de 2007.

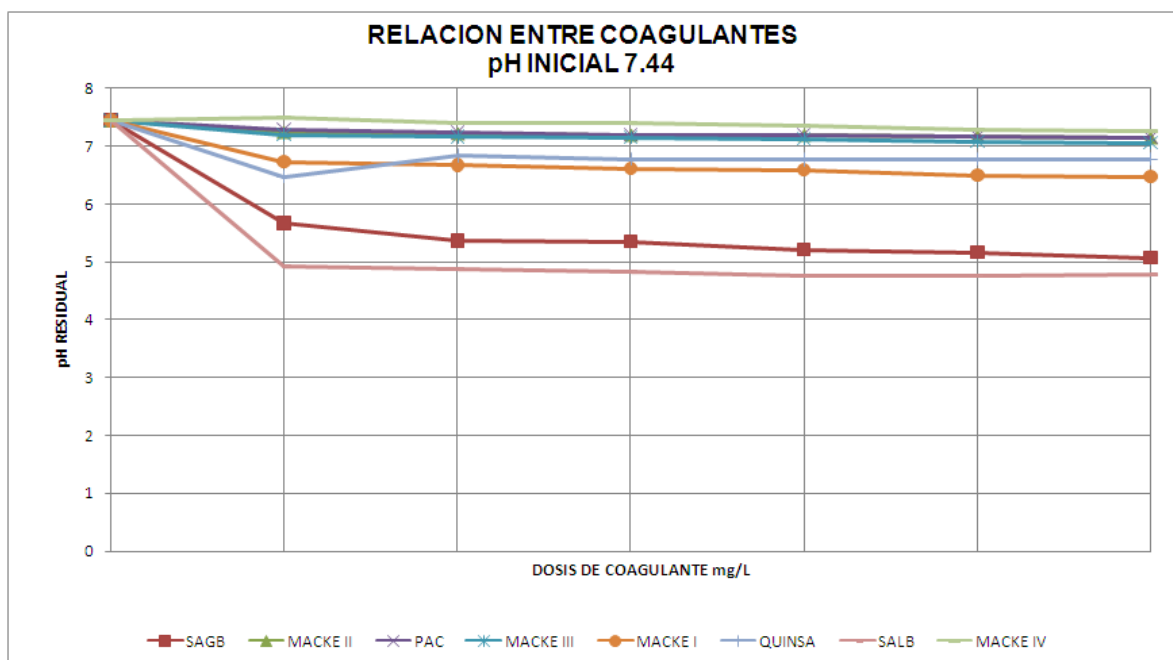
Por otro lado, el SALB, SAGB, Quinsafloc y el Mackenfloc IV (este último el más destacado de los 8 productos en este parámetro), mantuvieron un rendimiento constante durante la neutralización de material particulado no sedimentable, pero fue el Mackenfloc IV el cual no solo mantuvo un rendimiento uniforme, sino que también logró mantener los índices de turbiedad residual en su mínima expresión, manteniéndose en un rango de 2 a 4 UNT, lo cual es muy bueno considerando las 2360 unidades nefelométricas iniciales.



Grafica. 178. Dosis de coagulante Vs Color Real residual. (Color permitido 15 UPC)

En cuanto a color se refiere, los únicos coagulantes que lograron alcanzar el rango óptimo de pureza permitido en la resolución 2115 de 2007 y dados en la gráfica 178, fueron los productos de la línea Mackenfloc (Mackenfloc II, III, IV) los cuales en sus respectivas dosis óptimas lograron reducir a menos de 15 UPC el color orgánico y/o inorgánico de la muestra de agua, lo cual es un gran logro considerando la magnitud de las unidades iniciales que presentaba la muestra N° 5 la cual ha sido catalogada de alta turbiedad.

En cuanto a los productos restantes, aunque no alcanzaron los niveles idóneos, es de resaltar que estas pruebas han sido realizadas a muestras de agua en fase de sedimentación lo cual indica que una vez pasen a fase de filtración, las cifras descenderán aún más y se obtendrá agua de mejor calidad.

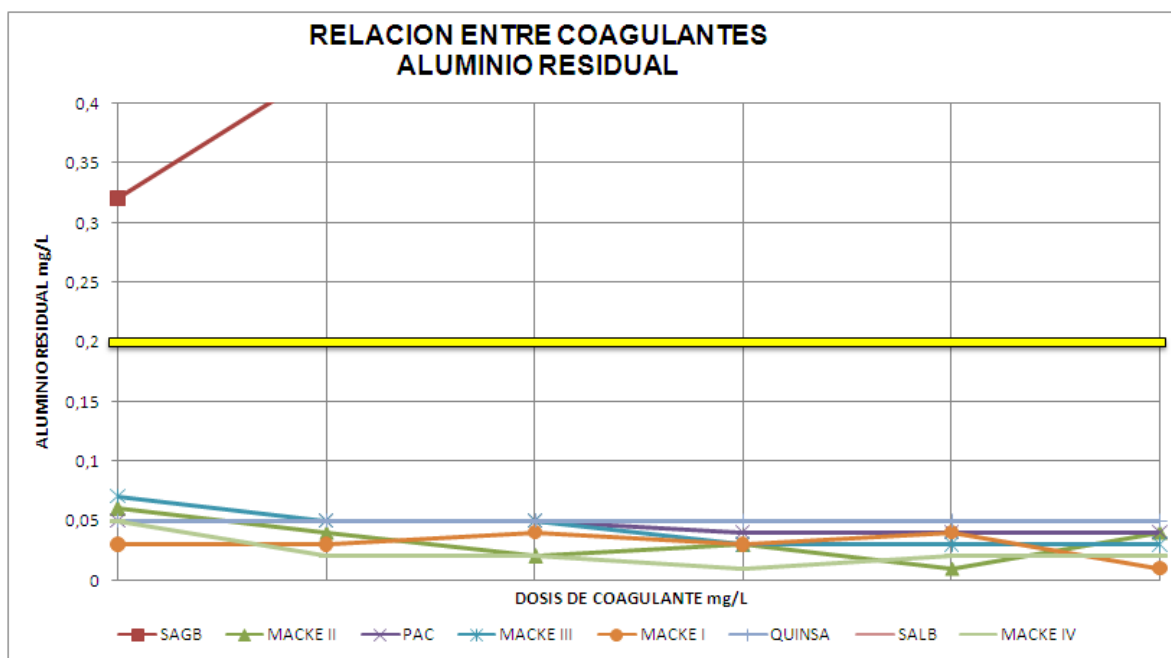


Grafica. 179. Dosis de coagulante Vs pH residual. (pH permitido entre 6,5 y 9)

