

ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y AMBIENTAL

EVALUACIÓN DE LOS PROCESOS DE POTABILIZACIÓN DE LA PLANTA EL TROJE-EPMAPS-QUITO, POR MEDIO DE PRUEBAS DE TRATABILIDAD Y ENSAYOS CON TRAZADORES.

PROYECTO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO AMBIENTAL

PABLO MOISÉS TOAPANTA ARCE

pablo.toapanta@epn.edu.ec

DARWIN JAVIER TUALOMBO AMAGUA

darwin.tualombo@epn.edu.ec

DIRECTOR: ANA LUCÍA BALAREZO AGUILAR, Ph.D

ana.balarezo@epn.edu.ec

Quito, diciembre de 2018

DECLARACIÓN

Nosotros, Pablo Toapanta y Darwin Tualombo, declaramos que el trabajo aquí descrito es de nuestra autoría; que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional; y, que hemos consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

La Escuela Politécnica Nacional, puede hacer uso de los derechos correspondientes a este trabajo, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su Reglamento, y por la normativa institucional vigente.

PABLO MOISÉS TOAPANTA
ARCE

DARWIN JAVIER TUALOMBO
AMAGUA

CERTIFICACIÓN

Certifico que el presente trabajo fue desarrollado por Pablo Moisés Toapanta Arce y Darwin Javier Tualombo Amagua, bajo mi supervisión.

ANA LUCIA BALAREZO AGUILAR Ph.D
DIRECTOR DEL PROYECTO

AGRADECIMIENTOS

A la prestigiosa Escuela Politécnica Nacional y a la Facultad de Ingeniería Civil y Ambiental.

A la Dra. Ana Lucía Balarezo, por su apoyo, su orientación en la realización de este trabajo y la confianza depositada en nosotros.

A la EPMAPS, por las facilidades otorgadas para la realización de este trabajo.

A todo el personal del sistema El Troje, por su apoyo en todas las actividades desarrolladas durante este tiempo.

A nuestros padres, por el apoyo constante durante estos años, a nuestros amigos cercanos, por su compañerismo y las experiencias compartidas.

A nuestros profesores, por todos los conocimientos que nos han sido otorgados.

DEDICATORIA

A mi familia, en especial a mis padres, por su guía y apoyo desde el primero de mis días, su presencia ha sido un pilar muy importante tanto en mi vida como en mi formación personal y profesional.

A mis amigos, con quienes hemos luchado durante estos años, compartiendo la alegría de las victorias, pero también curando las heridas de las derrotas para seguir en el camino.

Pablo

DEDICATORIA

A mi madre, quien ha sido el apoyo incondicional e incesante a lo largo de estos años, a ella mi gratitud y mi más profundo respeto y admiración.

A Noemí, quien ha guiado mis pasos más allá del cariño y de la confianza, por su aliento y su manera única de empujarme hacia adelante.

Darwin

CONTENIDO

DECLARACIÓN	I
CERTIFICACIÓN	II
AGRADECIMIENTOS	III
DEDICATORIA	IV
DEDICATORIA	V
CONTENIDO	VI
ÍNDICE DE TABLAS	XV
ÍNDICE DE GRÁFICAS.....	XIX
ÍNDICE DE FIGURAS	XXIII
RESUMEN.....	XXIV
ABSTRACT.....	XXVI
PRESENTACIÓN.....	XXVII
DEFINICIONES	XXVIII
SIMBOLOGÍA Y SIGLAS	XXX
 CAPÍTULO 1	 1
INTRODUCCIÓN	1
1.1 ANTECEDENTES	1
1.2 OBJETIVOS	1
1.2.1 OBJETIVO GENERAL	1
1.2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	2
1.3 ALCANCE	2
1.4 JUSTIFICACIÓN	3
 CAPÍTULO II	 4

MARCO TEÓRICO	4
2.1 POTABILIZACIÓN DEL AGUA	4
2.1.1 PLANTAS DE TRATAMIENTO CONVENCIONAL	4
2.1.2 PLANTAS DE TRATAMIENTO NO CONVENCIONAL	4
2.2 PROCESOS UNITARIOS DE TRATAMIENTO.....	5
2.2.1 PROCESO DE MEZCLA RÁPIDA.....	5
2.2.2 PROCESO DE COAGULACIÓN-FLOCULACIÓN.....	6
2.2.3 PROCESO DE SEDIMENTACIÓN.....	7
2.2.4 PROCESO DE FILTRACIÓN	7
2.2.5 PROCESO DE DESINFECCIÓN	8
2.3 EVALUACIÓN DE PLANTAS DE TRATAMIENTO	9
2.3.1 USO DE TRAZADORES PARA DETERMINAR LAS CARACTERÍSTICAS HIDRÁULICAS DE LOS REACTORES.....	10
2.3.2 DESCRIPCIÓN DEL ENSAYO CON TRAZADORES.....	10
2.3.2.1 PROCEDIMIENTO.....	11
2.3.2.2 MODELOS MATEMÁTICOS APLICADOS AL ENSAYO DE TRAZADORES	12
2.3.2.3 MODELO SIMPLIFICADO DE LA TEORÍA DE WOLF-RESNICK	17
2.3.2.4 LIMITACIONES DE LA PRUEBA DE TRAZADORES	22
2.3.3 PRUEBAS DE TRATABILIDAD.....	23
2.3.3.1 PRUEBA DE JARRAS	23
2.3.3.2 LIMITACIONES DE LA PRUEBA DE JARRAS	27
2.3.3.3 CONSIDERACIONES GENERALES PARA LA PRUEBA DE JARRAS	27

2.4 MICROBIOLOGÍA DEL AGUA DE CONSUMO	29
2.5 CLORACIÓN COMO MÉTODO DE DESINFECCIÓN	30
2.5.1 MECANISMO DE ACCIÓN	30
2.5.2 REACCIONES CON COMPUESTOS DISUELTOS EN EL AGUA	31
2.6 NORMA TÉCNICA ECUATORIANA DE CALIDAD DE AGUA POTABLE INEN 1108	32
2.6.1 OBJETIVO	32
2.6.2 CAMPO DE APLICACIÓN	32
2.6.3 REQUISITOS DE CALIDAD	32
CAPÍTULO 3.....	34
METODOLOGÍA	34
3.1 EVALUACIÓN PRELIMINAR DE LAS UNIDADES DEL PROCESO.....	34
3.1.1 RECOPIACIÓN DE INFORMACIÓN EN EL SITIO.....	34
3.1.2 RECORRIDO POR LA PLANTA	34
3.1.3 RECOPIACIÓN DE DATOS DE CONTROL DE LA PTAET	35
3.1.4 DESARROLLO DEL GRÁFICO DEL POTENCIAL DE PRODUCCIÓN	37
3.1.4.1 FLOCULADORES.....	37
3.1.4.2 SEDIMENTADORES.....	38
3.1.4.3 FILTROS.....	39
3.2 ENSAYO CON TRAZADORES	40
3.2.1 MATERIALES, EQUIPOS Y REACTIVOS.....	40
3.2.1.1 REACTIVOS	40
3.2.1.2 MATERIALES	40

3.2.1.3 EQUIPOS.....	41
3.2.2 PROCEDIMIENTO.....	41
3.2.2.1 UNIDADES DE FLOCULACIÓN.....	41
3.2.2.2 UNIDADES DE SEDIMENTACIÓN	44
3.3 PRUEBAS DE TRATABILIDAD	48
3.3.1 MATERIALES, EQUIPOS Y REACTIVOS.....	48
3.3.1.1 MATERIALES	48
3.3.1.2 EQUIPOS.....	48
3.3.1.3 REACTIVOS	49
3.3.2 DETERMINACIÓN DE LA DOSIS ÓPTIMA DE COAGULANTE	49
3.3.3 DETERMINACIÓN DE LA CONCENTRACIÓN ÓPTIMA DE COAGULANTE	52
3.3.4 DETERMINACIÓN DE DOSIS ÓPTIMA DEL AYUDANTE DE COAGULACIÓN	54
3.3.5 DETERMINACIÓN DEL pH ÓPTIMO	55
3.3.5 DETERMINACIÓN DEL GRADIENTE Y TIEMPO DE AGITACIÓN ÓPTIMO	58
3.3.6 DETERMINACIÓN DE LA VELOCIDAD ÓPTIMA DE SEDIMENTACIÓN	60
3.4 EVALUACIÓN DEL PROCESO DE FILTRACIÓN	61
3.4.1 MATERIALES Y EQUIPOS.....	61
3.4.1.1 MATERIALES	61
3.4.1.2 EQUIPOS.....	62
3.4.2 DETERMINACIÓN DE PARÁMETROS DE PROCESO	62
3.4.2.1 VELOCIDAD Y CAUDAL DE FILTRACIÓN	62

3.4.2.2 CALIDAD DEL FILTRADO INICIAL	63
3.4.2.3 DURACIÓN DE LA CARRERA DE FILTRACIÓN.....	63
3.4.2 DETERMINACIÓN DE LA EFICIENCIA DEL PROCESO DE FILTRACIÓN	64
3.4.3 CARACTERIZACIÓN DEL LECHO FILTRANTE.....	64
3.4.3.1 GRANULOMETRÍA DEL LECHO FILTRANTE.....	64
3.4.3.2 ESTADO DEL MEDIO FILTRANTE (CONTENIDO DE BOLAS DE BARRO)	65
3.4.3.3 ESPESOR DEL MEDIO FILTRANTE	66
3.4.4 CARACTERIZACIÓN DEL PROCESO DE LAVADO DE FILTROS.....	66
3.4.4.1 EXPANSIÓN DEL LECHO FILTRANTE	66
3.4.4.2 DURACIÓN DEL PROCESO DE LAVADO	67
3.5 EVALUACIÓN DEL PROCESO DE DESINFECCIÓN	67
3.5.1 DETERMINACIÓN DE CLORO RESIDUAL	67
3.5.1.1 EQUIPOS.....	67
3.5.1.2 REACTIVOS	67
3.5.1.3 PROCEDIMIENTO.....	68
3.5.2 DETERMINACIÓN DE LA DEMANDA DE CLORO.....	68
3.5.3 TIEMPO REAL DE CONTACTO	68
3.6 PARÁMETROS DE CALIDAD DEL AGUA	70
3.6.1 PARÁMETROS FISICOQUÍMICOS	70
3.6.1.1 MATERIALES	71
3.6.1.2 EQUIPOS.....	71
3.6.1.3 REACTIVOS	71

3.6.2 ANÁLISIS MICROBIOLÓGICO	72
3.6.2.1 MATERIALES	72
3.6.2.2 EQUIPOS.....	72
3.6.2.3 REACTIVOS	72
CAPÍTULO 4.....	73
PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE EL TROJE.....	73
4.1 ABASTECIMIENTO DE AGUA EN QUITO	73
4.2 SISTEMA DE CONDUCCIÓN LA MICA-QUITO SUR.....	73
4.2.1 LAGUNA MICACOCHA.....	73
4.2.2 CAPTACIÓN Y CONDUCCIÓN	73
4.3 DESCRIPCIÓN GENERAL DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE EL TROJE	75
4.3.1 ANTECEDENTES.....	75
4.3.2. ESTRUCTURA GENERAL DE LA PTAET	78
4.3.2.1 RESERVA DE AGUA CRUDA	78
4.3.2.2. ÁREAS ADMINISTRATIVA, DE MANTENIMIENTO Y SEGURIDAD	78
4.3.2.3 ÁREAS Y UNIDADES DE PROCESOS	79
CAPÍTULO 5.....	83
RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	83
5.1 DIAGNÓSTICO PRELIMINAR DE LAS UNIDADES PRINCIPALES.....	83
5.1.1 DIMENSIONES REALES EN UNIDADES PRINCIPALES.....	83
5.1.2 GRÁFICA DE POTENCIAL DE PRODUCCIÓN DE LA PTAET.....	84
5.2 RESULTADOS DE LA PRUEBA CON TRAZADORES.....	85
5.2.1 FLOCULADORES.....	85

5.2.1.1 MÉTODO DE WOLF-RESNICK	99
5.2.1.2 ANÁLISIS DE LA CURVA DE TENDENCIA	107
5.2.1.3 ÍNDICE DE MORRILL	115
5.2.2 SEDIMENTADORES	121
5.2.2.1 MÉTODO DE WOLF-RESNICK	137
5.2.2.2 ANÁLISIS DE LA CURVA DE TENDENCIA	139
5.2.2.3 ÍNDICE DE MORRILL	143
5.2.3 DISTRIBUCIÓN DE CAUDALES	145
5.3 PRUEBAS DE TRATABILIDAD	150
5.3.1 DETERMINACIÓN DE PARÁMETROS DE MEZCLA REALES	150
5.3.2 DETERMINACIÓN DE DOSIS ÓPTIMA DE COAGULANTE.....	150
5.3.3 DETERMINACIÓN DE CONCENTRACIÓN ÓPTIMA DE COAGULANTE	151
5.3.4 DETERMINACIÓN DE DOSIS ÓPTIMA DE POLÍMERO	152
5.3.5 DETERMINACIÓN DE pH ÓTIMO DE COAGULACIÓN	153
5.3.6 DETERMINACIÓN DE GRADIENTE ÓPTIMO DE FLOCULACIÓN	154
5.3.7 DETERMINACIÓN DE VELOCIDAD ÓPTIMA DE SEDIMENTACIÓN	156
5.4 ANÁLISIS DEL SISTEMA DE FILTRACIÓN	157
5.4.1 CALIDAD DEL FILTRADO INICIAL.....	157
5.4.2 DURACIÓN DE LA CARRERA DE FILTRACIÓN.....	158
5.4.3 DETERMINACIÓN DE LA EFICIENCIA DEL PROCESO DE FILTRACIÓN	160
5.4.4 GRANULOMETRÍA DEL LECHO FILTRANTE.....	162

5.4.5 ESTADO DEL MEDIO FILTRANTE (CONTENIDO DE BOLAS DE LODO).....	163
5.4.6 ESPESOR DEL MEDIO FILTRANTE	163
5.4.7 EXPANSIÓN DEL LECHO FILTRANTE	164
5.4.8 DURACIÓN DEL PROCESO DE LAVADO	164
5.5 ANÁLISIS DEL PROCESO DE CLORACIÓN.....	165
5.5.1 DETERMINACIÓN DE CLORO RESIDUAL	165
5.5.2 DETERMINACIÓN DE LA DEMANDA DE CLORO	166
5.5.3 TIEMPO REAL DE CONTACTO	167
5.6 DIAGNÓSTICO FINAL DE LA PTAET.....	167
5.6.1 COMPARACIÓN DE DATOS OBTENIDOS CON LA NORMATIVA CORRESPONDIENTE	167
5.6.2 DIAGNÓSTICO FINAL DE LAS UNIDADES EVALUADAS.....	168
5.6.2.1 MEZCLA RÁPIDA Y CANAL DE DISTRIBUCIÓN	168
5.6.2.2 FLOCULADORES	169
5.6.2.3 SEDIMENTADORES.....	171
5.6.2.4 FILTROS.....	173
5.6.2.5 DESINFECCIÓN	173
CAPÍTULO 6.....	174
PROPUESTA DE OPTIMIZACIÓN Y MEJORAS	174
6.1 PROPUESTA DE MEJORAS MODULARES	174
6.2 PROPUESTA DE MEJORAS DE OPERACIÓN	175
CAPÍTULO 7.....	176
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	176
7.1 CONCLUSIONES.....	176

7.1.1 CANAL DISTRIBUIDOR DE AGUA.....	176
7.1.2 FLOCULADORES.....	176
7.1.3 SEDIMENTADORES	177
7.1.4 FILTROS.....	178
7.1.5 DESINFECCIÓN	178
7.1.6 CALIDAD DEL AGUA.....	179
7.2 RECOMENDACIONES.....	179
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	181
ANEXOS.....	185
ANEXO 1	186
FICHAS DE INSPECCIÓN INICIAL	186
ANEXO 2	190
EVIDENCIA FOTOGRÁFICA	190
ANEXO 3	201
TRATAMIENTO DE DATOS	201
ANEXO 4	253
PLANOS	253

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.1	Tipos de plantas no convencionales.....	5
Tabla 2.2	Clasificación de filtros.....	8
Tabla 2.3	Índice de Willcomb.....	28
Tabla 2.4	Reacciones del cloro con compuestos disueltos en el agua...	31
Tabla 2.5	Requisitos de calidad.....	32
Tabla 3.1	Turbiedad mensual promedio-Año 2017.....	35
Tabla 3.2	Criterios para evaluar el floculador.....	38
Tabla 3.3	Tasa superficial para sedimentadores convencionales.....	38
Tabla 3.4	Criterios de evaluación para filtros.....	39
Tabla 3.5	Dimensiones de las unidades de la PTAET.....	40
Tabla 3.6	Materiales usados en prueba de trazadores.....	41
Tabla 3.7	Prueba de trazadores-Conductividad Floculador I.....	42
Tabla 3.8	Prueba de trazadores- Conductividad Sedimentador I.....	45
Tabla 3.9	Materiales para la prueba de jarras.....	48
Tabla 3.10	Características iniciales del agua cruda PTAET 2018.....	49
Tabla 3.11	Parámetros de agitación-Prueba de jarras.....	50
Tabla 3.12	Prueba de jarras-Dosis óptima (Campaña 1).....	51
Tabla 3.13	Prueba de jarras-Dosis óptima (Campaña 2).....	51
Tabla 3.14	Prueba de jarras-Dosis óptima (Campaña 3).....	52
Tabla 3.15	Prueba de jarras-Dosis óptima (Campaña 4).....	52
Tabla 3.16	Prueba de jarras-Concentración óptima (Campaña 2).....	53
Tabla 3.17	Prueba de jarras-Concentración óptima (Campaña 3).....	53
Tabla 3.18	Prueba de jarras-Concentración óptima (Campaña 4).....	54
Tabla 3.19	Prueba de jarras-Dosis óptima de polímero (Campaña 2).....	55
Tabla 3.20	Prueba de jarras-Dosis óptima de polímero (Campaña 3).....	55
Tabla 3.21	Prueba de jarras-pH óptimo (Campaña 2).....	56
Tabla 3.22	Prueba de jarras-pH óptimo (Campaña 3).....	57

Tabla 3.23	Prueba de jarras-pH óptimo (Campaña 4).....	57
Tabla 3.24	Prueba de jarras-Gradiente óptimo (Prueba 1).....	59
Tabla 3.25	Prueba de jarras-Gradiente óptimo (Prueba 2).....	59
Tabla 3.26	Prueba de jarras-Gradiente óptimo (Prueba 3).....	59
Tabla 3.27	Prueba de jarras-Gradiente óptimo (Prueba 4).....	60
Tabla 3.28	Prueba de jarras-Velocidad óptima de sedimentación.....	61
Tabla 3.29	Materiales utilizados en la evaluación de filtros.....	61
Tabla 3.30	Velocidades y caudales de filtración.....	63
Tabla 3.31	Prueba de trazadores-Cámara de contacto.....	69
Tabla 3.32	Métodos empleados para análisis fisicoquímicos del agua....	70
Tabla 3.33	Materiales utilizados.....	71
Tabla 3.34	Materiales utilizados.....	72
Tabla 4.1	Componentes del sistema La Mica-Quito Sur.....	74
Tabla 4.2	Tiempo de retención y gradiente para cada tramo de los floculadores.....	80
Tabla 5.1	Dimensiones reales-Floculadores.....	83
Tabla 5.2	Dimensiones reales Sedimentadores.....	83
Tabla 5.3	Dimensiones reales-Filtros.....	84
Tabla 5.4	Capacidad real de operación-Unidades principales PTAET...	84
Tabla 5.5	Condiciones iniciales-Floculadores.....	85
Tabla 5.6	Prueba de trazadores-Datos obtenidos Floculador I.....	86
Tabla 5.7	Prueba de trazadores-Datos obtenidos Floculador II.....	89
Tabla 5.8	Prueba de trazadores-Datos obtenidos Floculador III.....	93
Tabla 5.9	Prueba de trazadores-Datos obtenidos Floculador IV.....	96
Tabla 5.10	Resultados Método de Wolf-Resnick (Floculador I).....	105
Tabla 5.11	Resultados Método de Wolf-Resnick (Floculador II).....	106
Tabla 5.12	Resultados Método de Wolf-Resnick (Floculador III).....	106
Tabla 5.13	Resultados Método de Wolf-Resnick (Floculador IV).....	106
Tabla 5.14	Parámetros reales de funcionamiento-Floculador I.....	113
Tabla 5.15	Parámetros reales de funcionamiento-Floculador II.....	113

Tabla 5.16	Parámetros reales de funcionamiento-Floculador III.....	114
Tabla 5.17	Parámetros reales de funcionamiento-Floculador IV.....	114
Tabla 5.18	Índice de Morrill-Floculadores.....	121
Tabla 5.19	Condiciones iniciales-Sedimentadores.....	121
Tabla 5.20	Prueba de trazadores-Datos obtenidos Sedimentador I.....	122
Tabla 5.21	Prueba de trazadores-Datos obtenidos Sedimentador II.....	126
Tabla 5.22	Prueba de trazadores-Datos obtenidos Sedimentador III.....	130
Tabla 5.23	Prueba de trazadores-Datos obtenidos Sedimentador IV.....	133
Tabla 5.24	Resultados Método de Wolf-Resnick (Sedimentadores I y II).....	139
Tabla 5.25	Resultados Método de Wolf-Resnick (Sedimentadores III y IV).....	139
Tabla 5.26	Parámetros reales de funcionamiento-Sedimentadores I y II.....	142
Tabla 5.27	Parámetros reales de funcionamiento-Sedimentadores III y IV.....	142
Tabla 5.28	Índice de Morrill-Sedimentadores.....	145
Tabla 5.29	Distribución de caudales- Ingreso a Floculador I.....	145
Tabla 5.30	Distribución de caudales- Ingreso a Floculador II.....	146
Tabla 5.31	Distribución de caudales- Ingreso a Floculador III.....	148
Tabla 5.32	Distribución de caudales- Ingreso a Floculador IV.....	149
Tabla 5.33	Parámetros de mezcla reales- Unidades de floculación.....	150
Tabla 5.34	Dosis óptima de coagulante-Remoción de turbiedad y color.....	150
Tabla 5.35	Concentración óptima de coagulante-Remoción de turbiedad y color.....	151
Tabla 5.36	Dosis óptima de polímero-Remoción de turbiedad y color.....	152
Tabla 5.37	pH óptimo-Remoción de turbiedad y color.....	153
Tabla 5.38	Gradiente y tiempo óptimos-Remoción de turbiedad y color.....	154

Tabla 5.39	Determinación de velocidad óptima de sedimentación.....	156
Tabla 5.40	Calidad de filtrado inicial.....	157
Tabla 5.41	Evaluación de la carrera de filtración.....	159
Tabla 5.42	Carrera de filtración individual, mensual y semestral.....	159
Tabla 5.43	Frecuencia acumulada-Agua sedimentada (2017).....	160
Tabla 5.44	Frecuencia acumulada-Agua filtrada (2017).....	161
Tabla 5.45	Granulometría-Resultados obtenidos.....	162
Tabla 5.46	Granulometría-Parámetros de diseño.....	163
Tabla 5.47	Porcentaje de bolas de lodo.....	163
Tabla 5.48	Espesor del medio filtrante-Resultados.....	163
Tabla 5.49	Expansión del lecho filtrante-Resultados.....	164
Tabla 5.50	Duración del proceso de lavado.....	164
Tabla 5.51	Determinación de cloro residual-Red de distribución El Troje.....	165
Tabla 5.52	Determinación de la demanda de cloro.....	166
Tabla 5.53	Análisis fisicoquímicos-Resultados.....	167
Tabla 5.54	Análisis microbiológico-Resultados.....	168
Tabla 5.55	Comparación-Gradientes de velocidad.....	169
Tabla 6.1	Descripción de alternativas-Mejoras modulares.....	174
Tabla 6.2	Descripción de alternativas-Mejoras de operación.....	175

ÍNDICE DE GRÁFICAS

Gráfica 2.1	Reactor de flujo mezclado.....	13
Gráfica 2.2	Variación de la concentración vs. Tiempo de retención.....	14
Gráfica 2.3	Reactores en serie.....	16
Gráfica 2.4	Cantidad de trazador que permanece en el reactor.....	18
Gráfica 2.5	Concentración de trazador en el afluente de un reactor....	19
Gráfica 2.6	% de trazador que pasa vs. Tiempo (Índice de Morrill).....	21
Gráfica 2.7	Equipo de prueba de jarras.....	24
Gráfica 2.8	Ábaco de transformación, jarras circulares.....	25
Gráfica 2.9	Ábaco de transformación, jarras rectangulares.....	26
Gráfica 2.10	Estimador del tamaño de flóculo (Según WRI).....	28
Gráfica 3.1	Promedios diarios de turbiedad año 2017-Agua Cruda.....	36
Gráfica 3.2	Promedios diarios de turbiedad año 2017-Agua Sedimentada.....	36
Gráfica 3.3	Promedios diarios de turbiedad año 2017-Agua Tratada....	37
Gráfica 3.4	Prueba de trazadores 2018-Conductividad Floculador I (Piscina 1).....	43
Gráfica 3.5	Prueba de trazadores 2018-Conductividad Floculador I (Piscina 2).....	43
Gráfica 3.6	Prueba de trazadores 2018-Conductividad Floculador I (Piscina 3).....	44
Gráfica 3.7	Prueba de trazadores 2018-Conductividad Sedimentador I.....	46
Gráfica 3.8	Prueba de trazadores 2018-Conductividad Sedimentador II.....	46
Gráfica 3.9	Prueba de trazadores 2018-Conductividad Sedimentador III.....	47

Gráfica 3.10	Prueba de trazadores 2018-Conductividad Sedimentador IV.....	47
Gráfica 3.11	Prueba de trazadores 2018-Cámara de contacto.....	70
Gráfica 5.1	Gráfica de potencial de producción-PTAET.....	85
Gráfica 5.2	Método de Wolf-Resnick-Floculador I (Piscina 1) 2018.....	99
Gráfica 5.3	Método de Wolf-Resnick-Floculador I (Piscina 2) 2018.....	100
Gráfica 5.4	Método de Wolf-Resnick-Floculador I (Piscina 3) 2018.....	100
Gráfica 5.5	Método de Wolf-Resnick-Floculador II (Piscina 1) 2018.....	101
Gráfica 5.6	Método de Wolf-Resnick-Floculador II (Piscina 2) 2018.....	101
Gráfica 5.7	Método de Wolf-Resnick-Floculador II (Piscina 3) 2018.....	102
Gráfica 5.8	Método de Wolf-Resnick-Floculador III (Piscina 1) 2018.....	102
Gráfica 5.9	Método de Wolf-Resnick-Floculador III (Piscina 2) 2018.....	103
Gráfica 5.10	Método de Wolf-Resnick-Floculador III (Piscina 3) 2018.....	103
Gráfica 5.11	Método de Wolf-Resnick-Floculador IV (Piscina 1) 2018.....	104
Gráfica 5.12	Método de Wolf-Resnick-Floculador IV (Piscina 2) 2018.....	104
Gráfica 5.13	Método de Wolf-Resnick-Floculador IV (Piscina 3) 2018.....	105
Gráfica 5.14	Tiempos de retención reales-Floculador I (Piscina 1) 2018.....	107
Gráfica 5.15	Tiempos de retención reales-Floculador I (Piscina 2) 2018.....	107
Gráfica 5.16	Tiempos de retención reales-Floculador I (Piscina 3) 2018.....	108
Gráfica 5.17	Tiempos de retención reales-Floculador II (Piscina 1) 2018.....	108
Gráfica 5.18	Tiempos de retención reales-Floculador II (Piscina 2) 2018.....	109
Gráfica 5.19	Tiempos de retención reales-Floculador II (Piscina 3) 2018.....	109

Gráfica 5.20	Tiempos de retención reales-Floculador III (Piscina 1) 2018.....	110
Gráfica 5.21	Tiempos de retención reales-Floculador III (Piscina 2) 2018.....	110
Gráfica 5.22	Tiempos de retención reales-Floculador III (Piscina 3) 2018.....	111
Gráfica 5.23	Tiempos de retención reales-Floculador IV (Piscina 1) 2018.....	111
Gráfica 5.24	Tiempos de retención reales-Floculador IV (Piscina 2) 2018.....	112
Gráfica 5.25	Tiempos de retención reales-Floculador IV (Piscina 3) 2018.....	112
Gráfica 5.26	Índice de Morrill-Floculador I (Piscina 1) 2018.....	115
Gráfica 5.27	Índice de Morrill-Floculador I (Piscina 2) 2018.....	115
Gráfica 5.28	Índice de Morrill-Floculador I (Piscina 3) 2018.....	116
Gráfica 5.29	Índice de Morrill-Floculador II (Piscina 1) 2018.....	116
Gráfica 5.30	Índice de Morrill-Floculador II (Piscina 2) 2018.....	117
Gráfica 5.31	Índice de Morrill-Floculador II (Piscina 3) 2018.....	117
Gráfica 5.32	Índice de Morrill-Floculador III (Piscina 1) 2018.....	118
Gráfica 5.33	Índice de Morrill-Floculador III (Piscina 2) 2018.....	118
Gráfica 5.34	Índice de Morrill-Floculador III (Piscina 3) 2018.....	119
Gráfica 5.35	Índice de Morrill-Floculador IV (Piscina 1) 2018.....	119
Gráfica 5.36	Índice de Morrill-Floculador IV (Piscina 2) 2018.....	120
Gráfica 5.37	Índice de Morrill-Floculador IV (Piscina 3) 2018.....	120
Gráfica 5.38	Método de Wolf-Resnick-Sedimentador I 2018.....	137
Gráfica 5.39	Método de Wolf-Resnick-Sedimentador II 2018.....	137
Gráfica 5.40	Método de Wolf-Resnick-Sedimentador III 2018.....	138
Gráfica 5.41	Método de Wolf-Resnick-Sedimentador IV 2018.....	138
Gráfica 5.42	Tiempos de retención reales-Sedimentador I 2018.....	140
Gráfica 5.43	Tiempos de retención reales-Sedimentador II 2018.....	140

Gráfica 5.44	Tiempos de retención reales-Sedimentador III 2018.....	141
Gráfica 5.45	Tiempos de retención reales-Sedimentador IV 2018.....	141
Gráfica 5.46	Índice de Morrill-Floculador I 2018.....	143
Gráfica 5.47	Índice de Morrill-Floculador II 2018.....	143
Gráfica 5.48	Índice de Morrill-Floculador III 2018.....	144
Gráfica 5.49	Índice de Morrill-Floculador IV 2018.....	144
Gráfica 5.50	Determinación de la dosis óptima de coagulante.....	151
Gráfica 5.51	Determinación de la concentración óptima de coagulante.....	152
Gráfica 5.52	Determinación de la dosis óptima de ayudante de coagulación.....	153
Gráfica 5.53	Determinación del pH óptimo de coagulación.....	154
Gráfica 5.54	Determinación del gradiente y tiempo óptimos de floculación.....	155
Gráfica 5.55	Correlación entre Gradiente de velocidad y tiempo de floculación.....	155
Gráfica 5.56	Curva de sedimentación.....	156
Gráfica 5.57	Calidad de filtrado inicial.....	158
Gráfica 5.58	Frecuencia acumulada-Agua sedimentada 2017.....	161
Gráfica 5.59	Frecuencia acumulada-Agua filtrada 2017.....	162

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 4.1	Ubicación de la PTAET.....	76
Figura 4.2	Diagrama del proceso de potabilización de la PTAET.....	77
Figura 5.1	Ingresos de agua hacia las unidades de floculación.....	169
Figura 5.2	Salida de agua entre piscinas de floculación.....	170
Figura 5.3	Flujo retenido dentro de pantallas deflectoras.....	170
Figura 5.4	Formación de espumas de sulfato.....	171
Figura 5.5	Formación de película de lodo.....	171
Figura 5.6	Seditubos deteriorados.....	172
Figura 5.7	Lodos retenidos en el fondo del sedimentador.....	172

RESUMEN

La evaluación de plantas potabilizadoras garantiza que el agua producida sea apta para el consumo de la población, por esta razón, la Organización Panamericana de la Salud (OPS) recomienda que los sistemas de potabilización sean evaluados periódicamente. El presente trabajo de titulación evaluó el funcionamiento de los procesos de la PTAET.

Según la metodología establecida en el Manual III del Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente (CEPIS), se recopilaron datos de operación del año 2017, para establecer eficiencia remocional de turbiedad, se realizó el levantamiento de información inicial y el dimensionamiento de las unidades principales, para obtener el diagnóstico preliminar de la planta.

El análisis hidráulico de las unidades de floculación y sedimentación se realizó mediante el ensayo de trazadores, para determinar las condiciones reales de mezcla, la existencia de cortocircuitos y puntos muertos. Adicionalmente, se comprobó la repartición de caudales a través de pruebas en la zona de ingreso de agua a floculadores. Para los análisis de tratabilidad de agua, se modificaron los tiempos y velocidades de agitación en el equipo de prueba de jarras, acorde a los resultados obtenidos en las pruebas de trazadores, obteniéndose los parámetros óptimos de coagulación, floculación y sedimentación. Se determinó el estado del sistema de filtración y se evaluó el proceso de desinfección, se estableció el tiempo real de contacto del cloro gas con el agua filtrada y se determinó el contenido de cloro en la red de distribución. Finalmente se analizaron los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos para determinar la calidad del agua obtenida al culminar el proceso de potabilización, verificando el cumplimiento de la norma INEN 1108.

La evaluación reveló que los tiempos de retención y gradientes de velocidad reales en las unidades de floculación difieren de los propuestos por el diseñador del sistema. La dosis óptima de $Al_2(SO_4)_3$ se mantuvo en 70 mg/L y la dosis óptima de polímero en 0.15 mg/L, para las diferentes pruebas de jarras. Por otra parte, los

sedimentadores mostraron un óptimo funcionamiento hidráulico, a pesar de la afectación ocasionada por el mal desempeño del proceso anterior. Las pruebas granulométricas de los lechos filtrantes evidenciaron la pérdida de las condiciones óptimas de operación, sin embargo, esto no llega a ser determinante en el proceso de filtración. Por lo tanto, se concluye que el principal problema de la PTAET es el deficiente desempeño del sistema de floculación, afectando la eficiencia de los procesos contiguos.

ABSTRACT

Water treatment plants evaluation guarantees that produced water be able for people consumption, for that reason, Organización Panamericana de la Salud (OPS) recommend that water treatment systems be checked periodically. The present degree work evaluated the PTAET processes operation.

Based on Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente (CEPIS) methodology, established in manual III, 2017 operation data were collected to establish turbidity removable efficiency and get the plant's preliminary diagnosis.

The hydraulic analysis of flocculation and sedimentation units was made through the tracer's test, for find mixing real conditions, shortcuts and stagnations. Additionally, flow distribution was checked by tests in the water entry gate's zone. For water treatability tests, mixing times and speeds of the jar tests machine were modified according to the results of the tracer's test, getting the coagulation, flocculation and sedimentation optimum parameters. Filtration system's state was gotten, and disinfection process was evaluated. We established the real contact time between filtered water and chlorine and measured the chlorine content on the distribution net. Finally, physiochemical and microbiological parameters were analyzed for get the quality of water obtained at the end of treatment process, verifying the rule INEN 1108 fulfillment.

The evaluation showed that real retention times and speed gradients of flocculation units differ from system designer's proposal. The $Al_2(SO_4)_3$ optimal dose remained in 70 mg/L and de polymer optimal dose in 0.15 mg/L, for different jar tests. On the other hand, sedimentation units showed an optimal hydraulic work, although the bad work of the previous process. Granulometry tests of filtration beds showed the lost of the optimal operation conditions, but, it doesn't become determinant on the filtration process. Thus, we conclude that the PTAET main trouble is the deficient work of the flocculation system, affecting the other processes efficiency.

PRESENTACIÓN

El presente trabajo de titulación estableció el funcionamiento general de las unidades de proceso de la PTAET, el documento está conformado de 7 capítulos, los cuales han sido organizados de la siguiente manera:

El primer capítulo presenta la introducción a la evaluación de la PTAET, plantea los objetivos y el alcance del proyecto, así como la justificación para la realización del estudio.

El segundo capítulo resume la teoría referente a la evaluación de plantas, haciendo especial referencia al fundamento del ensayo de trazadores, pruebas de tratabilidad y finalmente se revisa la norma técnica INEN 1108, aplicable a sistemas de potabilización en el Ecuador.

El tercer capítulo detalla la metodología utilizada para el desarrollo de la evaluación, la cual fue obtenida del Manual III del CEPIS, aplicable a unidades de floculación, sedimentación, filtros y desinfección. Se presentan los métodos de análisis fisicoquímicos y microbiológicos a realizarse, así como los materiales y equipos necesarios para cada fin.

El cuarto capítulo presenta una breve descripción de la PTAET, iniciando por el sistema de captación y conducción, la ubicación y la constitución física de la planta.

En el quinto capítulo se realiza el análisis de los resultados obtenidos en la evaluación y se presenta el diagnóstico final de las unidades de proceso.

El sexto capítulo presenta la descripción de las propuestas establecidas en función de los problemas diagnosticados.

Finalmente, el séptimo capítulo describe las conclusiones y recomendaciones generadas tras la realización de la evaluación.

DEFINICIONES

Agua cruda.- Agua que no ha sido sometida a ningún tipo de tratamiento con el fin de modificar sus características físicas, químicas o microbiológicas naturales.

Cloración.- Método de desinfección basado en la aplicación de cloro al agua, previo a la distribución.

Cloro residual.- Contenido o concentración de cloro presente en el agua, en cualquier punto de la red de distribución.

Coagulación.- Proceso de desestabilización de partículas coloidales contenidas en el agua cruda, a través de la adición de sustancias químicas.

Coagulantes.- Sustancia químicas que se adicionan al agua cruda para reaccionar con las partículas presentes y ocasionar la desestabilización electrostática de las mismas.

Coeficiente de uniformidad.- Parámetro de caracterización de materiales granulares, el cual relaciona el mayor diámetro del 60% de las partículas y su tamaño efectivo (10%).

Dosificación.- Acción de adicionar una cierta cantidad de cualquier sustancia química al agua de forma controlada.

Dosis óptima.- Cantidad de una sustancia química que al ser adicionada presenta los mejores resultados respecto a eficiencia de reacción.

Eficiencia remocional.- Porcentaje de efectividad de una operación en la disminución de una sustancia específica.

Filtración.- Proceso de remoción de partículas coloidales y suspendidas contenidas en el agua mediante su paso a través de un medio poroso.

Floculación.- Aglomeración de partículas desestabilizadas, ocasionadas por la agitación lenta de una corriente previamente coagulada.

Flóculo.- Partículas de tamaño considerable, formadas por la reacción entre el coagulante y el agua

Gradiente de velocidad.- Parámetro que dimensiona la intensidad de agitación de una masa de agua, ya sea por medios hidráulicos o mecánicos.

Granulometría.- Distribución del tamaño de las partículas que conforman un medio filtrante, en función de una escala de clasificación.

Lecho filtrante.- Espacio conformado por material granular poroso, a través del cual circula un fluido.

Mezcla rápida.- Proceso de agitación intensa utilizado para dispersar instantáneamente una sustancia química en una masa de agua.

Sedimentación.- Separación de sólidos más densos contenidos en el agua por acción de la gravedad y acumulación de estos en el fondo de una estructura.

Tasa superficial.- Parámetro de relación entre el caudal y el área superficial de una estructura hidráulica ($m^3/m^2 \cdot día$).

Tiempo de retención hidráulica.- Periodo medio que una masa de agua permanece dentro de una estructura hidráulica.

SIMBOLOGÍA Y SIGLAS

°C	Grado centígrado
g	Gramos
mm	Milímetros
∅	Diámetro de tubería
ppm	Partes por millón
μS	Micro Siemens
C	Conductividad final
Co	Conductividad inicial
p	Flujo no pistón
P	Flujo pistón
M	Flujo mezclado
m	Espacios muertos
F(t)	Concentración de trazador en el reactor en el tiempo
Q	Caudal de ingreso a la unidad
q	Volumen de solución utilizada
I.W.	Índice de Willcomb
NTU	Unidades nefelométricas de turbiedad
Pt-Co	Rango de color expresado en unidades de platino-cobalto
rpm	Revoluciones por minuto
Counts	Unidades de revolución del micromolinete
G	Gradiente de velocidad
T.E.	Tamaño efectivo
C.U.	Coefficiente de uniformidad
Al	Aluminio
Fe	Hierro
Al ₂ (SO ₄) ₃	Sulfato de Aluminio
CO ₂	Dióxido de carbono
FeCl ₃	Cloruro férrico
Al ₂ (OH) ₃ Cl ₃	Policloruro de Aluminio

DPD	Reactivo dietil-p-fenilén-diamina
ECR	Reactivo cianina R de eriocromo
EDTA	Reactivo etilén-dianimo-tetra acético
DMQ	Distrito Metropolitano de Quito
EPMAPS	Empresa Pública Metropolitana de Agua Potable y Saneamiento
PTAP	Plantas de Tratamiento de Agua Potable
PTAET	Planta de tratamiento de agua El Troje
OPS	Organización Panamericana de la Salud
CEPIS	Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria
CONAGUA	Comisión Nacional del Agua (México)
NTE	Norma Técnica Ecuatoriana
INEN	Instituto Ecuatoriano de Normalización
BPM	Buenas Prácticas de Manufactura

CAPÍTULO 1

INTRODUCCIÓN

1.1 ANTECEDENTES

El agua es un recurso de vital importancia para el desarrollo de todas las actividades humanas, la vigilancia y evaluación de los procesos de potabilización, orientados al cumplimiento de criterios técnicos y ambientales, permiten mantener parámetros de calidad establecidos para agua de consumo humano y así garantizar el derecho de los habitantes del Distrito Metropolitano de Quito (DMQ) a consumir agua potable segura y confiable. (Reyes & Silva, 2012).

La Empresa Pública Metropolitana de Agua Potable y Saneamiento (EPMAPS) es la encargada de suministrar este servicio a los cerca de 3 millones de habitantes del DMQ; actualmente cuenta con 22 plantas potabilizadoras, las cuales se encuentran estratégicamente distribuidas tanto en el sector urbano como en las distintas parroquias rurales. Para el año 2011 se estimó que el caudal tratado anualmente por estos sistemas alcanzaba los 6282 L/s, siendo suficiente para cubrir la demanda calculada de 6200 L/s (Ojeda, 2013).

La planta de Tratamiento de Agua El Troje (PTAET) entró en operación en mayo del 2000, recibe su caudal a tratar a través del sistema de conducción La Mica-Quito Sur, cuya capacidad de conducción se estima en 2000 L/s; el módulo I de la planta está diseñado para potabilizar un máximo de 850 L/s y actualmente opera con caudales de hasta 750 L/s (Torres, 2005).

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 OBJETIVO GENERAL

Evaluar la operación actual de los procesos de potabilización de la PTAET, mediante la utilización del ensayo de trazadores y pruebas de tratabilidad, que permitan determinar el estado de su funcionamiento.

1.2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Levantar un diagnóstico inicial del funcionamiento de las diferentes unidades de la planta, mediante inspecciones visuales, evaluaciones preliminares y la recopilación de datos de operación y memoria técnica de diseño, a fin de conocer el estado actual de las mismas y otorgar a cada unidad un nivel de atención en función de su grado de afectación.

Determinar el comportamiento físico químico e hidráulico del proceso de potabilización de la PTAET mediante análisis químicos, ensayos de tratabilidad y pruebas de trazadores, para determinar cuáles son las unidades que presentan problemas en su funcionamiento o que operan fuera de los parámetros de diseño.