Uno de los parámetros escogidos para la realización de este proyecto fue el pH, el cual determina que el agua no sea ni muy básica ni muy ácida como para afectar la salud humana y se debe encontrar en un rango de 6.5 a 9. Conociendo lo anterior, los coagulantes SAGB Y SALB proveen cifras que se encuentran muy por debajo de lo establecido en la legislación Colombiana, confiriendo propiedades ácidas a la muestra de agua, convirtiendola en no apta para consumo humano, necesitando la ayuda de alcalinizantes que permitan equilibrar el pH y de esta manera poder repartir el agua a la comunidad que la necesita.

El quinsafloc y el Mackenfloc I aunque den como resultado valores que se encuentren dentro de los límites establecidos, han disminuido considerablemente el valor del pH inicial, lo que permite deducir que son eficaces mas no eficientes en mantener equilibrado los niveles de potencial de hidrogeno.

Por último, los productos Mackenfloc II, III, IV y PAC, lograron mantener en equilibrio los índices de pH aún con los altos niveles iniciales presentados por la muestra problema y es por ello que son los de mayor relevancia en el análisis de este parámetro, pues gracias a los biopolimeros presentes en sus estructuras químicas le permiten tener un rango de acción mas amplio sin tener la desventaja de variar el pH a tal punto de afectar la calidad de la muestra.



Grafica. 180. Dosis de coagulante Vs Aluminio residual. (Aluminio residual permitido 0,2 mg/L)

La gráfica 180 permite evidenciar los niveles de aluminio residual como resultado del tratamiento de la muestra de agua N° 5 con los 8 coagulantes mencionados en la tabla 10.

Siendo consecuentes con lo observado, los sulfatos (SAGB Y SALB) presentan cifras tan grandes que ni siquiera ingresan dentro del gráfico objeto de análisis.

Con relación a los 6 productos restantes, se mantuvieron por debajo de 0,2 mg/L manteniendo niveles máximos de hasta 0,07 mg/L, lo cual es muy bueno, pero fueron los Mackenfloc I, II y IV los que registraron los valores más bajos en este parámetro evaluado. Por tal razón son los escogidos por el desempeño mostrado en esta fase de análisis.

Para concluir el análisis de la muestra de agua N° 5 es necesario realizar un consolidado final que permita esclarecer los dos mejores coagulantes durante la clarificación de la misma. En este orden de ideas, se puede observar en las gráficas 177, 178, 179 y 180 que los sulfatos de aluminio violan lo establecido en la resolución 2115 de 2007, por tal motivo son descartados para tratar muestras de agua con altos índices de turbiedad. Los dos productos que llenaron las expectativas fueron el Mackenfloc II y el Mackenfloc IV, dichos productos no solo cumplieron con mantener las cifras dentro del margen establecido sino que fueron superiores y lograron ser los más bajos en casi todos los parámetros. Si bien el Mackenfloc IV tiene niveles más bajos que los otorgados por el Mackenfloc II en algunas gráficas, este último necesitó menor cantidad de producto para obtener dichos índices, con tan solo 65 ppm (5 menos que el Mackenfloc IV con 70 ppm). Por tal motivo el Mackenfloc II es el coagulante idóneo para tratar aguas con altas turbiedades.

4.7 Análisis de costos

Para facilitar la selección del producto idóneo que reemplazará al SAGB utilizado en la planta de tratamiento El Jardín de la ciudad de Neiva, se ha realizado un apartado en el cual se habla específicamente del valor económico de cada producto coagulante por metro cúbico (m³) de agua tratada para consumo humano.

Este estudio pretende complementar los análisis anteriormente realizados, con el fin de dar un enfoque diferente, de tal manera que se pueda escoger un producto no solo por sus características excepcionales al momento de clarificar muestras de agua sino también por su economía.

Para efectos de un mejor entendimiento, se han escogido los dos coagulantes con mejor rendimiento en cada una de las muestras analizadas (con el fin de no extender los análisis a productos que tuvieron un rendimiento regular) adicionales al SAGB producto utilizado actualmente. Una vez hecha la selección, se les practicará a cada uno la ecuación 1 para tener un punto de comparación en pesos por metro cúbico (m³) de agua tratada.

$$\text{\$ Coagulante} / \text{m}^3 = \text{Dosis óptima} \frac{\text{mg}}{\text{L}} \times \frac{1000\text{L}}{1\text{m}^3} \times \frac{1\text{g}}{1000\text{mg}} \times \frac{1\text{Kg}}{1000\text{g}} \times \text{Precio coagulante} \frac{\text{\$}}{\text{Kg}}$$

Ecuación (1)

Una vez obtenido el costo de producto por metro cúbico (m³) de agua tratada y teniendo en cuenta que las propiedades del agua son cambiantes, se procede a realizar el cálculo en el cual se determinará el costo para un día de tratamiento, suponiendo que las condiciones del agua se mantengan constantes.

Es necesario resaltar que la planta del acueducto El jardín de la ciudad de Neiva trata aproximadamente 900 Litros de agua por segundo según se encuentra en su página web donde dice que “La Planta el Jardín fue proyectada por IDESCO LTDA y construida la primera etapa en 1972 para una capacidad nominal de 400 lts/seg en 1981. En 1983 se optimizó la planta para aumentar su capacidad a 896 lts/seg por la firma MAURICIO SANCLEMENTE PAZ.”⁵¹ De acuerdo a lo anterior, la ecuación 2 queda de la siguiente forma.

$$\text{\$ Coagulante} / \text{Día} = \frac{\text{\$ Coagulante}}{\text{m}^3} \times 0.9 \frac{\text{m}^3}{\text{s}} \times \frac{86400 \text{ s}}{1 \text{ Día}}$$

Ecuación (2)

Una vez realizados los cálculos pertinentes se escogerá el producto más económico por muestra de agua. Finalizado esto, se realizará un consolidado para definir de manera general el coagulante que menor costo genere al momento de clarificar muestras de agua de diferente turbiedad.