Determinar el estado actual del sistema de filtración y los medios filtrantes de la PTAET mediante un análisis de tasas de filtración, granulometría del lecho filtrante, duración de la carrera de filtración, tiempo y velocidad de lavado con el fin de verificar la calidad de agua obtenida al finalizar el proceso.

Proponer medidas de mejora en los procesos químicos e hidráulicos del tratamiento en el funcionamiento de la planta a través de una comparación entre los parámetros de diseño y los resultados obtenidos tras las pruebas, con el fin de mejorar la calidad de estos y optimizar el consumo de recursos y sustancias químicas.

1.3 ALCANCE

El presente trabajo tiene por objetivo evaluar el funcionamiento de las unidades de potabilización de la PTAET aplicando la metodología establecida por el CEPIS con el fin de obtener datos que reflejen el comportamiento real de éstas y permitan determinar el estado bajo el cual se encuentran operando y en base a los resultados, proponer acciones encaminadas a mejorar los procesos, evitando el mal uso de sustancias químicas, recursos, energía, entre otros.

1.4 JUSTIFICACIÓN

Actualmente la PTAET es una de las plantas de tratamiento más importantes, ya que procesa más de 700 L/s, abasteciendo a gran parte del sur de la ciudad de Quito (EPMAPS, 2017). Pese a que la planta ha operado continuamente durante más de una década y a su gran importancia para abastecer de agua potable a la ciudad, hasta el momento no ha sido evaluada en su funcionamiento hidráulico o en los procesos fisicoquímicos de tratamiento del agua captada. Según el Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ambiental (CEPIS, 2005), se recomienda que las plantas potabilizadoras deben ser evaluadas periódicamente con un mínimo anual, para identificar deficiencias en las diferentes unidades que involucra el proceso de potabilización, principalmente en los tiempos de retención hidráulicos reales, respecto a los considerados en la etapa de diseño, ya que esto puede afectar la calidad del agua producida al final del proceso de potabilización (Ojeda, 2013).

La metodología propuesta resulta factible en el presente trabajo de titulación debido a que no exige largos periodos de tiempo para llevar a cabo la evaluación, además el uso de cloruro de sodio (NaCl) como sustancia trazadora presenta varias ventajas: no representa riesgo alguno para la salud de los beneficiarios del servicio, tiene un bajo costo en el mercado y su alta solubilidad en el agua simplifica su aplicación (Guimaraens, Da Silva, Gamazo, Failache, Camponogara & Bessouat, 2008), adicionalmente no es necesario que la planta interrumpa su operación normal durante el desarrollo de la evaluación, lo cual es primordial ya que no se puede suspender el servicio de abastecimiento de agua potable.

La información levantada a través del presente estudio de evaluación de las unidades de potabilización de la PTAET, se convertirá en una herramienta útil para la toma de decisiones por parte del personal técnico de la EPMAPS, que facilitará, de ser el caso, la aplicación de medidas correctivas dentro de un plan de operación y mantenimiento (Hurtado, 2016), o a su vez, la inclusión de las observaciones y recomendaciones emitidas en la construcción del segundo módulo del sistema de tratamiento.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1 POTABILIZACIÓN DEL AGUA

Dentro del territorio ecuatoriano, los parámetros de calidad del agua destinada para consumo humano deben cumplirse conforme a lo establecido en la NTE-INEN-1108, Requisitos para Agua Potable; por lo tanto, este recurso debe someterse a varios procesos de tratamiento antes de ser distribuida a la población (INEN, 2014).

Las Plantas de Tratamiento de Agua Potable (PTAP) incrementan o disminuyen operaciones unitarias en función de la calidad inicial y procedencia del agua cruda, la cual generalmente se obtiene de fuentes superficiales (captaciones en embalses, lagos y ríos) o subterráneas (pozos, vertientes). Las PTAP pueden clasificarse en plantas de tipo convencional y no convencional (CONAGUA, 2016).

2.1.1 PLANTAS DE TRATAMIENTO CONVENCIONAL

Este tipo de plantas están conformadas por las operaciones unitarias básicas en el proceso de potabilización: mezcla rápida, coagulación, floculación, sedimentación, filtración y desinfección. El cribado inicial y la pre-cloración pueden adicionarse dependiendo las necesidades de la planta y la calidad del agua cruda (CONAGUA, 2016).

2.1.2 PLANTAS DE TRATAMIENTO NO CONVENCIONAL

Son aquellas destinadas a tratamientos más avanzados o remoción de componentes específicos del agua, la Tabla 2.1 muestra un resumen de las plantas no convencionales más utilizadas.

Tabla 2.1 Tipos de plantas no convencionales

Tipo de planta	Operaciones unitarias
Remoción de hierro y manganeso	Oxidación, precipitación y filtración
Remoción de hierro y manganeso por adsorción-oxidación sobre zeolita natural	Oxidación con cloro, filtro de zeolita, tanque de recuperación de agua de lavado de filtros, tanque de almacenamiento
Filtración directa	Pretratamiento, filtración y desinfección
Ablandamiento químico	Adición de cal-carbonato de sodio, mezcla rápida, floculación, sedimentación, adición de CO ₂ , filtración y desinfección
Ablandamiento por intercambio iónico	Unidad de intercambio iónico antes de cloración
Adsorción con unidad de carbón activado	Unidad de carbón activado después de pretratamiento y filtración
Potabilización mediante ósmosis inversa	Unidad de ósmosis inversa después de pretratamiento y microfiltración
Filtración lenta	Sedimentador simple, filtro lento y desinfección

FUENTE: CONAGUA, 2016

ELABORACIÓN: Toapanta & Tualombo

2.2 PROCESOS UNITARIOS DE TRATAMIENTO

2.2.1 PROCESO DE MEZCLA RÁPIDA

La mezcla rápida generalmente es la primera operación unitaria dentro del proceso de potabilización, su finalidad es la de dispersar las sustancias químicas utilizadas

para el tratamiento a través de todo el flujo inicial de agua de forma rápida y uniforme. El proceso de mezcla puede generarse por medios hidráulicos a través de resaltos producidos en canales, vertederos, canaletas Parshall o utilizando mezcladores mecánicos; el tipo de mezcla a seleccionar se encuentra en función del gradiente de mezcla y el tiempo de retención requerido (CONAGUA, 2016).

2.2.2 PROCESO DE COAGULACIÓN-FLOCULACIÓN

Proceso destinado a desestabilizar las partículas coloidales presentes en el agua, a través de la adición de productos químicos, generalmente sales de Al o Fe, las cuales al ser aplicadas en la corriente a tratar forman especies hidrolizadas con carga positiva, estas especies hacen contacto con las impurezas presentes mediante la turbulencia generada en la fase de mezcla rápida. (AWWA, 2012).

El sulfato de Aluminio ($\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$) es el coagulante estándar utilizado para tratamiento de aguas provenientes de fuentes superficiales de buena calidad, sin embargo, en algunos casos puede ser sustituido por Cloruro férrico (FeCl_3) o Policloruro de Aluminio ($\text{Al}_2(\text{OH})_3\text{Cl}_3$) dependiendo de las condiciones de alcalinidad, dureza y pH del agua (CONAGUA, 2016).

Una vez desestabilizadas, las partículas pasan a una etapa de agitación más lenta, ya sea ésta producida hidráulica o mecánicamente, donde chocan entre sí y se aglomeran, formando cuerpos de mayor tamaño cuyo peso específico es superior al del agua llamadas flóculos.

Según OPS/CEPIS (2004), la floculación se produce por dos mecanismos de transporte:

- **Floculación pericinética**, o difusión Browniana debida a la energía térmica del fluido.
- **Floculación ortocinética**, o gradiente de velocidad, producida por la masa de agua en movimiento.

Cuando el proceso se dificulta, se recurre a la aplicación de sustancias ayudantes de floculación, generalmente polímeros o polielectrolitos.

2.2.3 PROCESO DE SEDIMENTACIÓN

Es el proceso de separación de las partículas sólidas que han sido transformadas en flóculos en el procedimiento anterior, para este fin se emplean unidades llamadas decantadores o sedimentadores cuya estructura permite disminuir la velocidad de la corriente y atrapar a los flóculos en el fondo por medio de la acción de la gravedad, corresponde a la primera etapa de la clarificación (CONAGUA, 2016).

Existen varios tipos de decantadores. Los tanques de sedimentación circulares hacen fluir la corriente desde el centro a través de un cilindro de difusión, el líquido clarificado escurre sobre un vertedero circundante. Los tanques rectangulares de hormigón son usados con mayor frecuencia, en ambos casos se busca que el flujo sea uniforme y se ralentice lo suficiente para que el agua cumpla el periodo de retención necesario para que las partículas puedan sedimentar. Al finalizar el proceso, los flóculos sedimentados son recolectados y expulsados en forma de lodo (Orellana, 2005).

2.2.4 PROCESO DE FILTRACIÓN

Es posible que el agua que atraviesa los sedimentadores y escurre por los vertederos aun presente material suspendido, esto debido a que algunas partículas no floclaron adecuadamente, existencia de cortocircuitos hidráulicos o tiempo de retención insuficiente etc., en respuesta a estos inconvenientes se diseñan unidades de filtración a continuación de la sedimentación. La filtración es el procedimiento en el cual se hace pasar a la corriente a través de un medio granular o poroso, logrando una adecuada disminución en la turbiedad, color, contenido de bacterias y ciertos problemas de olor y sabor (CONAGUA, 2016).

Existen varios tipos de sistemas de filtración, los cuales se resumen en la Tabla 2.2.

Tabla 2.2 Clasificación de filtros

Clasificación	Descripción del sistema
Por la fuerza que provoca el flujo a través del medio filtrante	De gravedad: flujo producido por la fuerza de gravedad y a cielo abierto A presión: flujo provocado por equipo de bombeo y en tanques metálicos cerrados
Por la velocidad o tasa de filtración	Lentos: tasas de filtración entre 0.08 y 0.3 m ³ /m ² h Rápidos: tasas de filtración de 2 a 15 m ³ /m ² h
Por el sentido del flujo	Flujo Ascendente Flujo descendente Flujo Horizontal Bi flujo: combinación de flujo ascendente y descendente dentro de un mismo lecho
Por el tipo de operación	De caudal constante: el caudal no varía durante toda la carrera de filtración, pero si varía el nivel del agua sobrenadante De caudal variable: carga constante
Por el material filtrante	Homogéneos o simples: un solo material filtrante Duales: dos capas de material, generalmente arena y antracita
Por la manera en que se retienen los sólidos en el medio filtrante	De filtración superficial: se lleva a cabo sobre un soporte delgado, sobre el cual se forma una capa de espesor creciente (torta) De filtración profunda: retención de sólidos en todo el espesor del medio filtrante (generalmente granular)

FUENTE: CONAGUA, 2016

ELABORACIÓN: Toapanta & Tualombo

2.2.5 PROCESO DE DESINFECCIÓN

Constituye el proceso final del tratamiento de agua, en el cual se busca la eliminación o la inactivación de microorganismos patógenos presentes, ya sean bacterias, protozoos, virus o helmintos, cuya ingesta puede causar epidemias de

enfermedades gastrointestinales como cólera, disentería, tifoidea, entre otras (Zerbato, 2012).

Un sistema eficiente de desinfección es aquel que elimina el mayor número y variedad de microorganismos existentes, sin provocar daños en el entorno ni alterar la calidad del agua o presentar toxicidad para el hombre o animales domésticos. A nivel mundial la cloración es el método predominante, aunque en países con mayor tecnología es común la desinfección con ozono, luz ultravioleta y la radiación gamma (CONAGUA, 2016).

La desinfección puede verse afectada por los siguientes factores:

- Tiempo de contacto entre el agente desinfectante y el agua
- Tipo y concentración del agente químico utilizado
- Intensidad y comportamiento del agente físico
- Temperatura del agua
- Tipo y cantidad del microorganismo presente
- Calidad del agua a ser desinfectada
- Condiciones de mezcla en la cámara de contacto

2.3 EVALUACIÓN DE PLANTAS DE TRATAMIENTO

La evaluación de una PTAP comprende un análisis a profundidad del estado y funcionamiento de ésta, tomando en cuenta el comportamiento hidráulico, el consumo de sustancias químicas en cada una de las unidades que la conforman, así como sus patrones de operación y mantenimiento. Como resultado de esta investigación se obtiene información sobre las condiciones reales de operación y las correcciones necesarias que deberán aplicarse para mejorar la eficiencia en los procesos, las cuales servirán como base para el planteamiento de proyectos de optimización o ampliación (CEPIS, 2005).

La metodología propuesta por OPS-CEPIS divide la evaluación en varias etapas, las cuales pueden agruparse de la siguiente manera para facilitar su entendimiento:

- Recorrido de familiarización y evaluación preliminar de la planta

- Determinación de las características hidráulicas en reactores
- Determinación de parámetros óptimos de funcionamiento en unidades de coagulación y floculación
- Análisis de eficiencia y condiciones de operación del sistema de filtración
- Evaluación de la etapa de desinfección

2.3.1 USO DE TRAZADORES PARA DETERMINAR LAS CARACTERÍSTICAS HIDRÁULICAS DE LOS REACTORES

Para evaluar el comportamiento hidráulico de una unidad, se recomienda la utilización de elementos trazadores, los cuales son sustancias sólidas o líquidas que al ser agregadas al agua permiten analizar el movimiento del flujo, sin causar alteraciones fisicoquímicas significativas en ésta (CEPIS, 2005).

A nivel de plantas de tratamiento, los ensayos de trazadores son usados principalmente para la determinación de los tiempos de retención reales, presencia de cortocircuitos hidráulicos y espacios muertos en unidades de mezcla rápida, coagulación, floculación y sedimentación; también permiten estudiar el comportamiento de los reactores en fase de diseño, logrando corregir deficiencias previo a la construcción (CEPIS, 2005).

2.3.2 DESCRIPCIÓN DEL ENSAYO CON TRAZADORES

El ensayo de trazadores consiste en aplicar al afluente del tanque o unidad a evaluarse una sustancia trazadora de concentración conocida y analizar en la salida de dicho reactor cómo esta sustancia se distribuye a través del tiempo (CEPIS, 2005).

Las sustancias trazadoras pueden ser:

- Colorantes o tintas fluorescentes como fluoresceína o rodamina
- Iones cloruro, especialmente de sodio o potasio
- Fluoruros o nitratos, especialmente de sodio
- Sustancias activadas o isótopos radioactivos
- Ácidos clorhídrico o benzoico

Un parámetro importante al momento de seleccionar la sustancia trazadora es verificar que esta no presente toxicidad ni bioacumulación en los seres vivos que consuman el agua evaluada, además no debe reaccionar con los compuestos presentes en la misma. Tomando en cuenta estas consideraciones, se selecciona la sustancia cuya concentración inicial en el agua cruda sea constante o muy baja (CEPIS, 2005).

La sustancia trazadora más comúnmente utilizada es el ion cloruro, obtenido tras la aplicación de sal común o sal de mesa en el agua, debido a su fácil obtención y manejo, así como su bajo costo en el mercado, además permite una sencilla determinación de su concentración a la salida del reactor a través de mediciones de conductividad (CEPIS, 2005).

2.3.2.1 PROCEDIMIENTO

Para iniciar el ensayo es necesario determinar el tiempo de permanencia de las partículas dentro del reactor o tiempo de retención hidráulico utilizando la fórmula 2.1. Este parámetro relaciona el volumen de la unidad a evaluarse y el caudal que se va a tratar (CEPIS, 2005).

$$t_o = \frac{V}{Q} \quad (2.1)$$

Donde:

To= Tiempo de retención teórico

V= Volumen de la unidad

Q= Caudal

La dosificación del trazador puede realizarse de dos formas:

- **Dosificación instantánea.** - Se aplica una concentración inicial de trazador en un tiempo muy corto, inferior al 1/30 de tiempo de retención en un punto que permita una mezcla instantánea de la sustancia con el flujo. La cantidad de trazador a usarse se determina mediante la fórmula 2.2 (CEPIS, 2005).

$$P = \frac{V \times K \times C_o}{I \times 10^3} \quad (2.2)$$

Donde:

P= Peso del trazador a aplicarse. (kg)

V= Volumen útil del reactor. (m³)

K= Constante de corrección. (1.65 para NaCl)

Co= Concentración del trazador. (mg/L o g/m³)

I= Grado de pureza del trazador. (Fracción)

- **Dosificación continúa.** – Se aplica una concentración de trazador durante un tiempo no menor a 3 veces el tiempo de retención y luego se interrumpe la dosificación. La cantidad de trazador a utilizarse se calcula por medio de la fórmula 2.3 (CEPIS, 2005).

$$P = \frac{Q \times K \times C_o}{I \times 10^3} \quad (2.3)$$

Donde:

P= Peso del trazador a aplicarse. (kg/h)

Q= Caudal de la unidad por evaluar. (m³/s)

K= Constante de corrección.

Co= Concentración del trazador. (mg/L o g/m³)

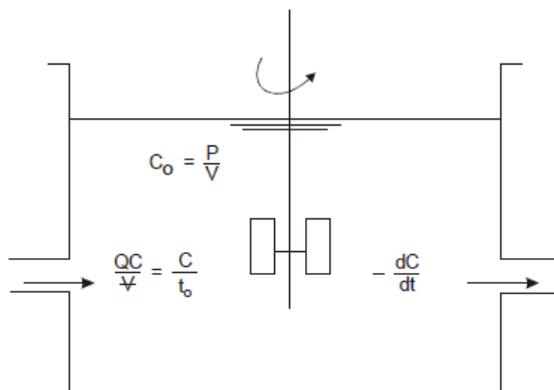
I= Grado de pureza del trazador. (Fracción)

2.3.2.2 MODELOS MATEMÁTICOS APLICADOS AL ENSAYO DE TRAZADORES

Si consideramos que el reactor a analizar tiene un volumen de agua (V), al cual se le aplicará una cantidad de trazador (P), misma que se disolverá y mezclará completamente en dicho volumen, la concentración de esta sustancia en el reactor será $C_o = P/V$. Si al mismo reactor, se le introduce un flujo con caudal Q en el tiempo (t=0) y se asume que toda el agua que entra se mezcla al instante con la que estaba presente, al medir la concentración del trazador a la salida del reactor se evidenciará que esta concentración (C) va disminuyendo progresivamente con el paso del tiempo (CEPIS, 2005).

De esta forma se tendrá una reacción de primer orden dentro del reactor, como se muestra en la Gráfica 2.1.

Gráfica 2.1 Reactor de flujo mezclado



FUENTE: CEPIS, 2005

Considerando lo que entra y lo que sale del tanque, se puede realizar un balance de masas; de esta forma, la cantidad que entra está dada por:

$$C_o = \frac{P}{V} = \frac{QC}{V} \quad (2.4)$$

Se tiene que la concentración inicial de trazador es:

$$C_o = \frac{C}{t_0} \quad (2.5)$$

La cantidad que sale es:

$$C = -\frac{dC}{dt} \quad (2.6)$$

Igualando las ecuaciones (2.5) y (2.6) e integrando se obtiene como resultado la ecuación (2.7):

$$\begin{aligned} \frac{C}{t_0} &= -\frac{dC}{dt} \\ \frac{dC}{C} &= -\frac{dt}{t_0} \\ \int_{C_o}^C \frac{dC}{C} &= -\int_0^1 \frac{dt}{t_0} \\ \int_{C_o}^C \frac{dC}{C} &= -\frac{1}{t_0} \int_0^1 dt \end{aligned}$$

$$\ln C - \ln C_0 = -\frac{t}{t_0}$$

$$\frac{C}{C_0} = e^{-\frac{t}{t_0}} \quad (2.7)$$

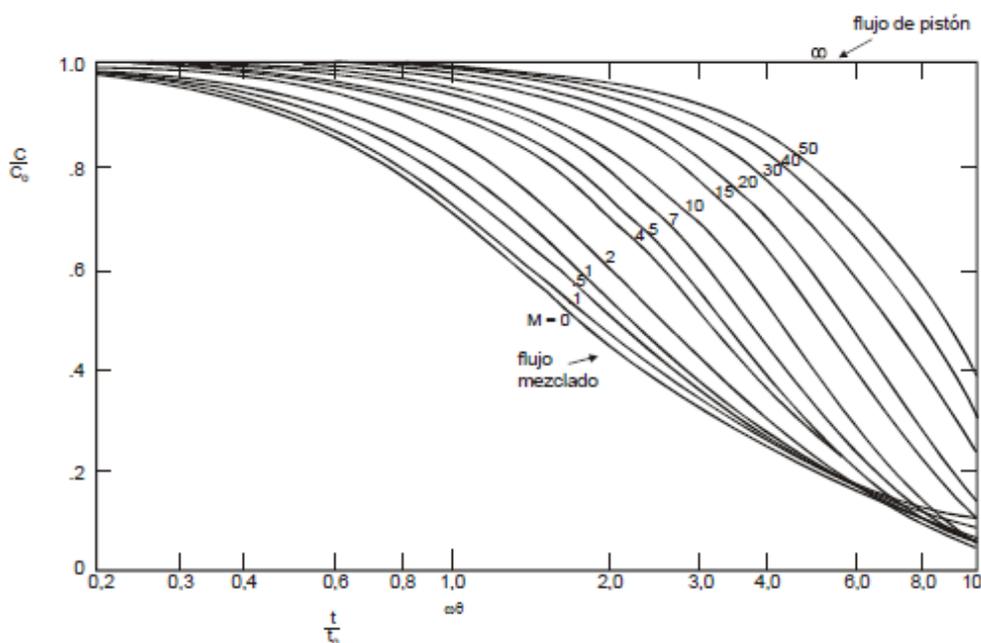
Donde:

C= Concentración que permanece en el reactor al tiempo t

C₀= Concentración aplicada al tiempo t=0

Si aplicamos valores a $\frac{t}{t_0}$ en la ecuación (2.7) obtendremos diferentes resultados de $\frac{C}{C_0}$, lo que permite construir curvas del comportamiento del flujo con el trazador en función del paso del tiempo. La Gráfica 2.2 ilustra dichas curvas; podemos observar que el valor más alto de $\frac{C}{C_0}$ se obtiene cuando $\frac{t}{t_0} = 0$, lo que explica el descenso de la concentración con el paso del tiempo. Se obtiene una curva M=0 para flujo mezclado y M=∞ para flujo pistón (CEPIS, 2005).