A continuación se presenta la tabla 55, donde se estipulan los precios de cada producto por Kg.

⁵¹ EMPRESAS PÚBLICAS DE NEIVA. Acueducto municipal, planta (nueva) El Jardín. Neiva: Buganviles, 2013. p. 1.

Tabla 55. Precio por Kg de coagulante.

Coagulante	Valor del coagulante por Kg (\$/Kg)
SALB	380
SAGB	650
Quinsafloc	1050
PAC	1300
Mackenfloc I II III IV	1350

4.7.1 Análisis Muestra N° 1

En la muestra de agua N° 1 catalogada como de baja turbiedad, sobresalieron los siguientes coagulantes con sus respectivas dosis óptimas y se presentan a continuación en la tabla 56.

Tabla 56. Coagulantes seleccionados Muestra N° 1.

Coagulante	Dosis óptima	Costo/m ³ \$	Costo diario \$
SAGB	38 mg/L	24.7	1920672
Mackenfloc II	20 mg/L	27	2099520
Mackenfloc IV	12 mg/L	16.2	1259712

➤ SAGB

$$\$ \text{SAGB} / \text{m}^3 = 38 \frac{\text{mg}}{\text{L}} \times \frac{1000\text{L}}{1\text{m}^3} \times \frac{1\text{g}}{1000\text{mg}} \times \frac{1\text{Kg}}{1000\text{g}} \times 650 \frac{\$}{\text{Kg}} = 24.7 \frac{\$ \text{SAGB}}{\text{m}^3}$$

$$\$ \text{SAGB} / \text{Día} = 24.7 \frac{\$ \text{SAGB}}{\text{m}^3} \times 0.9 \frac{\text{m}^3}{\text{s}} \times \frac{86400 \text{ s}}{1 \text{ Día}} = 1'920.672 \frac{\$ \text{SAGB}}{\text{Día}}$$

➤ Mackenfloc II

$$\$ \text{Macke II} / \text{m}^3 = 20 \frac{\text{mg}}{\text{L}} \times \frac{1000\text{L}}{1\text{m}^3} \times \frac{1\text{g}}{1000\text{mg}} \times \frac{1\text{Kg}}{1000\text{g}} \times 1350 \frac{\$}{\text{Kg}} = 27 \frac{\$ \text{Macke II}}{\text{m}^3}$$

$$\$ \text{Macke II} / \text{Día} = 27 \frac{\$ \text{Macke II}}{\text{m}^3} \times 0.9 \frac{\text{m}^3}{\text{s}} \times \frac{86400 \text{ s}}{1 \text{ Día}} = 2'099.520 \frac{\$ \text{Macke II}}{\text{Día}}$$

➤ Mackenfloc IV

$$\$ Macke IV / m^3 = 12 \frac{mg}{L} \times \frac{1000L}{1m^3} \times \frac{1g}{1000mg} \times \frac{1Kg}{1000g} \times 1350 \frac{\$}{Kg} = 16.2 \frac{\$ Macke IV}{m^3}$$

$$\$ Macke IV / Día = 16.2 \frac{\$ Macke IV}{m^3} \times 0.9 \frac{m^3}{s} \times \frac{86400 s}{1 Día} = 1'259.712 \frac{\$ Macke IV}{Día}$$

De acuerdo con los valores obtenidos, el producto que menor costo produjo al momento de tratar la muestra de agua N° 1, incluso menor al SAGB producto utilizado actualmente, es el Mackenfloc IV con un total de 16.2 \$/m³ por metro cúbico de agua tratada y una cifra de 1'259.712 \$/día suponiendo que las condiciones del agua se mantuvieran constantes durante el transcurrir del tiempo. Con respecto al Mackenfloc II aunque manejan el mismo valor que el Mackenfloc IV (1350 \$/Kg), requirió de una dosis más alta para arrojar sus mejores resultados, por ende el valor económico se incrementó en un 66% con respecto al Mackenfloc IV (en el caso hipotético que las condiciones del agua se mantuvieran estables durante todo el día) siendo el más costoso al tratar la muestra de agua N° 1 catalogada de baja turbiedad.

4.7.2 Análisis Muestra N° 2

Al igual que la muestra N° 1, la muestra N° 2 es de baja turbiedad y los productos que se destacaron al momento de clarificar la misma se presentan en la tabla 57.

Tabla 57. Coagulantes seleccionados Muestra N° 2.

Coagulante	Dosis óptima	Costo/m ³ \$	Costo diario \$
SAGB	34 mg/L	22.1	1718496
Mackenfloc II	14 mg/L	18.9	1469664
Mackenfloc III	14 mg/L	18.9	1469664

➤ SAGB

$$\$ SAGB / m^3 = 34 \frac{mg}{L} \times \frac{1000L}{1m^3} \times \frac{1g}{1000mg} \times \frac{1Kg}{1000g} \times 650 \frac{\$}{Kg} = 22.1 \frac{\$ SAGB}{m^3}$$

$$\$ SAGB / Día = 22.1 \frac{\$ SAGB}{m^3} \times 0.9 \frac{m^3}{s} \times \frac{86400 s}{1 Día} = 1'718.496 \frac{\$ SAGB}{Día}$$

➤ Mackenfloc II

$$\text{\$ Macke II}/\text{m}^3 = 14 \frac{\text{mg}}{\text{L}} \times \frac{1000\text{L}}{1\text{m}^3} \times \frac{1\text{g}}{1000\text{mg}} \times \frac{1\text{Kg}}{1000\text{g}} \times 1350 \frac{\text{\$}}{\text{Kg}} = 18.9 \frac{\text{\$ Macke II}}{\text{m}^3}$$

$$\text{\$ Macke II}/\text{Día} = 18.9 \frac{\text{\$ Macke II}}{\text{m}^3} \times 0.9 \frac{\text{m}^3}{\text{s}} \times \frac{86400 \text{ s}}{1 \text{ Día}} = 1'469.664 \frac{\text{\$ Macke II}}{\text{Día}}$$

➤ **Mackenflocc III**

$$\text{\$ Macke III}/\text{m}^3 = 14 \frac{\text{mg}}{\text{L}} \times \frac{1000\text{L}}{1\text{m}^3} \times \frac{1\text{g}}{1000\text{mg}} \times \frac{1\text{Kg}}{1000\text{g}} \times 1350 \frac{\text{\$}}{\text{Kg}} = 18.9 \frac{\text{\$ Macke III}}{\text{m}^3}$$

$$\text{\$ Macke III}/\text{Día} = 18.9 \frac{\text{\$ Macke III}}{\text{m}^3} \times 0.9 \frac{\text{m}^3}{\text{s}} \times \frac{86400 \text{ s}}{1 \text{ Día}} = 1'469.664 \frac{\text{\$ Macke III}}{\text{Día}}$$

Siendo consecuentes con los resultados otorgados, producto de las ecuaciones realizadas, tanto el Mackenfloc II como el Mackenfloc III tuvieron el mismo costo por metro cúbico de agua tratada y por día, suponiendo que las características del agua no cambien, ya que la concentración utilizada para tratar el cuerpo de agua objeto de estudio fue la misma para ambos. De igual manera los dos coagulantes por ser de la línea Mackenfloc, manejan los mismos precios al (1350 \$/Kg), lo cual generó los mismos costos, esto sin mencionar que ambos coagulantes registraron valores menores que el generado por el SAGB el cual fue de un 14% más alto que los dos productos anteriores. Sin embargo el producto final del Mackenfloc III fue, por muy poco, de mejor calidad que el producido por el Mackenfloc II, por tal motivo es el producto escogido en la muestra de agua N° 2.

4.7.3 Análisis Muestra N° 3

La muestra de agua N° 3 ha sido catalogada como de mediana turbiedad gracias a los valores ligeramente elevados de sus parámetros fisicoquímicos iniciales. Los 2 productos que mejor rendimiento tuvieron en el trabajo realizado a esta muestra de agua se plasman en la tabla 58.

Tabla 58. Coagulantes seleccionados Muestra N° 3.

Coagulante	Dosis óptima	Costo/m ³ \$	Costo diario \$
SAGB	44 mg/L	28.6	2.223.936
PAC	26 mg/L	33.8	2.628.288
Mackenflocc II	18 mg/L	24.3	1.889.568

➤ **SAGB**

$$\$ \text{SAGB} / \text{m}^3 = 44 \frac{\text{mg}}{\text{L}} \times \frac{1000\text{L}}{1\text{m}^3} \times \frac{1\text{g}}{1000\text{mg}} \times \frac{1\text{Kg}}{1000\text{g}} \times 650 \frac{\$}{\text{Kg}} = 28.6 \frac{\$ \text{SAGB}}{\text{m}^3}$$

$$\$ \text{SAGB} / \text{Día} = 28.6 \frac{\$ \text{SAGB}}{\text{m}^3} \times 0.9 \frac{\text{m}^3}{\text{s}} \times \frac{86400 \text{ s}}{1 \text{ Día}} = 2'223.936 \frac{\$ \text{SAGB}}{\text{Día}}$$

➤ **PAC**

$$\$ \text{PAC} / \text{m}^3 = 26 \frac{\text{mg}}{\text{L}} \times \frac{1000\text{L}}{1\text{m}^3} \times \frac{1\text{g}}{1000\text{mg}} \times \frac{1\text{Kg}}{1000\text{g}} \times 1300 \frac{\$}{\text{Kg}} = 33.8 \frac{\$ \text{PAC}}{\text{m}^3}$$

$$\$ \text{PAC} / \text{Día} = 33.8 \frac{\$ \text{PAC}}{\text{m}^3} \times 0.9 \frac{\text{m}^3}{\text{s}} \times \frac{86400 \text{ s}}{1 \text{ Día}} = 2'628.288 \frac{\$ \text{PAC}}{\text{Día}}$$

➤ **Mackenfloc II**

$$\$ \text{Macke II} / \text{m}^3 = 18 \frac{\text{mg}}{\text{L}} \times \frac{1000\text{L}}{1\text{m}^3} \times \frac{1\text{g}}{1000\text{mg}} \times \frac{1\text{Kg}}{1000\text{g}} \times 1350 \frac{\$}{\text{Kg}} = 24.3 \frac{\$ \text{Macke II}}{\text{m}^3}$$

$$\$ \text{Macke II} / \text{Día} = 24.3 \frac{\$ \text{Macke II}}{\text{m}^3} \times 0.9 \frac{\text{m}^3}{\text{s}} \times \frac{86400 \text{ s}}{1 \text{ Día}} = 1'889.568 \frac{\$ \text{Macke II}}{\text{Día}}$$

Según los datos obtenidos, el Mackenfloc II es el coagulante que registró la menor cifra en comparación al PAC y al SAGB, ahorrando hasta un 15% con respecto a este último. En cuanto al PAC registró el valor más elevado con un total de 33.8 \$/m³ de agua tratada y un monto de 2'628.288 \$/día presumiendo que las características fisicoquímicas del agua se mantuvieran constantes.

Por lo anterior, el Mackenfloc II es el coagulante escogido como el más económico para tratar la muestra de agua N° 3.

4.7.4 Análisis Muestra N° 4

Continuando con esta sección de análisis de costos, se procede a determinar el coagulante más económico para tratar la muestra de agua N° 4 catalogada de mediana turbiedad. Para ello se presentan a continuación en la tabla 59, los 2 productos de mejor desempeño durante la clarificación de la misma.

Tabla 59. Coagulantes seleccionados Muestra N° 4.