Gráfica 2.2 Variación de la concentración vs. Tiempo de retención



FUENTE: CEPIS, 2005

Para el caso de trabajar con dos reactores idénticos, con tiempo de retención ($t_0/2$) se tiene:

$$\frac{C}{C_0} = -\left(\frac{dC_1}{dt}\right)\left(\frac{dC_2}{dt}\right)$$

Donde:

C= Concentración que sale del primer reactor e ingresa al segundo

C₁= Concentración inicial del segundo reactor, el cual a su salida presentará una concentración C₂.

Entonces, si consideramos un número (n) de reactores similares, trabajando en serie con un tiempo de retención (t₀/n), se obtiene la ecuación (2.8):

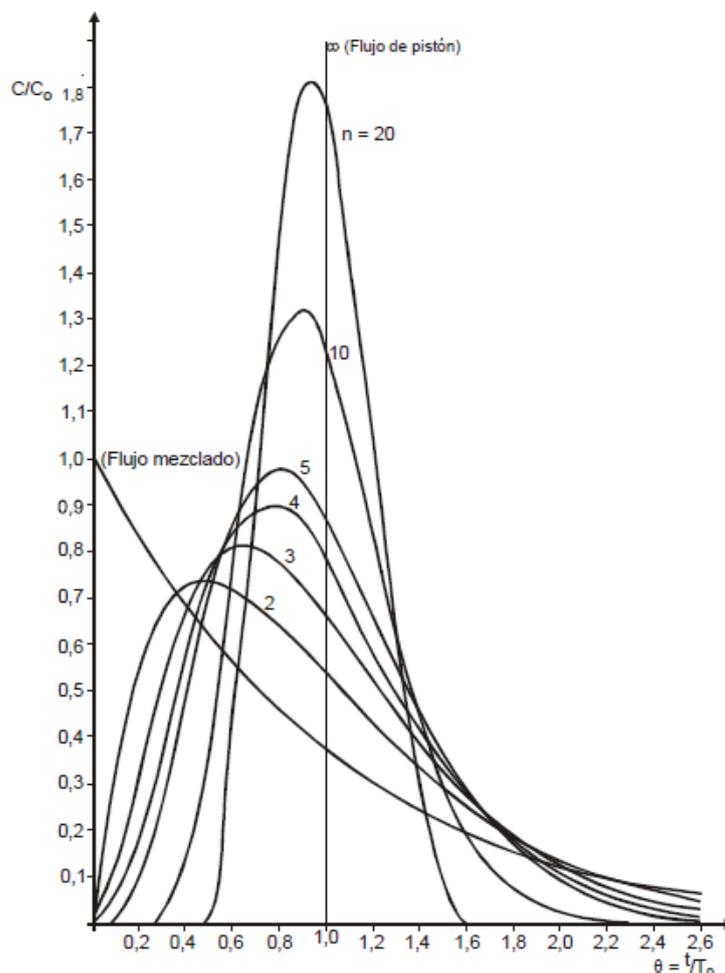
$$\frac{C}{C_0} = \frac{n (nT)^{n-1}}{(n-1)!} e^{-nT} \quad (2.8)$$

Donde:

$$T = \frac{t}{t_0}$$

Graficando esta fórmula para diferentes valores de n, obtenemos una familia de curvas representadas en la Gráfica 2.3, las cuales para n=1 obtenemos la ecuación (2.7), mientras que para n=∞ y $\frac{C}{C_0} = \infty$ se obtiene la ecuación de una línea recta vertical que pasa por $\frac{t}{t_0} = 1$. Esto significa que, para este tiempo, si se tuviera una sucesión infinita de reactores en serie, todo el trazador que ha sido agregado saldría al instante, y nada saldría antes del tiempo $\frac{t}{t_0} = 1$. A esta condición de la conoce como Flujo de pistón, misma que puede ser definida como un régimen al cual las láminas de trazador que ingresan al reactor se desplazan paralelas entre sí y perpendiculares al sentido del flujo, es decir, sin mezclarse. (CEPIS, 2005).

Gráfica 2.3 Reactores en serie



FUENTE: CEPIS, 2005

Por el contrario, un flujo mezclado corresponde a aquel cuya composición del efluente es idéntica a la presente dentro del reactor a cualquier instante. A pesar de esto, tanto flujo pistón como flujo mezclado son condiciones ideales extremas que se presentan muy rara vez en plantas de tratamiento, por lo general se puede encontrar ambos tipos de flujo coexistiendo debido a que el número de reactores es limitado, además puede existir mezcla de flujo entre las distintas cámaras, por lo que una parte de este sale antes que t_0 y otra después que t_0 (CEPIS, 2005).

En reactores no ideales, puede ocurrir que parte del volumen que ingresa al tanque lo atraviesa con tal rapidez que no cumple con el tiempo de retención establecido y, por ende, no recibe el tratamiento adecuado. Este fenómeno es conocido como cortocircuito hidráulico y se lo define como aquella porción de flujo con velocidad

infinita y tiempo de retención cero. Puede presentarse por fallas en el diseño de las estructuras de entrada o salida, corrientes térmicas o variaciones de concentración en floculadores hidráulicos, o por efecto de la rotación de las paletas en floculadores mecánicos (CEPIS, 2005).

2.3.2.3 MODELO SIMPLIFICADO DE LA TEORÍA DE WOLF-RESNICK

Cuando no existen espacios muertos, la suma de la fracción de flujo pistón (p) y la fracción de flujo no pistón ($1-p$) debe ser igual a la unidad:

$$\begin{aligned} \text{Flujo pistón} + \text{flujo no pistón} &= 1 \\ (p) + (1 - p) &= 1 \quad (2.9) \end{aligned}$$

Cuando en el reactor existen espacios muertos (m), la fracción que no tiene estos espacios será igual a $(1-m)$, por lo tanto:

$$[p(1 - m)] + [(1 - p)(1 - m)] + m = 1 \quad (2.10)$$

Previamente definimos a la ecuación (2.7) como la expresión de flujo completamente mezclado:

$$\frac{C}{C_o} = e^{-\frac{t}{t_o}}$$

Tomando en cuenta la combinación de flujos pistón y mezclado dentro del reactor, la ecuación (2.7) se transforma en la siguiente expresión:

$$\frac{C}{C_o} = e^{-\frac{t-pt_o}{(1-p)t_o}} \quad (2.11)$$

Donde:

Pt_o = Tiempo de retención de flujo pistón

$(1-p)$ = Volumen de mezcla perfecta

Reordenando y simplificando la ecuación (2.11) se obtiene:

$$\frac{C}{C_o} = e^{-\frac{1}{(1-p)} \left[\frac{t}{t_o} - p \right]} \quad (2.12)$$

Si consideramos que el sistema tiene espacios muertos, se añade a la expresión anterior el término $(1-m)$, con lo que se toma en cuenta la fracción de flujo con mezcla perfecta, obteniéndose la ecuación (2.13):

$$\frac{C}{C_o} = e^{-\frac{1}{(1-p)(1-m)} \left[\frac{t}{t_o} - p(1-m) \right]} \quad (2.13)$$

Por otro lado, tenemos que la fracción de trazador que ha salido del reactor está dada por:

$$F(t) = 1 - \frac{C}{C_o} \quad (2.14)$$

Reemplazando el valor de C/C_o en la ecuación (2.13), se obtiene:

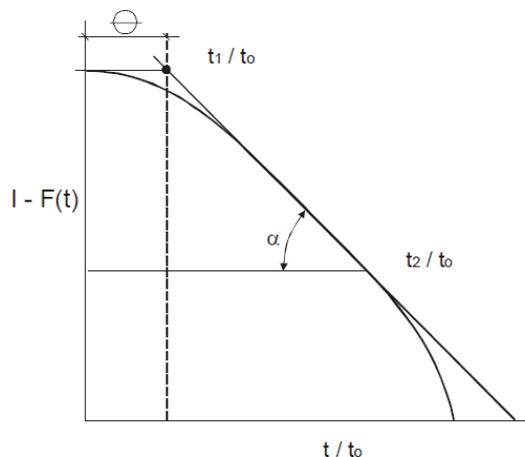
$$1 - F(t) = e^{-\frac{1}{(1-p)(1-m)} \left[\frac{t}{t_o} - p(1-m) \right]} \quad (2.15)$$

Aplicando logaritmos en ambos lados de la ecuación anterior, se obtiene:

$$\log[1 - F(t)] = -\frac{\log e}{(1-p)(1-m)} \left[\frac{t}{t_o} - p(1-m) \right] \quad (2.16)$$

Lo cual corresponde a la ecuación de la línea recta representada en la Gráfica 2.4.

Gráfica 2.4 Cantidad de trazador que permanece en el reactor



FUENTE: CEPIS, 2005

La pendiente de la línea recta está dada por:

$$\tan \alpha = \frac{\log e}{(1-p)(1-m)} \quad (2.17)$$

Multiplicando y dividiendo para p , y sustituyendo el valor de $\log e$ por 0.435 se obtiene:

$$\tan \alpha = \frac{0.435p}{p(1-p)(1-m)} \quad (2.18)$$

De lo cual, podemos obtener el valor de θ :

$$\theta = p(1 - m) \quad (2.19)$$

Reemplazando este valor en la ecuación (2.18), y reordenando términos se obtiene:

$$p = \frac{\theta \tan \alpha}{0.435 + \theta \tan \alpha} \quad (2.20)$$

A partir de la ecuación (2.19) se obtiene el valor de la fracción de espacios muertos:

$$m = 1 - \frac{\theta}{p} \quad (2.21)$$

Y la fracción de flujo mezclado será:

$$M = 1 - p \quad (2.22)$$

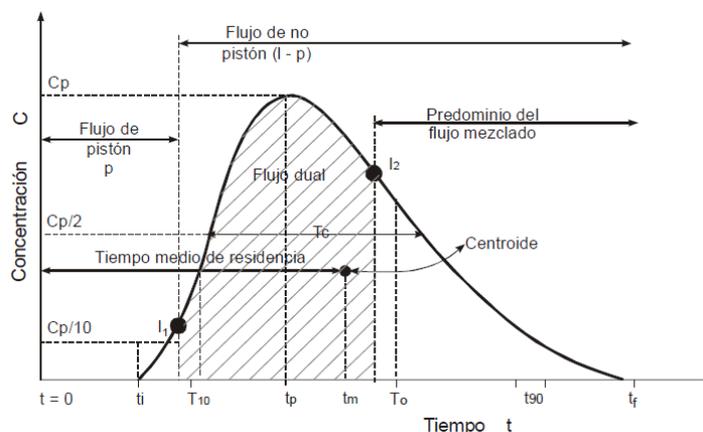
Los valores de θ y $\tan \alpha$ se pueden apreciar al trazar la curva correspondiente a la Gráfica 2.4. De donde:

$$\theta = \frac{t_1}{t_o} \quad (2.23)$$

$$\tan \alpha = \frac{1}{\frac{t_1}{t_o} - \frac{t_2}{t_o}} \quad (2.24)$$

Al aplicar una sustancia trazadora a un reactor y analizar las muestras obtenidas a la salida, se puede observar como la concentración aumenta hasta alcanzar un valor máximo, y después va disminuyendo progresivamente conforme pasa el tiempo, originando una curva similar a la presentada en la Gráfica 2.5.

Gráfica 2.5 Concentración de trazador en el efluente de un reactor



FUENTE: CEPIS, 2005

De la Gráfica anterior se pueden obtener los siguientes parámetros:

t_i = Tiempo inicial desde la aplicación del trazador hasta que aparece en el efluente.

t_{10} = Tiempo al cual ha pasado el 10% de la cantidad de trazador.

t_p = Tiempo al cual se presenta la máxima concentración, también llamado tiempo modal.

t_m = Tiempo mediano, correspondiente al paso del 50% del trazador.

t_o = Tiempo teórico de retención.

t_{90} = Tiempo al cual ha pasado el 90% de la cantidad de trazador.

t_f = Tiempo transcurrido hasta que el trazador atraviesa totalmente al reactor.

C_o = Concentración inicial.

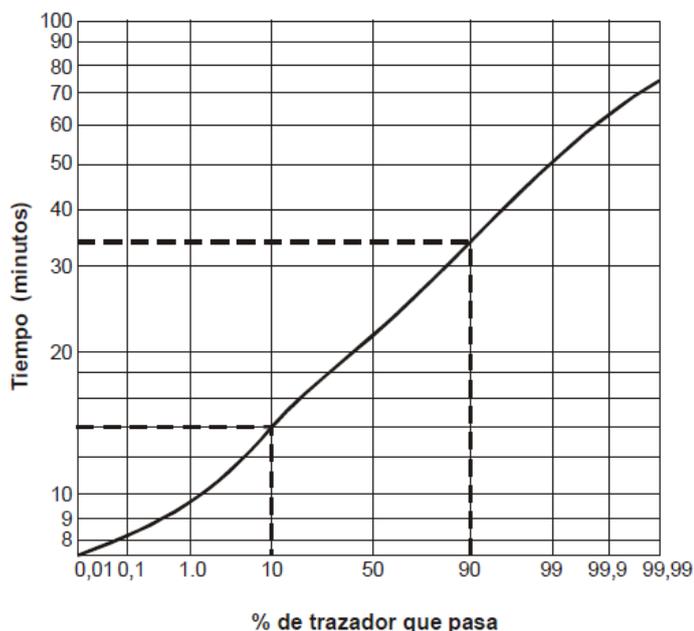
C_p = Concentración máxima a la salida.

Para analizar los resultados obtenidos se utilizan los siguientes criterios:

- $\frac{t_i}{t_o}$; esta relación indica la presencia de cortocircuitos grandes, es igual a 1 para flujo pistón y 0 para flujo mezclado. Si su valor es menor a 0.3 indica la existencia de paso directo del trazador hacia la salida (cortocircuito hidráulico).
- $\frac{t_m}{t_o}$; si esta relación es menor a 1, indica la presencia de cortocircuitos; si es mayor, advierte de la presencia de espacios muertos, donde el trazador se queda retenido y se libera lentamente, haciendo que la rama descendiente de la curva se alargue.
- $\frac{t_p}{t_o}$; indica la relación entre flujo pistón y flujo mezclado. Es igual a 1 para flujo pistón y 0 para flujo mezclado. Cuando la relación se aproxima a 1, y además t_i/t_o es mayor a 0.5, se tiene predominio de flujo pistón, y si se aproxima a cero, entonces predomina el flujo mezclado.

- $\frac{t_c}{t_o}$; se relaciona con la difusión producida por corrientes de inercia (turbulencia), se aproxima a 0.7 para flujo mezclado.
- $\frac{t_b}{t_o}$; indica las características de inercia turbulentas y de recirculación grande. Se encuentra en el orden de 2.3 para flujo mezclado ideal.
- $e = \frac{(t_f - t_p) - (t_p - t_i)}{t_o}$; indica la excentricidad de la curva, la misma que está en función de la recirculación. Es igual a cero para flujo pistón y mayor a 2.3 para flujo mezclado ideal.
- **Índice de Morrill.** – Si los datos de la cantidad de trazador que pasa por el reactor se expresan en porcentajes y se grafican, colocando el eje de las abscisas en escala de probabilidades y el eje de las ordenadas en escala logarítmica, para tiempos diferentes se obtendrá una línea recta, como se muestra en la Gráfica 2.6 (CEPIS, 2005).

Gráfica 2.6 % de trazador que pasa vs. Tiempo (Índice de Morrill)



FUENTE: CEPIS, 2005

Como puede apreciarse en la Gráfica 2.6, el segmento comprendido entre el 10% y el 90% es el más regular, presentando una forma recta. La relación entre estos

dos puntos, calculada mediante la ecuación (2.25) puede tomarse como un índice de dispersión (CEPIS, 2005).

$$\text{Índice de Morrill} = \frac{t_{90}}{t_{10}} \quad (2.25)$$

La forma de la curva obtenida proporciona una primera aproximación al comportamiento del flujo dentro del reactor. Como se muestra en la Gráfica 2.5, el flujo pistón puro se obtiene desde el inicio de la prueba hasta el primer punto de inflexión I_1 de la curva en su rama ascendente, cuando ésta cambia de cóncava a convexa. A partir de ese punto se considera un flujo de no pistón hasta el segundo punto de inflexión I_2 en la rama descendente, desde aquí hasta el final de la prueba el régimen del flujo será predominantemente mezclado (CEPIS, 2005).

2.3.2.4 LIMITACIONES DE LA PRUEBA DE TRAZADORES

Los datos recolectados tras una prueba de trazadores revelan el comportamiento hidráulico de las partículas solamente en el instante en que se realizó la prueba, no necesariamente indican el funcionamiento del reactor en todas las condiciones. Por otra parte, la eficiencia de los procesos de floculación y sedimentación dependen no solo de las condiciones hidráulicas del reactor sino también de factores químicos. Además, este tipo de análisis se orienta hacia la estimación del tiempo de permanencia de las partículas dentro de un reactor, pero no es apto para determinar su trayectoria (CEPIS, 2005).

Según CEPIS (2005), para obtener resultados significativos, es necesario considerar lo siguiente:

- Durante el ensayo, el flujo debe ser constante.
- El flujo que ingresa a una unidad no debe mezclarse con el de otras unidades.
- El lodo presente dentro del reactor debe ser previamente limpiado, para evitar interferencias especialmente en la comparación de los balances de masa obtenidos.
- Antes de la prueba se recomienda estabilizar el reactor dosificando pequeñas dosis del trazador durante un tiempo similar al del ensayo para evitar interferencias.

- Se debe evitar la aplicación de altas concentraciones de trazador, ya que se puede incurrir en datos erróneos producto de la formación de corrientes cinéticas por variaciones de densidad. Es preferible el uso de concentraciones bajas o la aplicación mediante dosificación continua.
- El trazador debe aplicarse completamente disuelto en agua, al aplicar una cierta cantidad sólida se prolonga el tiempo en que este sale de la unidad, pero no se debe a la presencia de espacios muertos sino a que el trazador tarda más tiempo en disolverse e incorporarse al flujo para poder salir.
- La toma de muestras en la salida del reactor debe extenderse hasta obtener al menos tres mediciones consecutivas cuyo valor sea similar a la concentración inicial.
- La toma de muestras no debe ser superficial, en unidades donde el flujo sale por secciones profundas las muestras deben tomarse en mayor profundidad.
- Para realizar una prueba de trazadores se recomienda iniciar desde las unidades finales, es decir desde aguas abajo hacia arriba, de esta forma se evita que en la unidad a evaluar exista presencia del trazador utilizado en una prueba anterior.

2.3.3 PRUEBAS DE TRATABILIDAD

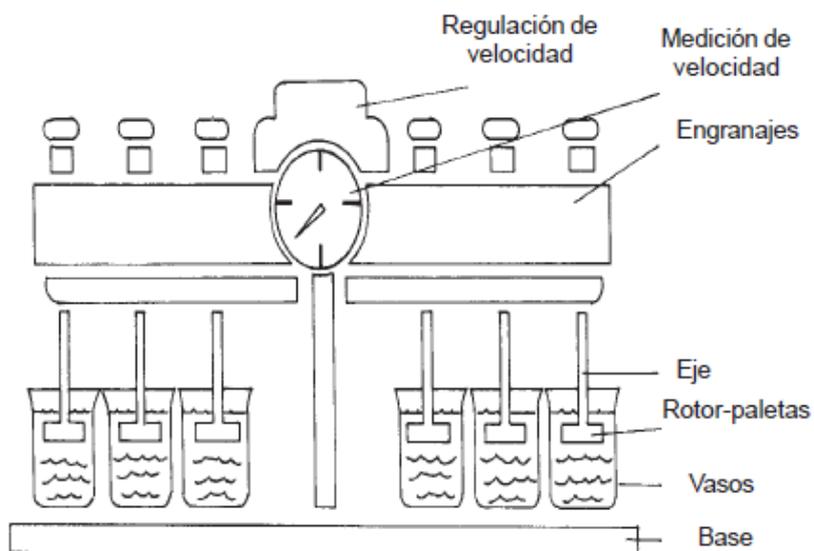
El diseño de una planta de potabilización se encuentra estrechamente ligado a las características del agua que va a ser tratada, la utilización de diversas alternativas de tratamiento busca disminuir o controlar la presencia de ciertos parámetros, como turbiedad, color, microorganismos, coliformes y algas, entre los más comunes.

2.3.3.1 PRUEBA DE JARRAS

Los procesos destinados a la remoción de partículas suspendidas insolubles y coloides son simulados a escala de laboratorio con el fin de definir las condiciones más adecuadas de funcionamiento que produzcan la mayor eficiencia en la eliminación de éstas. Las investigaciones han establecido una serie de ensayos y procedimientos que permiten determinar las condiciones óptimas de velocidad, dosificación de sustancias químicas coagulantes, tiempos de mezcla y

sedimentación a las cuales se obtiene la máxima eficiencia posible en remoción de estas partículas. Para estos ensayos es común la utilización del equipo de prueba de jarras propuesto por J. W. Fuller, J. Cairol y E. Theirault (1918), la Gráfica 2.7 muestra la composición del equipo (CEPIS, 2004).