Coagulante	Dosis óptima	Costo/m ³ \$	Costo diario \$
SAGB	84 mg/L	54.6	4.245.696
Mackenfloc II	50 mg/L	67.5	5.248.800
Mackenfloc IV	55 mg/L	74.2	5.769.792

➤ **SAGB**

$$\$ SAGB / m^3 = 84 \frac{mg}{L} \times \frac{1000L}{1m^3} \times \frac{1g}{1000mg} \times \frac{1Kg}{1000g} \times 650 \frac{\$}{Kg} = 54.6 \frac{\$ SAGB}{m^3}$$

$$\$ SAGB / Día = 54.6 \frac{\$ SAGB}{m^3} \times 0.9 \frac{m^3}{s} \times \frac{86400 s}{1 Día} = 4'245.696 \frac{\$ SAGB}{Día}$$

➤ **Mackenfloc II**

$$\$ Macke II / m^3 = 50 \frac{mg}{L} \times \frac{1000L}{1m^3} \times \frac{1g}{1000mg} \times \frac{1Kg}{1000g} \times 1350 \frac{\$}{Kg} = 67.5 \frac{\$ Macke II}{m^3}$$

$$\$ Macke II / Día = 67.5 \frac{\$ Macke II}{m^3} \times 0.9 \frac{m^3}{s} \times \frac{86400 s}{1 Día} = 5'248.800 \frac{\$ Macke II}{Día}$$

➤ **Mackenfloc IV**

$$\$ Macke IV / m^3 = 55 \frac{mg}{L} \times \frac{1000L}{1m^3} \times \frac{1g}{1000mg} \times \frac{1Kg}{1000g} \times 1350 \frac{\$}{Kg} = 74.2 \frac{\$ Macke IV}{m^3}$$

$$\$ Macke IV / Día = 74.2 \frac{\$ Macke IV}{m^3} \times 0.9 \frac{m^3}{s} \times \frac{86400 s}{1 Día} = 5'769.792 \frac{\$ Macke IV}{Día}$$

En el análisis de esta muestra de agua, con respecto a la parte económica, se encuentra que los 2 productos que mejor desempeño tuvieron en el tratamiento de dicha muestra (Mackenfloc II y IV) exceden en un 19% y 26% respectivamente, el costo obtenido por el SAGB, el cual es el menos costoso en el tratamiento del cuerpo de agua objeto de estudio. Sin embargo a pesar de ser tan económico, los valores de las gráficas 109...y 112 demuestran que su rendimiento no fue el más apropiado dejando como producto final agua de pobre calidad, contrario al rendimiento de los productos de la línea Mackenfloc. También es necesario resaltar que el objeto del trabajo de investigación es el de reemplazar el

coagulante vigente, por tal razón el coagulante de menor costo entre los dos de mejor desempeño es el Mackenfloc II.

4.7.5 Análisis Muestra N° 5

Para finalizar, se procede a realizar el análisis a los coagulantes que tuvieron una enorme labor durante la clarificación de la muestra de agua N° 5 catalogada de alta turbiedad. A continuación se presentan los productos con sus respectivas dosis óptimas en la tabla 60.

Tabla 60. Coagulantes seleccionados Muestra N° 5.

Coagulante	Dosis óptima	Costo/m ³ \$	Costo diario \$
SAGB	140 mg/L	91	7.076.160
Mackenfloc II	65 mg/L	87.7	6.823.440
Mackenfloc IV	70 mg/L	94.5	7.348.320

➤ SAGB

$$\$/m^3 = 140 \frac{mg}{L} \times \frac{1000L}{1m^3} \times \frac{1g}{1000mg} \times \frac{1Kg}{1000g} \times 650 \frac{\$}{Kg} = 91 \frac{\$ SAGB}{m^3}$$

$$\$/Día = 91 \frac{\$ SAGB}{m^3} \times 0.9 \frac{m^3}{s} \times \frac{86400 s}{1 Día} = 7'076.160 \frac{\$ SAGB}{Día}$$

➤ Mackenfloc II

$$\$/m^3 = 65 \frac{mg}{L} \times \frac{1000L}{1m^3} \times \frac{1g}{1000mg} \times \frac{1Kg}{1000g} \times 1350 \frac{\$}{Kg} = 87.7 \frac{\$ Macke II}{m^3}$$

$$\$/Día = 87.7 \frac{\$ Macke II}{m^3} \times 0.9 \frac{m^3}{s} \times \frac{86400 s}{1 Día} = 6'823.440 \frac{\$ Macke II}{Día}$$

➤ Mackenfloc IV

$$\$/m^3 = 70 \frac{mg}{L} \times \frac{1000L}{1m^3} \times \frac{1g}{1000mg} \times \frac{1Kg}{1000g} \times 1350 \frac{\$}{Kg} = 94.5 \frac{\$ Macke IV}{m^3}$$

$$\frac{\$ Macke IV}{Día} = 94.5 \frac{\$ Macke IV}{m^3} \times 0.9 \frac{m^3}{s} \times \frac{86400 s}{1 Día} = 7348.320 \frac{\$ Macke IV}{Día}$$

De acuerdo a los datos obtenidos, el químico coagulante de menor costo durante la clarificación de muestras de agua de alta turbiedad sin duda alguna es el Mackenfloc II, no solo por su efectividad al momento de reducir los cuantiosos niveles de turbiedad, color y aluminio residual presentes en el fluido, sino también por su capacidad de hacerlo con dosificaciones supremamente bajas lo que causa que el costo no sea tan elevado teniendo en cuenta la excelente calidad del producto terminado y reduciendo en aproximadamente un 5% de utilidades con respecto al SAGB.

En cuanto al Mackenfloc IV, aunque es el más costoso de los 3, el producto final es de mejor calidad en comparación al otorgado por el SAGB.

Por tal motivo el coagulante seleccionado para tratar muestras de agua catalogadas de alta turbiedad por excelencia es el Mackenfloc II.

Siendo consecuente con los análisis anteriormente realizados a las 5 muestras de agua objeto de estudio, el producto ejemplar para reemplazar el SAGB, en cuanto al factor económico se refiere, es el Mackenfloc II, ya que de las 5 muestras en las cuales fue seleccionado como uno de los 2 mejores coagulantes, sobresalió como el más económico en las muestras N° 3, N° 4 y N° 5 y compartió lugar con el Mackenfloc III en la muestra N° 2. Por lo anterior y por su gran campo de acción que permite trabajar a diferentes turbiedades, el Mackenfloc II es el escogido como el menos costoso durante la clarificación de diferentes muestras de agua.

Es necesario resaltar que el agua cambia sus características fisicoquímicas constantemente, por tal motivo los valores correspondientes a \$coagulante/día es un caso hipotético con la finalidad de resaltar la cantidad de dinero que se puede gastar durante el tratamiento de una muestra de agua con dichas características iniciales

Para una mejor comprensión a continuación se presenta una tabla, donde se plasman las tasas de reemplazo relacionadas al coagulante elegido (Mackenfloc II) frente al SAGB a diferentes turbiedades.