Gráfica 2.7 Equipo de prueba de jarras



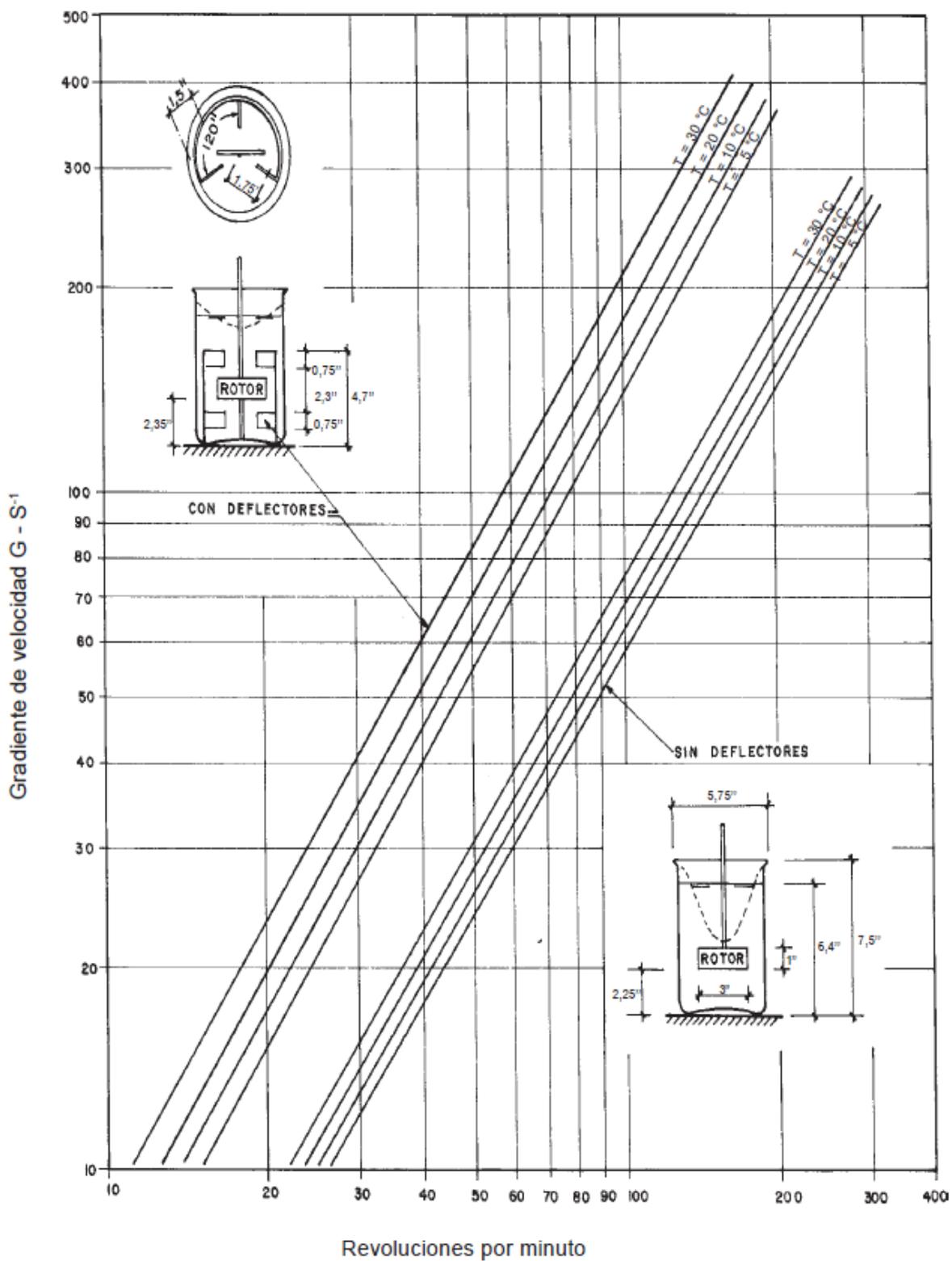
FUENTE: CEPIS, 2004

El equipo está compuesto por 6 paletas metálicas ajustables a un sistema de velocidad variable, normalmente entre 0 y 300 RPM, las cuales se utilizan para agitar el agua contenida en jarras de 2 litros fabricadas en cristal refractario, además la base del agitador cuenta con un iluminador que permite una mejor visualización del flóculo en formación (CEPIS, 2004).

A nivel de laboratorio el equipo más utilizado es el fabricado por Phipps & Bird, mismo que proporciona los ábacos necesarios para realizar la transformación de gradientes de velocidad a rapidez de rotación de las paletas (CEPIS, 2004).

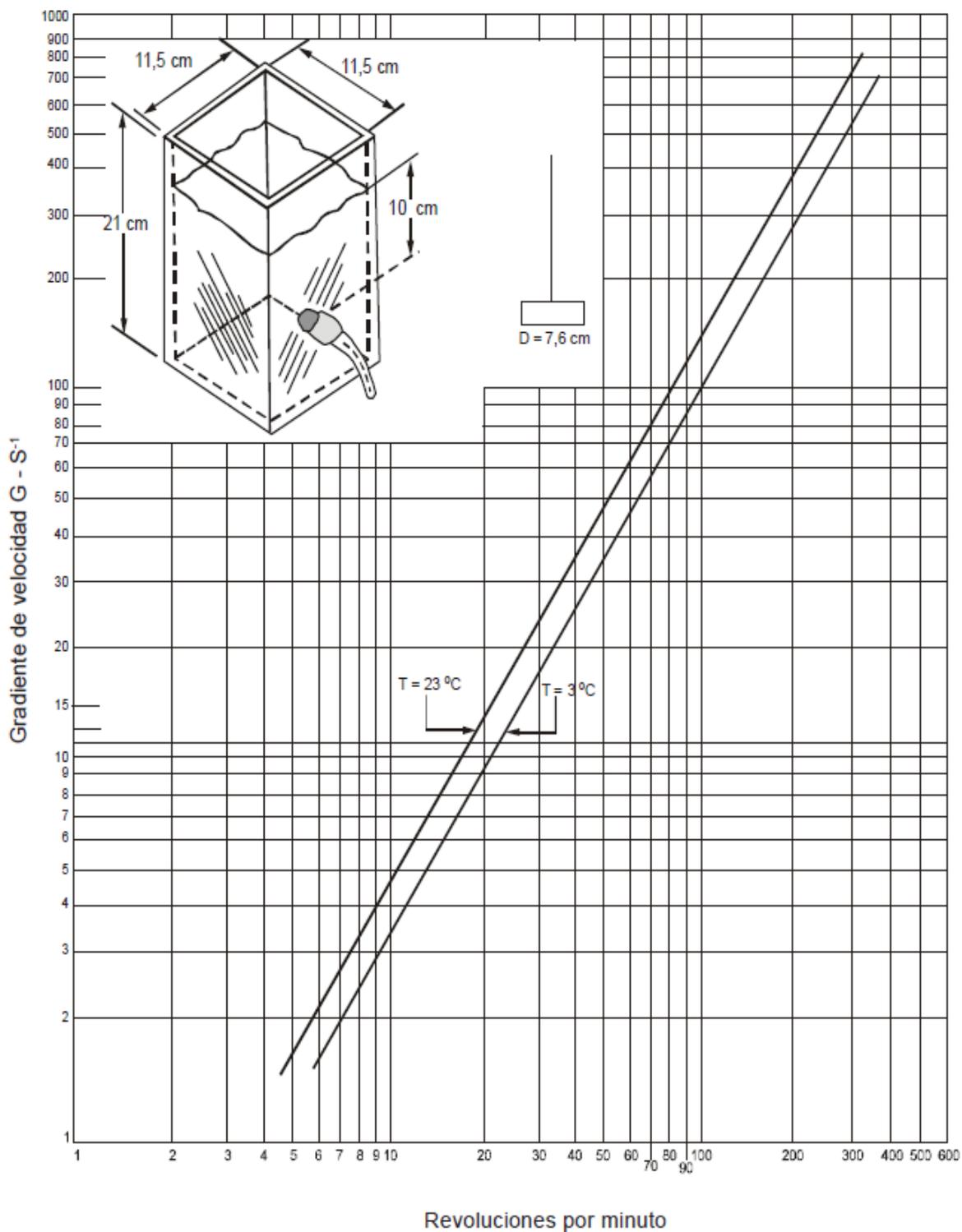
Las Gráficas 2.8 y 2.9 muestran los ábacos de transformación de gradiente de velocidad a RPM, en función del tipo de vaso a utilizarse, ya sean estos vasos circulares o rectangulares, con o sin deflectores laterales.

Gráfica 2.8 Ábaco de transformación, jarras circulares



FUENTE: CEPIS, 2004

Gráfica 2.9 Ábaco de transformación, jarras rectangulares



FUENTE: CEPIS, 2004

2.3.3.2 LIMITACIONES DE LA PRUEBA DE JARRAS

El ensayo de jarras trata de simular las condiciones reales del agua de las unidades en planta de floculación y sedimentación, sin embargo no es una reproducción muy aproximada de estos procesos, debido a que en laboratorio se utilizan volúmenes pequeños (1 o 2 litros) en comparación con el gran volumen tratado en los floculadores; por otra parte, en los reactores existe flujo, por lo que una parte del agua no va a recibir el mismo tratamiento debido a que abandona la unidad casi de inmediato, mientras que un pequeño porcentaje permanece retenido mucho más tiempo, en cambio en el equipo de jarras el agua se retiene durante todo el tiempo que dura el ensayo. La dosificación de sustancias químicas, la mezcla y distribución de éstas a través de toda la masa de agua en agitación, también son parámetros que pueden ser controlados de mejor manera en la prueba de laboratorio (CEPIS, 2004).

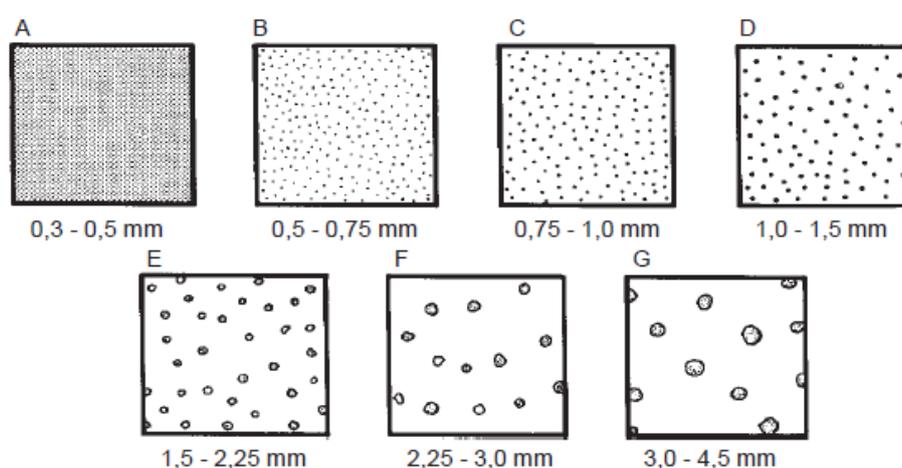
2.3.3.3 CONSIDERACIONES GENERALES PARA LA PRUEBA DE JARRAS

En ensayo experimental permite controlar ciertos parámetros, los cuales pueden ser variados a criterio del investigador con el fin de determinar la mayor eficiencia en el proceso de floculación y sedimentación, entre los cuales se mencionan los más importantes:

- **Soluciones químicas empleadas.** - generalmente los coagulantes utilizados en potabilización son el $Al_2(SO_4)_3$, $Fe_2(SO_4)_3$ o $FeCl_3$. Las soluciones se preparan a partir de 100 g de coagulante, aforados a un volumen de 1000 mL, obteniendo una solución madre al 10%. Para el ensayo de jarras se diluyen 10 mL de esta solución en agua destilada hasta obtener 100 mL, resultando una solución al 1%, misma que no puede ser conservada por más de 24 horas ya que puede hidrolizarse. Es muy importante que las soluciones sean preparadas a partir de los mismos coagulantes que se utilizan en planta y no con reactivos purificados para laboratorio (CEPIS, 2004).

- **Tamaño del floculo producido.** – durante el ensayo de jarras, el observador puede evaluar las características del floculo formado y expresar su tamaño en mm mediante el comparador desarrollado por el Water Research Institute de Inglaterra, presentado en la Gráfica 2.10 o según el índice de Willcomb presentado en la Tabla 2.3. Es importante señalar que no siempre el floculo de mejor tamaño produce una mejor clarificación del agua tratada (CEPIS, 2004).

Gráfica 2.10 Estimador del tamaño de floculo (según WRI)



FUENTE: CEPIS, 2004

Tabla 2.3 Índice de Willcomb

Índice	Descripción
0	Flóculo coloidal, sin signos de aglutinación.
2	Visible, pero muy pequeño. Casi imperceptible para un observador no entrenado.
4	Disperso, bien formado, pero uniformemente distribuido. Sedimenta muy lento o no sedimenta.
6	Claro, relativamente grande, pero precipita con lentitud.
8	Bueno, se deposita fácil pero no completamente.
10	Excelente, se deposita completamente dejando el agua cristalina.

FUENTE: CEPIS, 2004

Según CEPIS (2004), los principales ensayos que deben realizarse en el equipo de prueba de jarras son:

- **Selección del coagulante.** – mediante la utilización de distintas sustancias coagulantes disponibles a nivel comercial se realiza una evaluación de estas para obtener cuál de ellas produce una mayor eficiencia remocional al más bajo costo, en función de la calidad del agua cruda.
- **Dosis óptima.** - determinación de la dosis de coagulante con la que se obtiene la formación de un flóculo de buen tamaño, de rápida formación y buena sedimentación.
- **Concentración óptima.** - distintos valores de concentración de coagulante influyen en la eficiencia de la mezcla rápida, alterando los resultados del proceso de coagulación.
- **pH óptimo de coagulación.** - distintos valores de pH provocan cambios en la formación de flóculos, aumentando o disminuyendo la eficiencia del coagulante seleccionado.
- **Selección de ayudantes de coagulación.** - la utilización de polielectrolitos, polímeros naturales o sintéticos se encuentran en función del tipo de agua a ser tratada, ya que pueden incrementar la eficiencia en la clarificación, pero muchos de estos son tóxicos o no son aptos para ser usados en potabilización.
- **Parámetros de floculación.** - determinación de gradientes de velocidad y tiempos de retención en función de las dosis óptimas determinadas.
- **Parámetros de sedimentación.** - ensayo dirigido a determinar las condiciones óptimas de diseño de decantadores como tasas de sedimentación, tiempo y velocidad.

2.4 MICROBIOLOGÍA DEL AGUA DE CONSUMO

Los microorganismos son entes cuyo tamaño es microscópico y comprenden virus, bacterias, hongos y protozoos (RENALOA, 2014). El control de la cantidad y tipo de microorganismo presente en alimentos y agua de consumo es primordial debido a la gran variedad de enfermedades que provocan, siendo de interés primordial las que se transmiten por vía fecal – oral, para ello se utiliza a los coliformes como indicadores de la calidad de higiene en la manipulación y producción y de contaminación de origen fecal en alimentos y agua de consumo.

El grupo de bacterias coliformes para casos de estudios se consideran dos subgrupos que son totales y fecales y en su mayoría están asociadas al tracto intestinal humano y animal.

Los coliformes totales no siempre están ligadas a contaminación fecal puesto que se pueden encontrar en el suelo, a este grupo corresponden los bacilos Gram – positivos no esporulados, sean estos aerobios o anaerobios facultativos.

El grupo de coliformes fecales se compone por bacterias Gram – negativas con la capacidad de fermentar la lactosa y producir gas cuando se llevan a incubar a una temperatura de $44,5 \pm 0,1$ °C, durante 48 h. La especie más representativa de este grupo es la *Escherichia coli*.

La *E. coli* es uno de los microorganismos de mayor importancia dentro del control de calidad microbiológica del agua de consumo ya que forma la mayor parte de la flora intestinal humana y se elimina a través de las heces al ambiente, en donde pueden vivir por un corto período de tiempo y evidencian una contaminación fecal reciente ya sea de agua o alimentos; la presencia y posterior consumo de estas bacterias lleva consigo problemas estomacales como diarrea (IDEAM, 2007).

2.5 CLORACIÓN COMO MÉTODO DE DESINFECCIÓN

La cloración es uno de los métodos mayormente utilizados a nivel mundial para control microbiológico tanto en sistemas de agua potable como en tratamiento de descargas residuales, dado que es un método de desinfección económico y de fácil empleo, pese a que requiere múltiples precauciones para su manejo (CONAGUA, 2016).

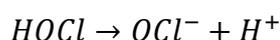
2.5.1 MECANISMO DE ACCIÓN

Los compuestos del cloro utilizados en la desinfección intercambian átomos generalmente con el hidrógeno contenido en enzimas propias de bacterias y virus. Una vez que uno o más átomos son sustituidos por cloro, las uniones moleculares se rompen, lo que ocasiona que la molécula se transforme o se destruya. Si la enzima no funciona correctamente ocasiona la muerte de la célula bacteriana (Ibarguen & Bernal, 2008).

Normalmente suele utilizarse como gas a partir de la vaporización de cloro líquido contenido en cilindros, aunque puede ser dosificado en estado líquido como hipoclorito de sodio (NaOCl) y en forma sólida como hipoclorito de calcio (Ca(OCl)₂). En su forma elemental o en estado gaseoso, el cloro reacciona con el agua de la siguiente manera:



El ácido hipocloroso se ioniza, formando el ion hipoclorito:



Tanto el HOCl como el ion hipoclorito (OCl⁻) presentes en el agua constituyen las especies denominadas como cloro libre residual, su acción desinfectante como HOCl o como OCl⁻ se encuentra en función del pH (Ibarguen & Bernal, 2008).

2.5.2 REACCIONES CON COMPUESTOS DISUELTOS EN EL AGUA

El cloro reacciona de diferentes maneras dependiendo las especies químicas presentes en el agua a tratarse, la Tabla 2.4 presenta las reacciones más comunes del cloro con varios compuestos presentes en el agua de consumo.

Tabla 2.4 Reacciones del cloro con compuestos disueltos en el agua

Compuesto	Especie producida	Efectos en el agua
Sulfuros	Oxidación de S ⁻ a SO ₄ ⁻	Disminución del pH
Hierro y Manganeseo	Oxidación a Fe ⁺³ y Mn ⁺⁴	Precipitación en forma de Fe(OH) ₃ y MnO ₂ (a pH elevado)
Amoniaco (NH ₄)	Formación sucesiva de cloraminas	Formación de mono cloramina con alto poder desinfectante
Nitrógeno orgánico	Aminas orgánicas cloradas	Incremento de la demanda de cloro
Fenoles	Formación de clorofenoles	Generación de olores

Tabla 2.4 Reacciones del cloro con compuestos disueltos en el agua (Continuación)

Compuesto	Especie producida	Efectos en el agua
Sustancias húmicas	Formación de trihalometanos	Riesgo potencial de cáncer en humanos
Ácidos haloacéticos	Formación de ácidos cloracéticos	Efectos adversos sobre el sistema nervioso y el hígado

FUENTE: Ibarguen & Bernal, 2008

2.6 NORMA TÉCNICA ECUATORIANA DE CALIDAD DE AGUA POTABLE INEN 1108

2.6.1 OBJETIVO

La norma tiene por objetivo establecer los requisitos de calidad que debe cumplir el agua potable destinada para el consumo de la población (NTE INEN 1108, 2014).

2.6.2 CAMPO DE APLICACIÓN

Esta norma es aplicable a todos los sistemas nacionales de abastecimiento de agua potable, ya sean públicos, privados, a través de redes de distribución o tanqueros, mismos que deberán acogerse al Reglamento de BPM emitidas por el Ministerio de Salud Pública (NTE INEN 1108, 2014).

2.6.3 REQUISITOS DE CALIDAD

La Tabla 2.5 muestra los principales requisitos de calidad que debe cumplir el agua potable.

Tabla 2.5 Requisitos de calidad

Parámetro	Unidad	Límite máximo permitido
Color	Unidades de color aparente (Pt-Co)	15
Turbiedad	NTU	5
Cloro libre residual (Cl ⁻)	mg/L	0,3 a 1,5 luego de un tiempo mínimo de contacto de 30 min.
Fluoruros (F ⁻)	mg/L	1,5

Tabla 2.5 Requisitos de calidad (Continuación)

Parámetro	Unidad	Límite máximo permitido
Nitratos (NO ₃ ⁻)	mg/L	50
Nitritos (NO ₂ ⁻)	mg/L	3
Coliformes fecales	NMP/100mL	<1.1

FUENTE: NTE-INEN 1108, 2014

CAPÍTULO 3

METODOLOGÍA

3.1 EVALUACIÓN PRELIMINAR DE LAS UNIDADES DEL PROCESO

El manual III del CEPIS (2005) recomienda que previo a iniciar la evaluación de una planta de potabilización es necesario realizar una inspección preliminar con el fin de cumplir los siguientes objetivos:

- Familiarizarse con el sistema a evaluar e identificar los problemas y deficiencias más evidentes.
- Establecer la capacidad potencial de la planta y determinar las causas que limitan su capacidad de producción.
- Levantar un diagnóstico preliminar del estado de las unidades de proceso, lo cual permite una mejor orientación en la determinación de los recursos necesarios para la posterior evaluación de los puntos encontrados en estado crítico.

La evaluación preliminar de la PTAPET se llevó a cabo siguiendo el procedimiento descrito a continuación.

3.1.1 RECOPIACIÓN DE INFORMACIÓN EN EL SITIO

La información disponible que se recopiló durante esta etapa fue la siguiente:

- Archivos de control de operación de la planta del año 2017.
- Planos de diseño de la PTAET.
- Esquemas de flujo de la PTAET.

La información recopilada se puede apreciar en los Anexos 3 y 4.

3.1.2 RECORRIDO POR LA PLANTA

El martes 17 de abril de 2018 se inició el recorrido por las instalaciones de la PTAET, comenzando por el reservorio de agua cruda, unidades de dosificación de sustancias químicas y unidades de proceso, finalizando en los tanques de

distribución y ecualizador de lodos. Durante el recorrido se determinaron las dimensiones reales de las unidades de floculación, sedimentación y filtración, procedimiento que puede ser observado en las fotografías del Anexo 2. Adicionalmente, se procedió con el llenado de la ficha de evaluación preliminar siguiendo el formato recomendado por CEPIS, mismo que se encuentra en el Anexo 1.

3.1.3 RECOPIACIÓN DE DATOS DE CONTROL DE LA PTAET

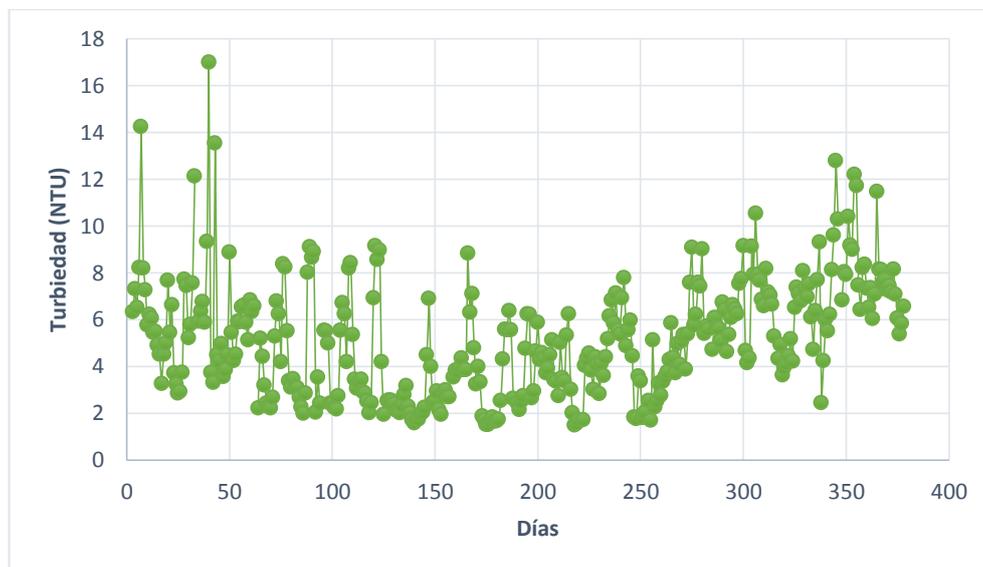
El Manual III de CEPIS (2005) recomienda la recopilación de datos históricos de al menos un año de antigüedad, para la construcción de gráficos de comportamiento de la turbiedad durante este periodo, mismos que permitan identificar valores máximos, mínimos, promedios mensuales y situaciones atípicas y relacionarlos con su época de ocurrencia.

Después de realizar el análisis estadístico de los datos diarios registrados, mismos que se pueden observar en el Anexo 3, se elaboró la Tabla 3.1 con los valores promedios mensuales de turbiedad para agua cruda, sedimentada y tratada. Adicionalmente, las Gráficas 3.1, 3.2 y 3.3, muestran el comportamiento diario de la turbiedad durante el mismo periodo de análisis.

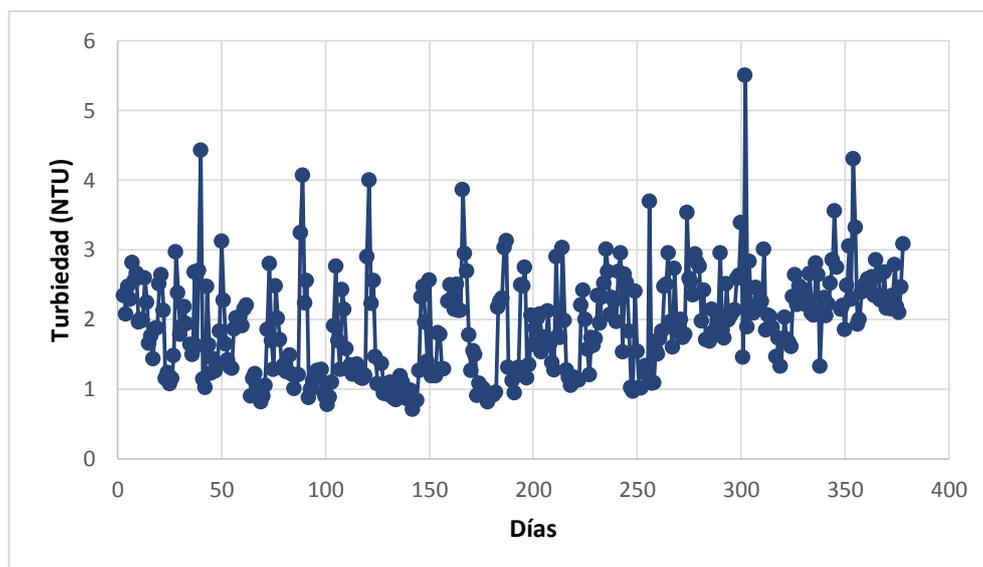
Tabla 3.1 Turbiedad mensual promedio-Año 2017

Mes	Turbiedad (NTU)		
	Agua cruda	Agua sedimentada	Agua tratada
Enero	6,19	2,04	1,15
Febrero	6,31	1,90	1,18
Marzo	4,46	1,56	0,91
Abril	4,63	1,59	0,91
Mayo	2,62	1,27	0,83
Junio	3,77	1,84	1,07
Julio	3,77	1,71	0,90
Agosto	4,44	1,98	1,15
Septiembre	4,93	2,14	1,25
Octubre	7,82	2,30	1,33
Noviembre	6,41	2,21	1,22
Diciembre	7,89	2,49	1,34

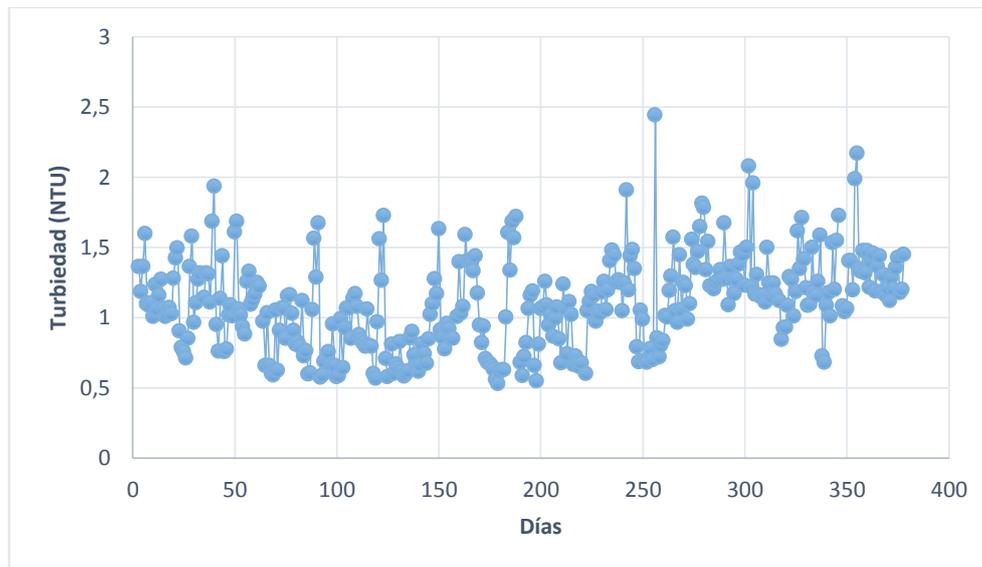
ELABORACIÓN: Toapanta & Tualombo

Gráfica 3.1 Promedios diarios de turbiedad año 2017-Agua cruda

ELABORACIÓN: Toapanta & Tualombo

Gráfica 3.2 Promedios diarios de turbiedad año 2017-Agua sedimentada

ELABORACIÓN: Toapanta & Tualombo

Gráfica 3.3 Promedios diarios de turbiedad año 2017-Agua tratada

ELABORACIÓN: Toapanta & Tualombo

3.1.4 DESARROLLO DEL GRÁFICO DEL POTENCIAL DE PRODUCCIÓN

Este gráfico permite determinar la capacidad máxima de tratamiento que tienen las unidades principales de la planta en función de sus dimensiones y el caudal asignado a cada operación. Para cada operación unitaria se utilizó la metodología descrita a continuación:

3.1.4.1 FLOCULADORES

Determinar el caudal máximo que puede ser tratado en estas unidades utilizando para ello la ecuación 3.1.

$$\text{Estimación de Caudal } (Q) = \frac{\text{Volumen}}{\text{Tiempo de retención}} \quad (3.1)$$

El volumen de las unidades de floculación se determinó mediante su dimensionamiento, mientras que para la obtención del tiempo de retención se utilizaron los criterios de evaluación para floculadores mostrados en la Tabla 3.2, se consideró una temperatura del agua de 11°C y un sistema de múltiples etapas. En base a estos criterios se obtuvo como resultado un tiempo de retención de 15 minutos.

Tabla 3.2 Criterios para evaluar el floculador-Tiempo base: 20 min.

Características de la unidad	Temperatura del agua (°C)	Tiempo de retención hidráulica (min.)
Una sola etapa	<0.5	+10
	>0.5	+5
Múltiples etapas	<0.5	+0
	>0.5	-5

FUENTE: CEPIS, 2005

3.1.4.2 SEDIMENTADORES

Determinar el área superficial de la zona de decantación usando la ecuación 3.2.

$$\text{Área superficial Total} = \text{Largo} \times \text{ancho} \times \text{número de unidades} \quad (3.2)$$

A partir de los criterios presentados en la Tabla 3.3, escoger la tasa de decantación que más se ajuste al sistema de sedimentación utilizado en la planta. Para el caso de la PTAET se determinó una tasa de 120 m³/m²*d.

Tabla 3.3 Tasa superficial para sedimentadores convencionales

Tipo de módulo	Tasa superficial (m ³ /m ² *d)
Sedimentadores tubulares horizontales (<45°C)	120.0
Clarificador por contacto o absorción	527.0
Laminares de placas paralelas	235.0
Super Pulsator	88.0
Con tubos	100.0
Módulos Claricone para turbiedad	59.0
Módulos Claricone para ablandamiento	88.0

FUENTE: CEPIS, 2005

Calcular la capacidad estimada, utilizando la ecuación 3.3.

$$\text{Capacidad} \left(\frac{m^3}{d} \right) = \text{Área superficial Total} \times \text{Tasa de decantación} \quad (3.3)$$

3.1.4.3 FILTROS

Determinar el área del lecho filtrante de cada filtro (sin tomar en cuenta el espacio del canal de recolección de agua de lavado), y utilizando la ecuación 3.4 calcular el área filtrante total.

$$\text{Área filtrante total (m}^2\text{)} = \text{Área de cada filtro (m}^2\text{)} \times \text{número de filtros (3.4)}$$

Seleccionar la tasa de filtración de acuerdo con los criterios establecidos en la Tabla 3.4. Para el caso de estudio, se utilizó una tasa de 234 m³/m²*d.

Tabla 3.4 Criterios de evaluación para filtros

Tipo de lecho filtrante	Taponamiento por aire	Tasa superficial (m ³ /m ² *d)
Arena sola	Ninguno	117.0
	Moderado	88.0
	Alto	59.0
Doble o mixto	Ninguno	234.0
	Moderado	176.0
	Alto	117.0
Profundo, >1.50 m, Generalmente de antracita	Ninguno	351.0
	Moderado	264.0
	Alto	176.0

FUENTE: CEPIS, 2005

Calcular la capacidad estimada, utilizando la ecuación 3.5.

$$\text{Capacidad (m}^3\text{/d)} = \text{Área filtrante Total} \times \text{Tasa de filtración (3.5)}$$

La Tabla 3.5 muestra las dimensiones registradas para cada unidad y las capacidades estimadas para realizar el gráfico del potencial de producción.

Tabla 3.5 Dimensiones de las unidades de la PTAET

Parámetro	Floculadores	Sedimentadores	Filtros
Largo (m)	11.45	17.30	7.46
Ancho (m)	5.50	4.90	6.22
Profundidad (m)	Piscina 1 = 2.00 Piscina 2 = 2.55 Piscina 3 = 3.10	4.10	-
Área por unidad (m ²)	62.70	84.77	46.40
Área total (m ²)	749.52	677.26	278.41
Volumen (m ³)	1398.60	2324.48	-
Caudal estimado (m ³ /s)	1.55	0.94	0.75

ELABORACIÓN: Toapanta & Tualombo

3.2 ENSAYO CON TRAZADORES

A nivel de plantas de potabilización, la prueba de trazadores es una herramienta muy útil para evaluar el funcionamiento hidráulico de las unidades de proceso, ésta se acompaña de varios modelos matemáticos que permiten su análisis y la determinación de parámetros importantes como tiempos de retención, cortocircuitos hidráulicos y espacios muertos (CEPIS, 2005).

3.2.1 MATERIALES, EQUIPOS Y REACTIVOS

3.2.1.1 REACTIVOS

Se utilizó NaCl (sal común) en grano, con un grado de pureza del 98%.

3.2.1.2 MATERIALES

La Tabla 3.6 presenta los materiales utilizados durante las pruebas.

Tabla 3.6 Materiales usados en pruebas de trazadores

Material	Capacidad	Cantidad
Tanque plástico	200 L	1
Balde plástico	20 L	4
Muestreador metálico	500 mL	2

3.2.1.3 EQUIPOS

- Balanza digital marca Sartorius con capacidad de 5 kg.
- Conductivímetro portátil marca WTW 330i.
- Cronómetro

3.2.2 PROCEDIMIENTO

3.2.2.1 UNIDADES DE FLOCULACIÓN

- Utilizando la fórmula 2.2 y las dimensiones reportadas en la Tabla 3.5, se calcula la cantidad en kilogramos de trazador a utilizarse. La concentración de sal utilizada fue de 30 mg/L.

$$P = \frac{1398.6m^3 \times 1.65 \times 30 \text{ g}/m^3}{0.98 \times 10^3}$$

$$P = 70.64 \text{ kg totales}$$

$$P = 17.66 \text{ kg/unidad}$$

- Tomando en cuenta la temperatura del agua y el coeficiente de dilución de la sal a dicha temperatura, se calcula el volumen de agua necesario para diluir la cantidad de sal anteriormente calculada utilizando la fórmula 3.6. El coeficiente de dilución utilizado fue de 35 gramos por cada 100mL de agua a 10°C.

$$V = P \times \text{Coeficiente de dilución (3.6)}$$

$$V = 70.64 \text{ kg sal} \times \frac{0.1L \text{ agua}}{0.035 \text{ kg Sal}}$$

$$V = 202 L \text{ agua totales}$$

$$V = 51 \text{ L/unidad}$$

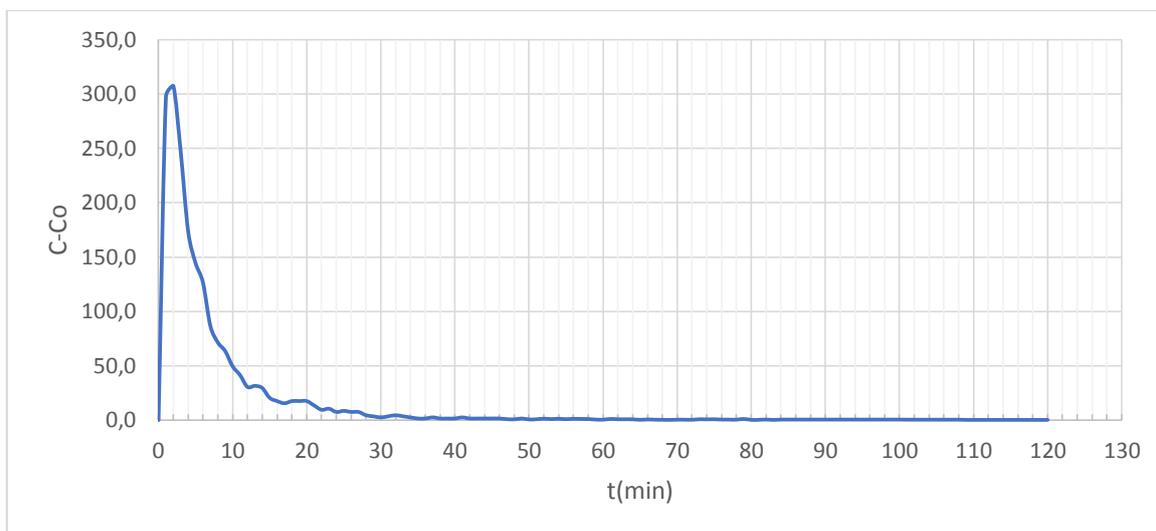
- Mezclar el agua con la sal hasta la solubilidad completa.

- Registrar la conductividad inicial en cada piscina del floculador.
- Verter la solución de sal en el canal de distribución de agua para cada unidad a evaluar, en un punto que facilite su mezcla completa.
- Registrar la conductividad a la salida de cada piscina del floculador al mismo tiempo y profundidad en intervalos de 1 minuto hasta alcanzar la conductividad inicial. La Tabla 3.7 muestra una fracción de los valores de conductividad registrados, los datos completos constan en el Anexo 3.
- A partir de los datos registrados construir las Gráficas de comportamiento de conductividad (C-Co) vs. tiempo (Gráficas 3.4, 3.5, 3.6), para ser analizadas utilizando el método simplificado de Wolf-Resnick, el índice de Morrill y el método de la curva de tendencia. Se puede evidenciar el proceso realizado observando las fotografías presentadas en el Anexo 2.

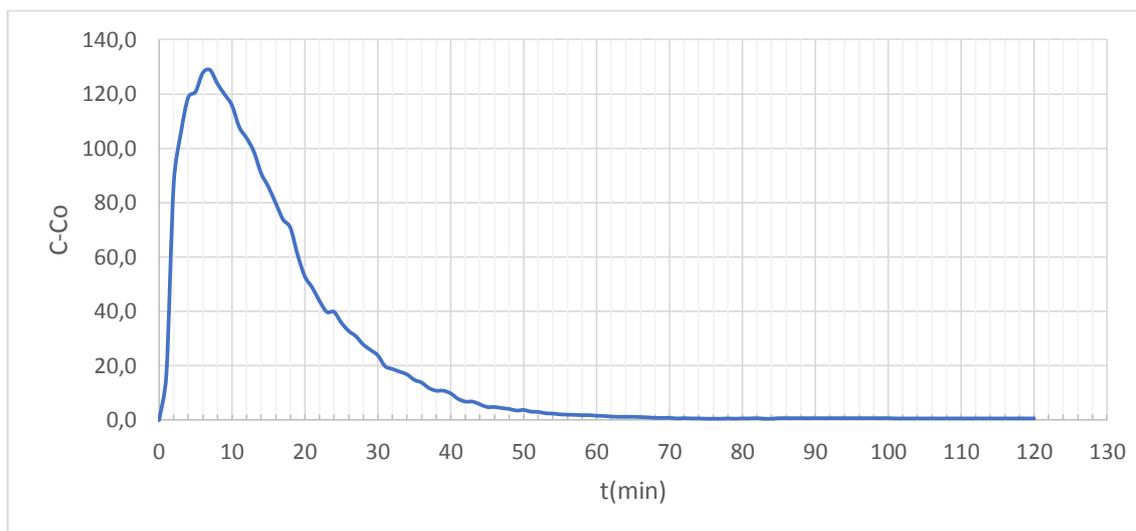
Tabla 3.7 Prueba de trazadores-Conductividad Floculador I

t (min)	Piscina 1		Piscina 2		Piscina 3	
	C ($\mu\text{S/cm}$)	C-Co	C ($\mu\text{S/cm}$)	C-Co	C ($\mu\text{S/cm}$)	C-Co
0	172,5	0,0	172,2	0,0	171,8	0,0
1	470,0	297,5	189,0	16,8	185,0	13,2
2	480,0	307,5	259,0	86,8	188,0	16,2
3	419,0	246,5	278,0	105,8	195,0	23,2
4	346,0	173,5	291,0	118,8	205,0	33,2
5	317,0	144,5	293,0	120,8	211,0	39,2
6	299,0	126,5	300,0	127,8	222,0	50,2
7	259,0	86,5	301,0	128,8	227,0	55,2
8	244,0	71,5	296,0	123,8	229,0	57,2
9	236,0	63,5	292,0	119,8	233,0	61,2
10	222,0	49,5	288,0	115,8	242,0	70,2
11	214,0	41,5	280,0	107,8	237,0	65,2
12	203,0	30,5	276,0	103,8	242,0	70,2
13	204,0	31,5	271,0	98,8	247,0	75,2
14	202,0	29,5	263,0	90,8	248,0	76,2
15	193,0	20,5	258,0	85,8	250,0	78,2
16	190,0	17,5	252,0	79,8	246,0	74,2
17	188,0	15,5	246,0	73,8	248,0	76,2
18	190,0	17,5	243,0	70,8	247,0	75,2

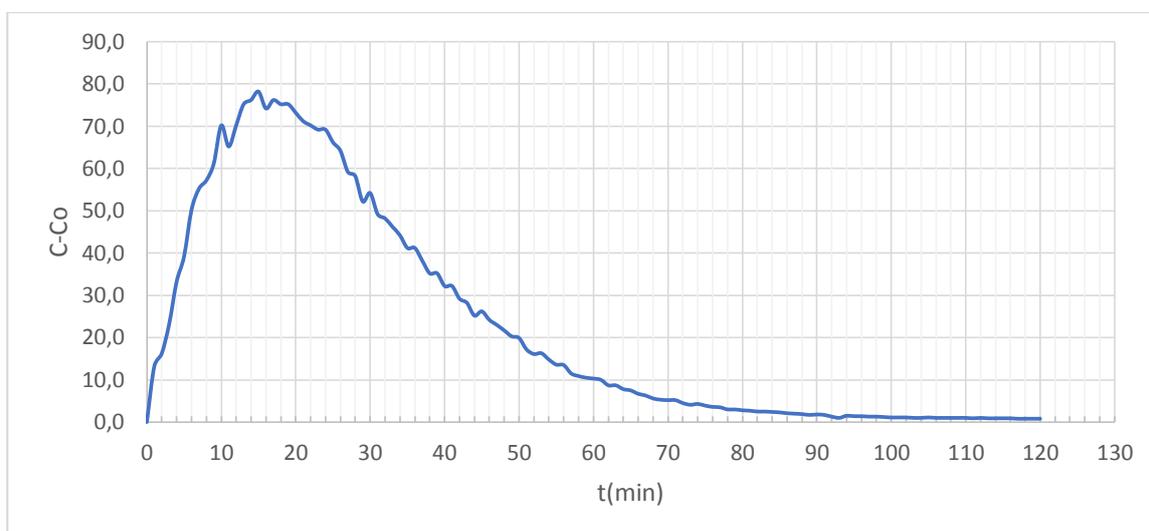
ELABORACION: Toapanta & Tualombo

Gráfica 3.4 Prueba de trazadores 2018-Conductividad Floculador I (Piscina 1)

ELABORACIÓN: Toapanta & Tualombo

Gráfica 3.5 Prueba de trazadores 2018-Conductividad Floculador I (Piscina 2)

ELABORACIÓN: Toapanta & Tualombo

Gráfica 3.6 Prueba de trazadores 2018-Conductividad Floculador I (Piscina 3)

ELABORACIÓN: Toapanta & Tualombo

3.2.2.2 UNIDADES DE SEDIMENTACIÓN

- Utilizando la fórmula 2.2 y el volumen reportado en la Tabla 3.5, calcular la cantidad en kilogramos de trazador a utilizarse. La concentración utilizada fue de 30 mg/L.

$$P = \frac{2324.48m^3 \times 1.65 \times 30 \text{ g}/m^3}{0.98 \times 10^3}$$

$$P = 117.4 \text{ kg totales}$$

$$P = 29.05 \text{ kg}/\text{unidad}$$

- Utilizando la fórmula 3.6 se calcula el volumen de agua necesario para diluir la cantidad de sal anteriormente calculada. El coeficiente de dilución utilizado fue de 35 gramos por cada 100mL de agua a 10°C.

$$V = 117.4 \text{ kg sal} \times \frac{0.1L \text{ agua}}{0.035 \text{ kg Sal}}$$

$$V = 336 \text{ L agua totales}$$

$$V = 84 \text{ L}/\text{unidad}$$

- Mezclar el agua con la sal hasta diluirla completamente.
- Registrar la conductividad inicial en el punto de recolección de agua de cada sedimentador.