Tabla 61. Tasas de reemplazo.

Turbiedad	Mackenfloc II	SAGB
Baja	1 ppm	2.2 ppm Aprox.
Media	1 ppm	1.8 ppm Aprox.
Alta	1 ppm	2.1 ppm Aprox.

En la tabla 61 queda expuesto cuanto se necesita de SAGB por cada parte por millón (ppm) de Mackenfloc II a diferentes turbiedades. Esto con la finalidad no solo de evidenciar el nivel que tienen los productos con tecnologías blends frente a los sulfatos de aluminio, sino también para facilitar el cálculo al momento de

empezar a utilizar el Mackenfloc II en la planta de tratamiento El Jardín de la ciudad de Neiva.

5. CONCLUSIONES

Una vez implementada la metodología y analizados los resultados obtenidos, se puede concluir lo siguiente con base a los objetivos planteados por esta investigación.

- Los productos que trabajan con sulfato de aluminio (SAGB y SALB) en aguas con turbiedad baja aportan un nivel significativo de aluminio residual, ya que la poca cantidad de material particulado presente, no permite una buena formación de floc para generar un arrastre por sedimentación simple y efectivo, afectando la calidad de la muestra de agua.
- El tratamiento de aguas con altos índices de turbiedad no podrán ser efectuados con químicos a base de sulfatos de aluminio puros (sin coagulantes de apoyo o alcalinizantes), pues estos incrementan drásticamente los niveles de aluminio residual y disminuye notoriamente el pH del agua, infringiendo lo estipulado en la resolución 2115 para aguas potables.
- Los coagulantes inteligentes o de tecnologías blends (PAC, Mackenfloc I, Mackenfloc II, Mackenfloc III, Mackenfloc IV y Quinsafloc), reducen y equilibran los parámetros fisicoquímicos del agua aún en condiciones de extrema turbiedad, lo que proporciona un producto final de buena calidad
- Sobresaturar la muestra de agua con coagulante, los niveles de los parámetros fisicoquímicos aumentan afectando el proceso de potabilización.
- Los análisis fueron efectuados en muestras de agua en fase de sedimentación, lo cual permitió una recolección de resultados bastante aceptables gracias a la acción de los biopolímeros presentes en las estructuras químicas de algunos coagulantes.
- Los coagulantes Analizados son eficaces al momento de disminuir los niveles de turbiedad y color hasta el rango permitido en aguas catalogadas como de baja y mediana turbiedad; la inestabilidad de los mismos radica en el desequilibrio de los parámetros físicos y químicos como el pH y el aluminio residual, ya que en estos se presenta la mayoría de desfases de algunos coagulantes como los sulfatos de aluminio y el Mackenfloc I.
- Los coagulantes de la línea Mackenfloc y el PAC, a excepción del Mackenfloc I, confieren al proceso de potabilización un campo de acción significativo, lo que les permite tratar aguas aún en condiciones de alta turbiedad generar un producto final de buena calidad.

- El producto químico Mackenfloc II es más costoso en (1350 \$/Kg) con respecto al SAGB (650\$/Kg) gracias a su composición química, sin embargo este a contener biopolímeros de alta eficiencia, permite disminuir su dosificación y por consiguiente los costos de implementación en diferentes situaciones de turbiedad.
- El coagulante por excelencia escogido por el grupo de trabajo para reemplazo del producto químico SAGB es el Mackenfloc II, ya que ha demostrado durante todo el proceso de tratamiento y análisis de las 5 muestras de agua que reduce los índices de turbiedad, color y aluminio residual y los mantiene dentro del margen permitido en la resolución 2115 de 2007. A demás a altas turbiedades mantiene equilibrado el pH lo cual elimina la necesidad de utilizar alcalinizantes o coagulantes de apoyo. De igual manera es importante resaltar que dicho producto, de acuerdo a los registros de la fase de análisis, se encuentra dentro de los 2 mejores coagulantes en cada una de las 5 muestras de agua analizadas. Por tal razón es el producto elegido para reemplazar el SAGB en el acueducto El Jardín de la ciudad de Neiva.
- Una alternativa bastante opcional que sin lugar a dudas otorgo durante todo el proceso de investigación y compartió lugar con los resultados obtenidos en el análisis del producto mackenfloc II es el producto IV de la línea de coagulantes Mackenfloc de la empresa química Quinsa analizado también en dicho estudio.

6. RECOMENDACIONES

Con base en los resultados obtenidos en el desarrollo del presente trabajo investigativo, los autores se permiten formular las siguientes recomendaciones:

- Para agua cruda de alta turbiedad, es descartable el uso de SALB, ya que no es recomendable utilizar dosis mayores a 250 mg/L para el caso de los sulfatos de aluminio pues incrementan notablemente los índices de aluminio residual y disminuyen drásticamente el pH del agua.
- Para aguas catalogadas de alta turbiedad, si ha de emplearse el SAGB se recomienda utilizar algún tipo de alcalinizante para no permitir que el pH descienda cuantiosamente o en su defecto utilizar un coagulante de apoyo para disminuir la concentración de sulfato.
- Suministrar la dosificación adecuada de coagulante ya que de sobresaturar la muestra la calidad de la misma disminuye debido al aporte del coagulante a los parámetros.
- El trabajo de Análisis con cada una de las muestras de agua no podrá exceder las 72 horas luego de la colecta, ya que los parámetros físicos y químicos naturales iniciales pueden verse afectadas por agentes externos al sistema.
- En cuanto hace referencia a efectividad y costo, se debe sustituir el sulfato granulado tipo B por el Mackenfloc II, cuando la planta se encuentre tratando agua con mediana y alta turbiedad.
- Para aguas crudas con baja turbiedad es pertinente utilizar el coagulante Mackenfloc IV.
- Cabe resaltar que para optimizar los procesos referentes a la coagulación y clarificación de aguas crudas dispuestas para su potabilización en la ciudad de Neiva, es necesario diseñar un protocolo de medición, control y dosificación que permita llevar un registro más detallado y así aumentar la eficiencia en cada uno de los procesos que estos conllevan.
- Para condiciones de agua cruda con turbiedades mayores a 5000 NTU, en los cuales los altos grados de sedimentación obstruyen la tubería de abducción y genera suspensión en el tratamiento de planta, se propone efectuar un estudio de pre tratamiento con polímeros orgánicos desde la bocatoma.

REFERENCIAS

- ABARCA, Sergio y MORA, Bernardo. Contaminación del agua. EN: Biocenosis. 2007. Vol. 20 (1 - 2), p. 137-139. [En línea].
<http://web.uned.ac.cr/biocenosis/images/stories/articulosVol20/20contaminacionbio20.pdf> [Citado en el mes de Octubre de 2013].
- ANDÍA, Yolanda. Tratamiento de agua coagulación y floculación. Lima, 2000. 44 p. [En línea].
<http://www.frm.utn.edu.ar/archivos/civil/Sanitaria/Coagulaci%C3%B3n%20y%20Floculaci%C3%B3n%20del%20Agua%20Potable.pdf>. [Citado en el mes de septiembre de 2012].
- CASTRILLÓN, Daniela y GIRALDO, María de los Ángeles. Determinación de las dosis óptimas del coagulante sulfato de aluminio granulado tipo b en función de la turbiedad y el color para la potabilización del agua en la planta de tratamiento de villa santana. Trabajo de grado requisito parcial para optar al título de Tecnólogo Químico. Pereira: Universidad Tecnológica de Pereira. Facultad de Tecnologías. Escuela de Tecnología Química, 2012. 103 p.
- CENTRO PANAMERICANO DE INGENIERÍA SANITARIA Y CIENCIAS DEL AMBIENTE (OPS/CEPIS). Tratamiento de agua. En: Operación y mantenimiento de plantas de tratamiento de agua. Lima: Compañía Estadual de Tecnología de Saneamiento Básico e de Controle de Poluição das Águas (CETESB), 2002. p. 408-529.
- COLOMBIA. DIRECCIÓN DE AGUA POTABLE Y SANEAMIENTO BÁSICO. Ras 2000. (Noviembre, 2000). Reglamento técnico del sector de agua potable y saneamiento básico ras 2000. Bogotá D.C., 2000. p. 1-212.
- COLOMBIA. MINISTERIO DE LA PROTECCIÓN SOCIAL. Decreto 1575. (9, Mayo, 2007). Por el cual se establece el Sistema para la Protección y Control de la Calidad del Agua para Consumo Humano. Bogotá D.C., 2007. p. 1-14.
- COLOMBIA. MINISTERIO DE LA PROTECCIÓN SOCIAL. MINISTERIO DE AMBIENTE, VIVIENDA Y DESARROLLO TERRITORIAL. Resolución 2115. (22, Junio, 2007). Por medio de la cual se señalan características, instrumentos básicos y frecuencias del sistema de control y vigilancia para la calidad del agua para consumo humano. Bogotá D.C., 2007. p. 1-23.
- COLOMBIA. MINISTERIO DE SALUD PÚBLICA. Decreto 475. (16, Marzo, 1998). Por el cual se expiden normas técnicas de calidad de agua potable. Bogotá D.C., 1998. p. 1-18.

EMPRESAS PÚBLICAS DE NEIVA. Acueducto municipal, planta (nueva) El Jardín. Neiva., 2013. 1 p. [En línea]. <http://www.epneiva.gov.co/index.php/2011-09-11-18-22-31/2011-09-11-15-33-34/sucursal-planta-jardin> [Citado en el mes de Noviembre de 2013].

ERAZO, Ana Lucia. Evaluación del comportamiento inicial del pino (*pinus radiata*) mediante la aplicación de retenedores de agua en tanlagua. Trabajo de grado Ingeniera Forestal. San Antonio de pichincha: Universidad Técnica del Norte. Facultad de Ingeniería, 2011. 95 p. [En línea]. <http://repositorio.utn.edu.ec/bitstream/123456789/804/7/03%20FOR%20183%20Tesis.pdf>. [Citado en el mes de septiembre de 2012].

FRANCO, Carlos, A. Análisis de Aguas. Editorial Universidad Surcolombiana. 2011.

GARCÉS, Rosa Virginia. Obtención de la mínima dosis de reemplazo de policloruro de aluminio en aguas y aguas de Pereira. Trabajo de grado como requisito parcial para optar el título de Química Industrial. Pereira: Universidad tecnológica de Pereira. Escuela de Tecnologías. Química Industrial, 2010. 69 p.

GARCÍA, Regina. Manual para prácticas de laboratorio de ingeniería sanitaria. México: Universidad de Chihuahua, 2012. 57 p. [En línea]. http://fing.uach.mx/licenciaturas/IC/2012/01/26/MANUAL_LABORATORIO_DE_SANITARIA.pdf [Citado en el mes de septiembre de 2013].

GOYENOLA, Guillermo. Guía para la utilización de las Valijas Viajeras – Conductividad. Uruguay, 2007. 3 p. [En línea]. http://imasd.fcien.edu.uy/difusion/educamb/propuestas/red/curso_2007/cartillas/tematicas/Conductividad.pdf. [Citado en el mes de septiembre de 2012].

HACH, Company. Manual de análisis de aguas. Procedimientos fotométricos, procedimientos de titulación, procedimientos microbiológicos. 2 ed. Loveland, Colorado, EE.UU.: 2000. 220 p.

QUESADA, Javier y MAYORCA, jonathan. La electrocoagulación, un estudio de caso para el tratamiento del agua de la bocatoma antigua del río las ceibas de Neiva. Trabajo de grado como requisito parcial para optar por el título de Licenciado en educación básica con énfasis en ciencias naturales y educación ambiental. Neiva: Universidad Surcolombiana. Facultad de educación. Licenciatura en ciencias naturales, 2012. 120 p.

LABORATORIO DE INGENIERÍA SANITARIA Y AMBIENTAL. Prácticas de abastecimiento de agua potable y alcantarillado. Practica N° 1 características físicas. Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM). Ciudad de México.: 2013. 8 p. [En línea]. <http://dicyg.fi->

c.unam.mx:8080/labsanitaria/documentos/01_AAPyA_1.pdf. [Citado en el mes de abril de 2013]

LEÓN, R, CAUDILLO, R, MÉNDEZ, O y MONROY, R. El pH y sus efectos. Universidad Nacional Autónoma de México. México. (S.A). 23 p. [En línea]. http://docencia.izt.uam.mx/japg/Bioquimica1/Pliegos/pH_w6.pdf. [Citado en el mes de septiembre de 2013].