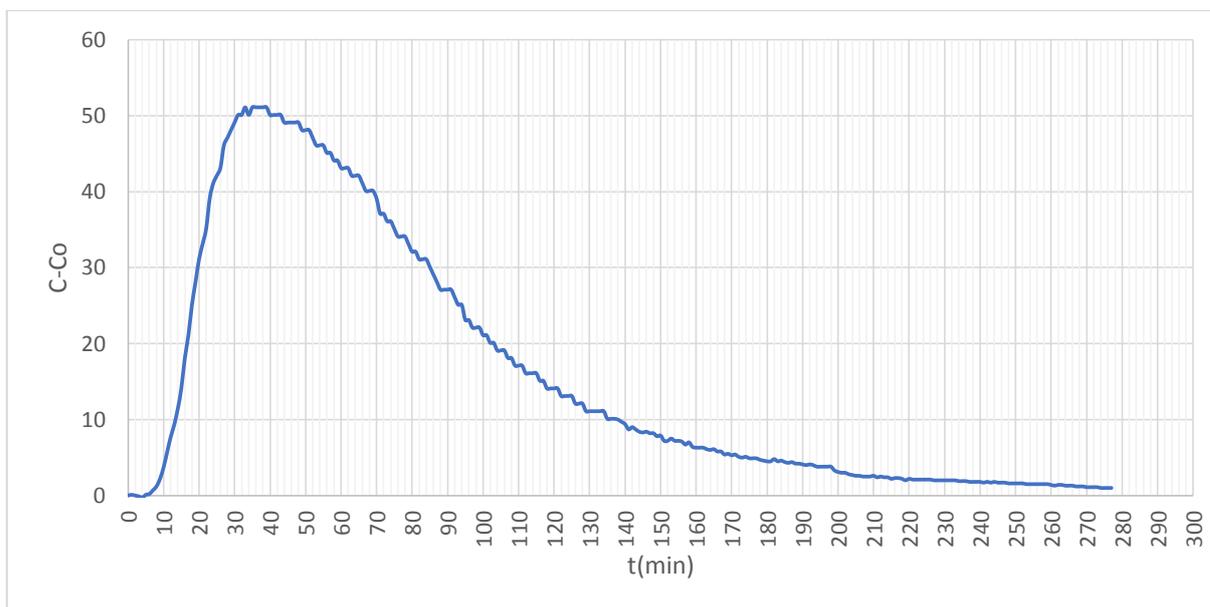
- Verter la solución en el canal de distribución de agua para cada unidad a evaluar en un punto que facilite su mezcla completa.
- Registrar la conductividad a la salida de cada sedimentador en intervalos de tiempo de 1 minuto hasta alcanzar la conductividad inicial. La Tabla 3.8 muestra una fracción de los valores de conductividad registrados, los datos completos constan en el Anexo 3.
- A partir de los datos registrados construir las Gráficas de comportamiento de conductividad (C-Co) vs. Tiempo (Gráficas 3.7, 3.8, 3.9 y 3.10) para ser analizadas utilizando el método simplificado de Wolf-Resnick, el índice de Morrill y el método de la curva de tendencia. Se puede evidenciar el proceso realizado observando las fotografías presentadas en el Anexo 2.

Tabla 3.8 Prueba de trazadores-Conductividad Sedimentador I

t (min)	C (μS/cm)	C-Co
0	187,9	0,0
1	188,0	0,1
2	187,9	0,0
3	187,8	-0,1
4	187,6	-0,3
5	188,0	0,1
6	188,1	0,2
7	188,6	0,7
8	189,1	1,2
9	190,1	2,2
10	191,6	3,7
11	193,6	5,7
12	195,6	7,7
13	197,2	9,3
14	199,3	11,4
15	202,0	14,1
16	206,0	18,1
17	209,0	21,1
18	213,0	25,1
19	216,0	28,1
20	219,0	31,1
21	221,0	33,1

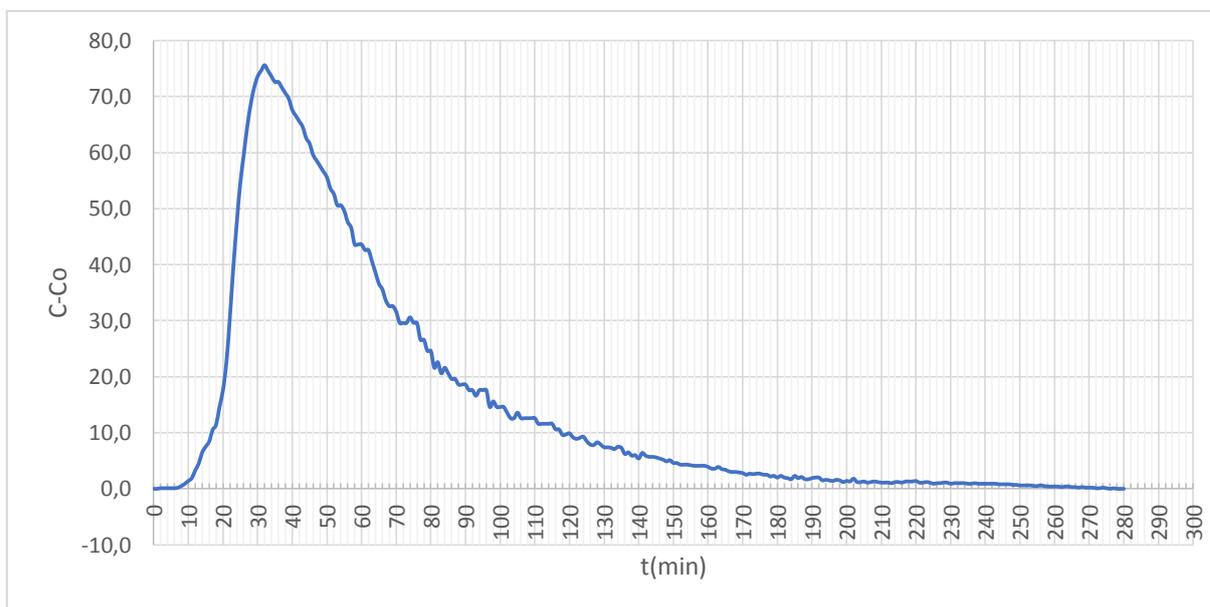
ELABORACIÓN: Toapanta & Tualombo

Gráfica 3.7 Prueba de trazadores 2018-Conductividad Sedimentador I



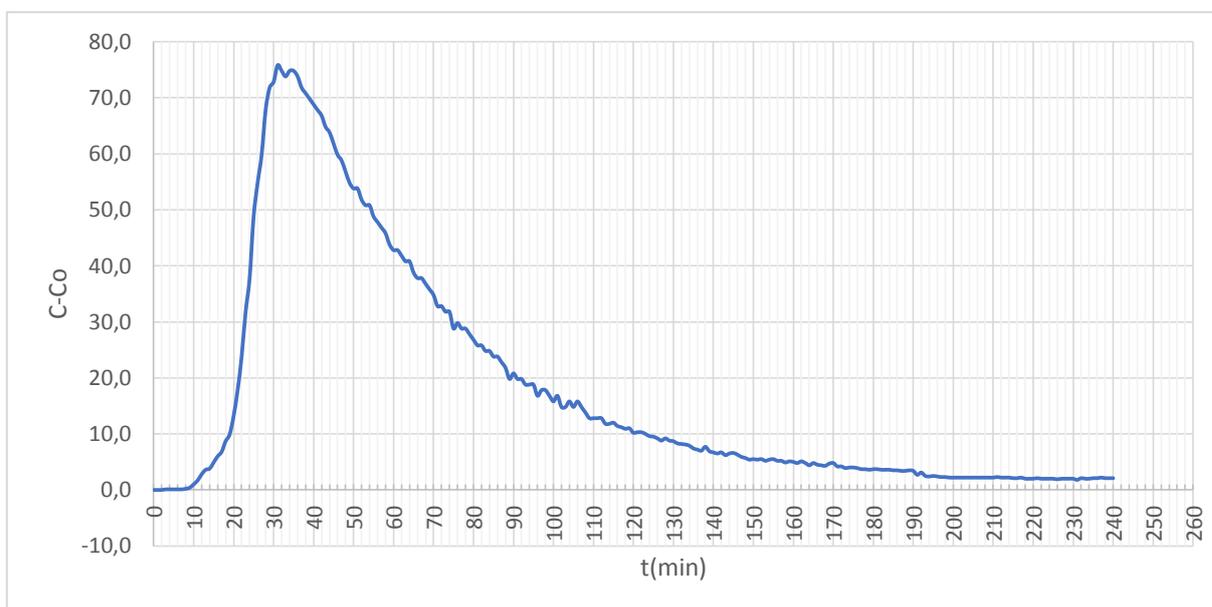
ELABORACIÓN: Toapanta & Tualombo

Gráfica 3.8 Prueba de trazadores 2018-Conductividad Sedimentador II



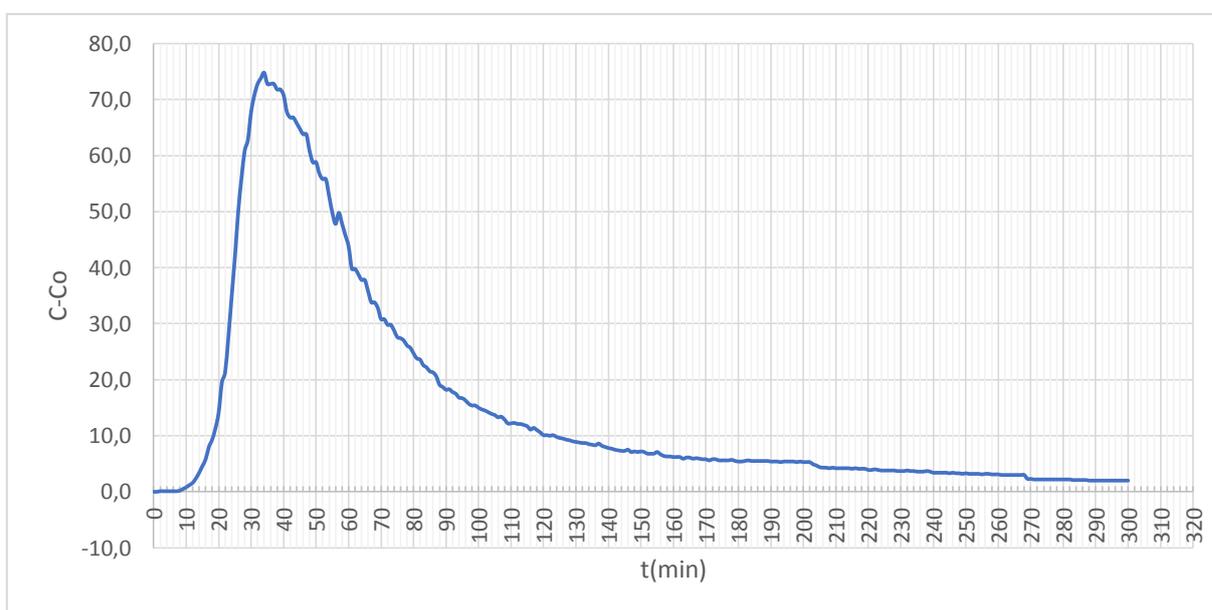
ELABORACIÓN: Toapanta & Tualombo

Gráfica 3.9 Prueba de trazadores 2018-Conductividad Sedimentador III



ELABORACIÓN: Toapanta & Tualombo

Gráfica 3.10 Prueba de trazadores 2018-Conductividad Sedimentador IV



ELABORACIÓN: Toapanta & Tualombo

3.3 PRUEBAS DE TRATABILIDAD

Los ensayos de tratabilidad utilizando el equipo de jarras son una de las pruebas mayormente utilizadas a escala de laboratorio para simular los procesos de floculación y sedimentación, además permiten determinar los parámetros óptimos de mezcla y dosificación de sustancias químicas acordes a las condiciones del agua a tratar (Lorenzo-Acosta, 2006).

3.3.1 MATERIALES, EQUIPOS Y REACTIVOS

3.3.1.1 MATERIALES

Los materiales utilizados se resumen en la Tabla 3.9.

Tabla 3.9 Materiales para prueba de jarras

Material	Volumen	Unidad
Pipeta volumétrica	5 mL	1
	1 mL	1
Vasos de precipitación	50 mL	2
	1000 mL	6
Pera de succión	-	1
Balones aforados	50 mL	6
	100 mL	2
Jeringas	1 mL	6
	10 mL	2
	20 mL	6
	60 mL	1
Jarras rectangulares	2 L	6
Jarras plásticas	1 L	2
Galones plásticos	80 L	4
Baldes plásticos	20 L	2

3.3.1.2 EQUIPOS

- Equipo de jarras marca Phipps & Bird.

- Turbidímetro marca Hach 2100 AN
- pH-metro
- Colorímetro
- Balanza analítica, marca Sartorius, capacidad 6 kg

3.3.1.3 REACTIVOS

- **Sulfato De aluminio:** solución comercial ($\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 14\text{H}_2\text{O}$), sustancia coagulante de más común utilización en procesos de clarificación. Forma complejos que al entrar en contacto con las partículas coloidales producen desestabilización de cargas y favorecen la precipitación de estas (Martínez, 2003).
- **Polímero LIPESA 1560 PWG:** copolímero de amida acrílica, derivado del ácido acrílico y de alto peso molecular, su acción es independiente de la acidez y la alcalinidad (Vásconez, 2013).
- **Ácido Sulfúrico concentrado** (H_2SO_4)
- **Hidróxido de Sodio** Concentración 1 N.

3.3.2 DETERMINACIÓN DE LA DOSIS ÓPTIMA DE COAGULANTE

- Determinar las características iniciales del agua cruda para cada campaña de muestreo, los datos obtenidos pueden apreciarse en la Tabla 3.10.

Tabla 3.10 Características iniciales del agua cruda-PTAET 2018

Campaña	Turbiedad (NTU)	Color (Pt-Co)	Temperatura (°C)	pH
1	5.48	30	11.3	6.77
2	5.49	30	11.3	7.87
3	3.61	30	11.5	7.46
4	3.01	30	10.2	7.54

ELABORACIÓN: Toapanta & Tualombo

- Preparar una solución de sulfato de $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ al 10%, colocando 100 g (76.1 mL) de sulfato en un balón y aforar hasta un volumen de 1 litro.

- Tomar 10 mL de esta solución, colocarla en un balón y aforar hasta 100 mL, obteniendo una solución al 1%.
- Llenar las 6 jarras con un volumen de agua de 2 litros.
- A partir de la ecuación 3.7 Calcular el volumen de solución al 1% que debe aplicarse a cada jarra para alcanzar la dosis establecida para cada campaña y colocarlo en las jeringas.

$$D \times Q = q \times C \quad (3.7)$$

Donde:

D= Dosis de coagulante establecida (mg/L)

Q= Volumen de las jarras (L)

C= Concentración (mg/L)

q= Volumen de solución necesaria (mL)

- Calibrar las memorias del equipo de agitación de acuerdo con los tiempos de retención y gradientes obtenidos en el ensayo de trazadores, los cuales se presentan en la Tabla 3.11.

Tabla 3.11 Parámetros de agitación-Prueba de jarras

Etapa	Tiempo de retención	Velocidad (RPM)
Mezcla rápida	40 segundos	300
Floculación 1	2 minutos	92
Floculación 2	8 minutos	31
Floculación 3	16.5 minutos	27

ELABORACIÓN: Toapanta & Tualombo

- Iniciar el procedimiento de agitación, a los 10 segundos de la mezcla rápida verter el contenido de las jeringas en su jarra correspondiente, registrar el tiempo de aparición de flóculo en cada una y evaluar su formación de acuerdo con el índice de Willcomb.
- Una vez terminadas las 4 etapas de agitación, retirar las paletas y dejar sedimentar durante 30 minutos.
- Tomar una muestra del sobrenadante de cada jarra a la misma profundidad.

- Determinar color y turbiedad finales de las muestras obtenidas, los datos registrados se muestran en las Tablas 3.12, 3.13, 3.14 y 3.15. Las fotografías correspondientes pueden visualizarse en el Anexo 2.

Tabla 3.12 Prueba de jarras-Dosis óptima (Campaña 1)

Jarra	Dosis (mg/L)	q (mL)	C (%)	Tiempo de aparición de flóculo (min.)	Índice de Willcomb	Turbiedad (NTU)	Color (Pt-Co)	pH
1	40	8	1	3:00	0	5,814	>30	6,58
2	50	10	1	2:00	8	1,39	10	6,47
3	60	12	1	2:10	8	1,09	10	6,45
4	70	14	1	2:10	6	0,78	5	6,39
5	80	16	1	3:50	4	0,87	7,5	6,36
6	90	18	1	4:00	4	0,83	7,5	6,3

ELABORACIÓN: Toapanta & Tualombo

Tabla 3.13 Prueba de jarras-Dosis óptima (Campaña 2)

Prueba 1								
Jarra	Dosis (mg/L)	q (mL)	C (%)	Tiempo de aparición de flóculo (min.)	Índice de Willcomb	Turbiedad (NTU)	Color (Pt-Co)	pH
1	60	12	1	4:06	4	1,33	7,5	6,9
2	65	13	1	4:06	6	1,32	7,5	6,9
3	70	14	1	4:06	6	0,81	5	6,85
4	75	15	1	4:06	6	0,95	7,5	6,85
5	80	16	1	4:06	4	0,85	7,5	6,75
6	85	17	1	4:06	4	0,84	7,5	6,74
Prueba 2								
1	70	14	1	4:10	6	0,75	5	6,85
2	72,5	14,5	1	4:10	6	1,63	7,5	6,85
3	75	15	1	4:10	6	1,44	7,5	6,85
4	77,5	15,5	1	4:10	4	1,26	7,5	6,85
5	80	16	1	4:10	4	1,2	7,5	6,75
6	82,5	16,5	1	4:10	4	1,34	7,5	6,75

ELABORACIÓN: Toapanta & Tualombo

Tabla 3.14 Prueba de jarras-Dosis óptima (Campaña 3)

Prueba 1								
Jarra	Dosis (mg/L)	q (mL)	C (%)	Tiempo de aparición de flóculo (min.)	Índice de Willcomb	Turbiedad (NTU)	Color (Pt-Co)	pH
1	55	11	1	4:20	4	0,75	10	7,31
2	60	12	1	1:50	4	0,63	7,5	7,31
3	65	13	1	2:40	4	0,65	7,5	7,15
4	70	14	1	2:40	4	0,65	7,5	7,08
5	75	15	1	2:40	4	0,69	7,5	7,52
6	80	16	1	2:40	4	0,75	7,5	7,12
Prueba 2								
1	60	12	1	2:10	4	0,83	7,5	7,6
2	62,5	12,5	1	2:10	4	0,73	7,5	7,65
3	65	13	1	2:10	4	0,66	7,5	7,43
4	67,5	13,5	1	2:10	4	0,56	7,5	7,64
5	70	14	1	3:00	4	0,61	7,5	7,87
6	72,5	14,5	1	3:45	4	0,69	7,5	7,67

ELABORACIÓN: Toapanta & Tualombo

Tabla 3.15 Prueba de jarras-Dosis óptima (Campaña 4)

Jarra	Dosis (mg/L)	q (mL)	C (%)	Tiempo de aparición de flóculo (min.)	Índice de Willcomb	Turbiedad (NTU)	Color (Pt-Co)
1	60	12	1	0:50	2	1,13	7,5
2	62,5	12,5	1	0:50	2	1,04	10
3	65	13	1	0:50	2	0,9	10
4	67,5	13,5	1	1:10	4	1,42	7,5
5	70	14	1	3:00	4	1,22	7,5
6	72,5	14,5	1	1:10	4	0,94	7,5

ELABORACIÓN: Toapanta & Tualombo

3.3.3 DETERMINACIÓN DE LA CONCENTRACIÓN ÓPTIMA DE COAGULANTE

- Llenar las 6 jarras con un volumen de agua de 2 litros.
- Preparar soluciones de sulfato de aluminio variando las concentraciones desde el 0.5% hasta el 10%.