LONDOÑO, Adela. Línea de profundización I: Ambiental. Fundamentos sobre química ambiental. Capítulo I el agua. Universidad nacional de Colombia sede Manizales (UNAL). Manizales. 2012. 33 p. [En línea]. http://www.virtual.unal.edu.co/cursos/sedes/manizales/4090020/files/pdf/cap_1+.pdf. [Citado en el mes de septiembre de 2012].

MERCK MILLIPORE. Spectroquant – Ensayos. Colombia., 2013. 1 p. [En línea]. http://www.merckmillipore.co/chemicals/spectroquanttests/c_dtOb.s1O8EkAAAEdv_M1tkzg?CountryName=Colombia [Citado en el mes de Octubre de 2013].

METAS Y METRÓLOGOS ASOCIADOS. Medición de la turbidez en la calidad del agua. México., 2010. 6 p. [En línea]. <http://www.metas.com.mx/guiametas/la-guia-metas-10-01-turbidez.pdf> [Citado en el mes de Octubre de 2013].

MURILLO, Diana Marcela. Análisis de la influencia de dos materias primas coagulantes en el aluminio residual del agua tratada. Trabajo de grado como requisito parcial para optar por el título de Químico Industrial. Pereira: Universidad Tecnológica de Pereira. Escuela de Tecnologías. Química Industrial, 2011. 128 p. [En línea]. <http://repositorio.utp.edu.co/tesisdigitales/texto/628161M977.pdf>. [Citado en el mes de septiembre de 2012].

QUIMICA INTEGRADA S.A.. QUINSA. Mackenfloc I. Aipe. Huila, 2012. 1 p.

_____. Mackenfloc II. Aipe. Huila, 2012. 1 p.

_____. Mackenfloc III. Aipe. Huila, 2012. 1 p.

_____. Mackenfloc IV. Aipe. Huila, 2012. 1 p.

_____. Policloruro de aluminio. Aipe. Huila, 2012. 1 p.

_____. Quinsafloc. Aipe. Huila, 2012. 1 p.

_____. Sulfato de aluminio granulado tipo B. Aipe. Huila, 2012. 1 p.

_____. Sulfato de aluminio liquido tipo B. Aipe. Huila, 2012. 1 p.

RESTREPO, Hernán. Evaluación del proceso de coagulación-floculación de una planta de tratamiento de agua potable. Universidad Nacional de Colombia sede

Medellín. Medellín.: 2009. 109 p. [En línea].
http://www.bdigital.unal.edu.co/877/1/15372239_2009.pdf. [Citado en el mes de septiembre de 2012].

RESTREPO, María. Empresas municipales de Cali EMCALI E.I.C.E E.S.P prueba de jarras. Empresas municipales de Cali (EMCALI). Cali.: 1999. 47 p. [En línea].
<file:///C:/Documents%20and%20Settings/Black%20Hope/Mis%20documentos/tratamiento%20de%20aguas/Manual%20Jarras%20y%20Pruebas.htm>. [Citado en el mes de septiembre de 2012].

RODRÍGUEZ, Sergio y RODRÍGUEZ, Roberto. Concepto de la dureza del agua. En: La dureza del agua. Argentina: edUTecNe, 2010. p. 6. [En línea].
http://www.edutecne.utn.edu.ar/agua/dureza_agua.pdf. [Citado en el mes de septiembre de 2012].

ROMERO, Mynor. Tratamiento utilizado en potabilización de agua. Universidad Landívar. Vista Hermosa III, Guatemala.: 2009. 12 p. [En línea].
http://www.tec.url.edu.gt/boletin/URL_08_ING02.pdf. [Citado en el mes de septiembre de 2012].

SERVICIOS DE AGUAS DE MISIONES S.A. (SAMSA). Proceso de potabilización del agua. Posadas. Argentina., 2009. 9 p. [En línea].
[http://www.elaguapotable.com/Proceso%20potabilizaci%C3%B3n\(Sansa\).pdf](http://www.elaguapotable.com/Proceso%20potabilizaci%C3%B3n(Sansa).pdf). [Citado en el mes de septiembre de 2012].

SILICATOS Y DERIVADOS S.A. DE C.V.. Proceso de coagulación/floculación en el tratamiento del agua. México D.F., 2012. 33 p. [En línea].
<http://www.aniq.org.mx/pqta/pdf/Sulfato%20de%20aluminio%20SIDESA.pdf>. [Citado en el mes de septiembre de 2012].

SPECTROQUANT. Test aluminio. Técnica. Darmstadt, Germany: Merck KGaA, 2008. 2 p. Folleto.

TROJAN UV FACTSHEET. Tratamiento de contaminantes medioambientales. Ornato. Canadá., 2008. 2 p. [En línea].
http://trojanuv.com/resources/trojanuv/casestudiesfactsheetsspanish/ECT/Taste___Odor_FactSheet_ES.pdf [Citado en el mes de septiembre de 2013].

VÁZQUES, Osvaldo. Extracción de coagulantes naturales del nopal y aplicación en la clarificación de aguas superficiales. Trabajo de grado como requisito parcial para optar por el título Maestro en Ciencias con Especialidad en Ingeniería Ambiental. Monterrey. Universidad Autónoma de nuevo león. Facultad de ingeniería Civil. División de Estudios de Postgrados, 1994. 104 p. [En línea].
<http://cdigital.dgb.uanl.mx/te/1020091188.PDF>. [Citado en el mes de septiembre de 2012].

VERA, Nancy. Alternativas de potabilización para el agua que abastecerá a la ampliación del aeropuerto internacional de la ciudad de México. Trabajo de grado como requisito parcial para optar por el título de ingeniera Civil. Ciudad de México. Instituto Politécnico Nacional. Escuela Superior de Ingeniería y Arquitectura. Unidad Profesional Lic. Adolfo López Mateos, 2007. 135 p. [En línea]. <http://itzamna.bnct.ipn.mx:8080/dspace/bitstream/123456789/6808/1/ALTERNATPOTAB.pdf>. [Citado en el mes de septiembre de 2012].

ANEXOS