- Utilizando la ecuación 3.7, determinar el volumen de solución necesario para alcanzar la dosis óptima establecida para cada campaña y colocarlo en las jeringas correspondientes.
- Iniciar el procedimiento de agitación, a los 10 segundos de la mezcla rápida verter el contenido de las jeringas en su jarra correspondiente, registrar el tiempo de aparición de flóculo en cada una y evaluar su formación de acuerdo con el índice de Willcomb.
- Una vez terminadas las 4 etapas de agitación, retirar las paletas y dejar sedimentar durante 30 minutos.
- Tomar una muestra del sobrenadante de cada jarra a la misma profundidad.
- Determinar color y turbiedad finales de las muestras obtenidas, los datos registrados se muestran en las Tablas 3.16, 3.17 y 3.18. Las fotografías correspondientes pueden visualizarse en el Anexo 2.

Tabla 3.16 Prueba de jarras-Concentración óptima (Campaña 2)

Jarra	Dosis (mg/L)	q (mL)	C (%)	Tiempo de aparición de flóculo (min.)	Índice de Willcomb	Turbiedad (NTU)	Color (Pt-Co)	pH
1	70	28	0,5	4:00	4	2,27	10	7,6
2	70	14	1	4:00	6	1,41	7,5	7,53
3	70	7	2	3:10	6	1,21	7,5	7,36
4	70	4,67	3	4:30	6	1,05	7,5	7,12
5	70	2,8	5	5:20	6	1,16	7,5	7,07
6	70	1,4	10	5:30	8	1,45	10	6,96

ELABORACIÓN: Toapanta & Tualombo

Tabla 3.17 Prueba de jarras-Concentración óptima (Campaña 3)

Jarra	Dosis (mg/L)	q (mL)	C (%)	Tiempo de aparición de flóculo (min.)	Índice de Willcomb	Turbiedad (NTU)	Color (Pt-Co)	pH
1	67,5	27	0,5	0:55	6	0,72	7,5	7,56
2	67,5	13,5	1	0:55	6	0,69	7,5	7,73
3	67,5	6,75	2	0:55	6	0,73	7,5	7,35
4	67,5	4,5	3	1:35	4	0,71	7,5	7,88
5	67,5	2,7	5	1:35	4	0,88	7,5	7,4
6	67,5	1,35	10	2:30	4	0,87	7,5	8,03

ELABORACIÓN: Toapanta & Tualombo

Tabla 3.18 Prueba de jarras-Concentración óptima (Campaña 4)

Jarra	Dosis (mg/L)	q (mL)	C (%)	Tiempo de aparición de flóculo (min.)	Índice de Willcomb	Turbiedad (NTU)	Color (Pt-Co)
1	65	26	0,5	3:00	4	0,68	7,5
2	65	13	1	1:10	4	0,74	7,5
3	65	6,5	2	0:50	4	0,79	10
4	65	4,33	3	1:00	4	0,88	10
5	65	3,25	4	2:10	4	0,72	7,5
6	65	2,6	5	2:10	4	0,54	7,5

ELABORACIÓN: Toapanta & Tualombo

3.3.4 DETERMINACIÓN DE DOSIS ÓPTIMA DEL AYUDANTE DE COAGULACIÓN

- Llenar las 6 jarras con un volumen de agua de 2 litros.
- Preparar una solución de sulfato de aluminio a la concentración óptima establecida para cada campaña.
- Preparar una solución al 1% de polímero LIPESA pesando 0.1 g y aforarlo hasta 100 mL utilizando agua destilada.
- Utilizando la ecuación 3.7, determinar el volumen de solución necesario para alcanzar la dosis óptima de sulfato de aluminio establecida para cada campaña y colocarlo en las jeringas correspondientes.
- Utilizando la ecuación 3.7, determinar el volumen de solución necesario para alcanzar la dosis de polímero establecida para cada prueba y colocarlo en jeringas adicionales.
- Iniciar el procedimiento de agitación, a los 10 segundos de la mezcla rápida verter el sulfato contenido de las jeringas, 10 segundos después adicionar la solución de polímero correspondiente a cada jarra utilizando las jeringas adicionales, registrar el tiempo de aparición de flóculo en cada una y evaluar su formación de acuerdo con el índice de Willcomb.
- Una vez terminadas las 4 etapas de agitación, retirar las paletas y dejar sedimentar durante 30 minutos.
- Tomar una muestra del sobrenadante de cada jarra a la misma profundidad.

- Determinar color y turbiedad finales de las muestras obtenidas, los datos registrados se muestran en las Tablas 3.19 y 3.20. Las fotografías correspondientes pueden visualizarse en el Anexo 2.

Tabla 3.19 Prueba de jarras-Dosis óptima de polímero (Campaña 2)

Jarra	Dosis (mg/L)	q (mL)	C (%)	Tiempo de aparición de flóculo (min.)	Índice de Willcomb	Turbiedad (NTU)	Color (Pt-Co)	pH
1	0,025	0,05	1	4:00	4	1,07	10	7,31
2	0,05	0,1	1	2:40	4	1,03	10	7,35
3	0,075	0,15	1	2:40	6	0,89	10	7,56
4	0,1	0,2	1	2:20	6	0,86	7,5	7,54
5	0,15	0,3	1	2:20	6	0,66	7,5	7,27
6	0,2	0,4	1	2:20	6	0,85	7,5	6,9
Datos óptimos de sulfato								
Dosis (mg/L)			Concentración (%)			Volumen de solución (mL)		
70			3			4,67		

ELABORACIÓN: Toapanta & Tualombo

Tabla 3.20 Prueba de jarras-Dosis óptima de polímero (Campaña 3)

Jarra	Dosis (mg/L)	q (mL)	C (%)	Tiempo de aparición de flóculo (min.)	Índice de Willcomb	Turbiedad (NTU)	Color (Pt-Co)
1	0,025	0,05	1	1:40	4	1,14	7,5
2	0,05	0,1	1	1:30	4	1,02	7,5
3	0,075	0,15	1	0:40	6	1,11	7,5
4	0,1	0,2	1	1:10	6	0,79	5
5	0,15	0,3	1	1:10	6	0,67	5
6	0,2	0,4	1	1:30	4	0,68	7,5
Datos óptimos de sulfato							
Dosis (mg/L)		Concentración (%)			Volumen de solución (mL)		
67,5		1			13,5		

ELABORACIÓN: Toapanta & Tualombo

3.3.5 DETERMINACIÓN DEL pH ÓPTIMO

- Llenar las 6 jarras con un volumen de agua de 2 litros.
- Preparar soluciones de sulfato de aluminio y polímero a las concentraciones óptimas establecidas para cada campaña.

- Utilizando la ecuación 3.7, determinar los volúmenes de solución necesarios para alcanzar las dosis óptimas de sulfato de aluminio y de polímero establecidas para cada campaña y colocarlos en las jeringas correspondientes.
- Modificar el pH de cada jarra añadiendo ácido sulfúrico o hidróxido de sodio hasta obtener valores desde 6,0 hasta 8,5.
- Iniciar el procedimiento de agitación, a los 10 segundos de la mezcla rápida verter el sulfato contenido de las jeringas, 10 segundos después adicionar la solución de polímero correspondiente a cada jarra utilizando las jeringas adicionales, registrar el tiempo de aparición de flóculo en cada una y evaluar su formación de acuerdo con el índice de Willcomb.
- Una vez terminadas las 4 etapas de agitación, retirar las paletas y dejar sedimentar durante 30 minutos.
- Tomar una muestra del sobrenadante de cada jarra a la misma profundidad.
- Determinar pH, color y turbiedades finales de las muestras obtenidas, los datos registrados se muestran en las Tablas 3.21, 3.22 y 3.23. Las fotografías correspondientes pueden visualizarse en el Anexo 2.

Tabla 3.21 Prueba de jarras-pH óptimo (Campaña 2)

Jarra	pH	Volumen NaOH (mL)	Volumen H ₂ SO ₄ (mL)	Tiempo de aparición de floc. (min.)	I.W.	Turbiedad (NTU)	Color (Pt-Co)	pH final
1	6,0	-	0,08	1:50	8	1,12	7,5	6,22
2	6,5	-	0,07	1:50	8	0,64	7,5	6,22
3	7,0	-	0,06	1:50	8	0,60	7,5	6,3
4	7,5	-	0,02	1:10	10	0,72	5	6,93
5	8,0	-	-	4:00	4	0,65	7,5	7,52
6	8,5	0,01	-	4:00	4	0,75	7,5	7,36
Datos óptimos sulfato					Datos óptimos polímero			
Dosis (mg/L)	Concentración (%)	Volumen de solución (mL)			Dosis (mg/L)	Concentración (%)	Volumen de solución (mL)	
70	3	4,67			0,15	1	0,3	

ELABORACIÓN: Toapanta & Tualombo

Tabla 3.22 Prueba de jarras-pH óptimo (Campaña 3)

Jarra	pH	Volumen NaOH (mL)	Volumen H ₂ SO ₄ (mL)	Tiempo de aparición de floc. (min.)	I.W.	Turbiedad (NTU)	Color (Pt-Co)	pH final
1	6,0	-	0,07	0:50	0	1,3	7,5	6,49
2	6,5	-	0,04	1:10	6	0,5	7,5	6,89
3	7,0	-	0,02	0:50	6	0,52	7,5	6,35
4	7,5	-	-	1:20	4	0,94	7,5	6,87
5	8,0	0,01	-	1:50	4	0,44	7,5	7,34
6	8,5	0,02	-	1:50	8	0,8	7,5	8,51
Datos óptimos sulfato					Datos óptimos polímero			
Dosis (mg/L)	Concentración (%)	Volumen de solución (mL)			Dosis (mg/L)	Concentración (%)	Volumen de solución (mL)	
67,5	1	13,5			0,15	1	0,3	

ELABORACIÓN: Toapanta & Tualombo

Tabla 3.23 Prueba de jarras-pH óptimo (Campaña 4)

Jarra	pH	Volumen NaOH (mL)	Volumen H ₂ SO ₄ (mL)	Tiempo de aparición de floc. (min.)	I.W.	Turbiedad (NTU)	Color (Pt-Co)	pH final
1	6,0	-	0,07	1:30	4	1,3	7,5	6,02
2	6,5	-	0,04	0:55	2	1,12	7,5	6,31
3	7,0	-	0,02	0:55	4	0,70	7,5	6,6
4	7,5	-	-	1:30	6	0,43	7,5	6,93
5	8,0	0,01	-	1:30	6	0,64	10	7,52
6	8,5	0,02	-	2:00	6	0,45	7,5	7,54
Datos óptimos sulfato					Datos óptimos polímero			
Dosis (mg/L)	Concentración (%)	Volumen de solución (mL)			Dosis (mg/L)	Concentración (%)	Volumen de solución (mL)	
65	5	2,6			0.15	1	0,3	

ELABORACIÓN: Toapanta & Tualombo

3.3.5 DETERMINACIÓN DEL GRADIENTE Y TIEMPO DE AGITACIÓN ÓPTIMO

- Llenar las 6 jarras con un volumen de agua de 2 litros.
- Preparar soluciones de sulfato de aluminio y polímero a las concentraciones óptimas establecidas para esta campaña.
- Utilizando la ecuación 3.7, determinar los volúmenes de solución necesarios para alcanzar las dosis óptimas de sulfato de aluminio y de polímero establecidas para la campaña y colocarlos en las jeringas correspondientes.
- Modificar el pH hasta obtener el valor determinado como óptimo para la campaña correspondiente.
- Modificar las velocidades de agitación del equipo en las etapas de mezcla lenta para obtener los gradientes de velocidad seleccionados.
- Iniciar el procedimiento de agitación, a los 10 segundos de la mezcla rápida verter el sulfato contenido de las jeringas, 10 segundos después adicionar la solución de polímero correspondiente a cada jarra utilizando las jeringas adicionales.
- Iniciada la etapa de mezcla lenta, retirar la primera jarra a los 5 minutos de agitación, 5 minutos después se retira la segunda, continuar este procedimiento hasta alcanzar la última jarra. Evaluar la formación de flóculos utilizando el índice de Willcomb.
- Una vez retiradas de la agitación, cada jarra debe sedimentar durante 30 minutos.
- Tomar una muestra del sobrenadante de cada jarra a la misma profundidad.
- Determinar color y turbiedad finales de las muestras obtenidas.
- Repetir la prueba modificando el gradiente. Los datos registrados se muestran en las Tablas 3.24, 3.25, 3.26 y 3.27. Las fotografías correspondientes pueden visualizarse en el Anexo 2.

Tabla 3.24 Prueba de jarras-Gradiente óptimo (Prueba 1)

G= 80 s⁻¹ (75 rpm)				
Jarra	Tiempo de agitación (min.)	Índice de Willcomb	Turbiedad (NTU)	Color (Pt-Co)
1	5	2	1,56	15
2	10	2	1,63	10
3	15	4	1,20	10
4	20	4	0,62	10
5	25	4	0,89	7,5
6	30	4	1,20	7,5

ELABORACIÓN: Toapanta & Tualombo

Tabla 3.25 Prueba de jarras-Gradiente óptimo (Prueba 2)

G= 60 s⁻¹ (65 rpm)				
Jarra	Tiempo de agitación (min.)	Índice de Willcomb	Turbiedad (NTU)	Color (Pt-Co)
1	5	4	1,53	10
2	10	4	1,02	10
3	15	4	0,89	7,5
4	20	4	0,82	7,5
5	25	4	0,70	7,5
6	30	4	1,04	10

ELABORACIÓN: Toapanta & Tualombo

Tabla 3.26 Prueba de jarras-Gradiente óptimo (Prueba 3)

G= 40 s⁻¹ (50 rpm)				
Jarra	Tiempo de agitación (min.)	Índice de Willcomb	Turbiedad (NTU)	Color (Pt-Co)
1	5	4	1,45	15
2	10	4	1,02	10
3	15	4	1,06	10
4	20	4	1,02	10
5	25	4	1,08	7,5
6	30	4	0,69	7,5

ELABORACIÓN: Toapanta & Tualombo

Tabla 3.27 Prueba de jarras-Gradiente óptimo (Prueba 4)

G= 20 s⁻¹ (30 rpm)				
Jarra	Tiempo de agitación (min.)	Índice de Willcomb	Turbiedad (NTU)	Color (Pt-Co)
1	5	4	1,20	10
2	10	4	1,25	10
3	15	4	0,88	10
4	20	4	0,78	7,5
5	25	4	0,50	7,5
6	30	4	0,39	7,5

ELABORACIÓN: Toapanta & Tualombo

3.3.6 DETERMINACIÓN DE LA VELOCIDAD ÓPTIMA DE SEDIMENTACIÓN

- Llenar las 6 jarras con un volumen de agua de 2 litros.
- Preparar soluciones de sulfato de aluminio y polímero a las concentraciones óptimas establecidas para esta campaña.
- Utilizando la ecuación 3.7, determinar los volúmenes de solución necesarios para alcanzar las dosis óptimas de sulfato de aluminio y de polímero establecidas para la campaña y colocarlos en las jeringas correspondientes.
- Calibrar las memorias del equipo de agitación de acuerdo con los tiempos de retención y gradientes presentados en la Tabla 3.17.
- Iniciar el procedimiento de agitación, a los 10 segundos de la mezcla rápida verter el sulfato contenido de las jeringas, 10 segundos después adicionar la solución de polímero correspondiente a cada jarra utilizando las jeringas adicionales. Evaluar la formación de flóculos utilizando el índice de Willcomb.
- Terminado el proceso de agitación, retirar las paletas y cronometrar el tiempo de sedimentación, a cada jarra se le tomará una muestra a una profundidad de 6 cm. Transcurridos 5 minutos se toma la primera muestra de la jarra N° 1, 5 minutos después se procede con la jarra N°2, continuar este procedimiento hasta alcanzar la última jarra a los 30 minutos de sedimentación.

- Determinar color y turbiedad finales de las muestras obtenidas, los datos de esta prueba se presentan en la Tabla 3.28.

Tabla 3.28 Prueba de jarras-Velocidad óptima de sedimentación

Jarra	Tiempo de sedimentación (min.)	Índice de Willcomb	Turbiedad (NTU)	Color (Pt-Co)
1	5	4	1,71	7,5
2	10	4	1,62	7,5
3	15	4	1,48	7,5
4	20	4	0,95	7,5
5	25	4	0,67	7,5
6	30	4	0,39	7,5

ELABORACIÓN: Toapanta & Tualombo

3.4 EVALUACIÓN DEL PROCESO DE FILTRACIÓN

Evaluar el proceso de filtrado en una planta de potabilización permite levantar información referente al estado de funcionamiento y la eficiencia de éste y determinar la necesidad de optimizar, mejorar o modificar los componentes y protocolos de operación del sistema (Ojeda, 2013).

Los procedimientos de evaluación descritos a continuación fueron tomados del Manual de evaluación de plantas de potabilización propuesto por CEPIS (2005).

3.4.1 MATERIALES Y EQUIPOS

3.4.1.1 MATERIALES

La Tabla 3.29 muestra los materiales utilizados para cada etapa de la evaluación.

Tabla 3.29 Materiales utilizados en la evaluación de filtros

Material	Capacidad	Cantidad
Recipientes plásticos	150 mL	30
Varilla metálica de expansión	5 m	1
Varilla metálica simple	1,5 m de largo ½" de diámetro	1

Tabla 3.29 Materiales utilizados en la evaluación de filtros (Continuación)

Material	Capacidad	Cantidad
Muestreador de tubo PVC	1,5 m de largo 7,5 cm diámetro	1
Juego de mallas de la serie Tyler	-	1
Baldes plásticos	20 l	2
Flexómetro	3m	1
Probeta	500 mL	1
Vasos de precipitación	1 l	6

3.4.1.2 EQUIPOS

- Turbidímetro, marca Hach 2100 AN
- Cronómetro
- Balanza de alta precisión, marca Excell, capacidad 600 g.
- Equipo de agitación para granulometría.
- Estufa

3.4.2 DETERMINACIÓN DE PARÁMETROS DE PROCESO

3.4.2.1 VELOCIDAD Y CAUDAL DE FILTRACIÓN

Mediante esta prueba se determina la cantidad de agua que atraviesa cada filtro por unidad de tiempo y se puede establecer la relación entre velocidades, con el fin de determinar si se produce un filtrado de calidad.

- Utilizando medición directa, determinar el área de filtración de las unidades.
- Una vez finalizado el lavado y llenado del filtro a evaluar, colocar el flexómetro a un costado de la unidad y cerrar la válvula de entrada de agua.
- Con ayuda del cronómetro, tomar el tiempo que el agua tarda en descender una distancia de 10 cm.
- Utilizando la ecuación 3.8 determinar la velocidad de filtración de cada unidad.

$$V_{filtración} = \frac{\Delta h}{t} \quad (3.8)$$

- Obtener el caudal de filtración multiplicando la velocidad de filtración por el área filtrante determinada.

Los resultados de esta prueba se presentan en la Tabla 3.30.

Tabla 3.30 Velocidades y caudales de filtración

Parámetro	Unidad	Filtro 1	Filtro 2	Filtro 3	Filtro 4	Filtro 5	Filtro 6
Velocidad de filtrado	cm/s	0,33	0,23	0,48	0,39	0,36	0,22
Área de filtración	m ²	46,40					
Tasa de filtrado	m ³ /s	0,155	0,107	0,225	0,183	0,166	0,103

ELABORACIÓN: Toapanta & Tualombo

3.4.2.2 CALIDAD DEL FILTRADO INICIAL

Mediante esta prueba se pretende determinar el comportamiento del filtro al iniciar su carrera de filtración y verificar el tiempo que tarda en generar la turbiedad adecuada después de un ciclo de lavado.

- Ubicar el canal de aislamiento de cada filtro o un vertedero que permita acceder al agua filtrada individualmente.
- Una vez concluido el lavado del filtro, proceder a tomar 150 mL de muestra cada minuto hasta completar los 15 minutos.
- Medir la turbiedad de cada muestra y representarla en Gráficas de turbiedad vs. Tiempo.

Los datos obtenidos en esta prueba y las Gráficas de comportamiento se presentan en el Capítulo 5, la evidencia fotográfica de esta prueba se presenta en el Anexo 2.

3.4.2.3 DURACIÓN DE LA CARRERA DE FILTRACIÓN

Un sistema de filtración funciona correctamente cuando su periodo entre lavados se encuentra entre 30 y 50 horas.

- A partir del lavado del filtro, tomar 150 mL de muestra de agua filtrada de cada unidad en intervalos de tiempo de 2 horas durante 48 horas.

- Medir la turbiedad de las muestras y realizar Gráficas de turbiedad vs. Tiempo.

Los datos obtenidos en esta prueba se presentan en el Capítulo 5. Adicionalmente, la recopilación de los datos de lavado de filtros y carreras de filtración del primer semestre del año 2018 y la evidencia fotográfica de esta prueba se muestran en los Anexos 2 y 3 respectivamente.

3.4.2 DETERMINACIÓN DE LA EFICIENCIA DEL PROCESO DE FILTRACIÓN

Un adecuado proceso de filtración debe producir agua con turbiedades menores a 1 NTU para garantizar que el posterior proceso de desinfección tenga la capacidad de generar agua apta para el consumo humano.

- A partir de datos diarios de turbiedad de al menos un año, construir curvas de frecuencia acumulada. Es importante señalar que un sistema de filtración puede funcionar adecuadamente si la turbiedad del agua decantada no excede las 2 NTU durante el 95% del tiempo analizado.

Los datos obtenidos en esta prueba y las Gráficas de frecuencia se presentan en el Capítulo 5.

3.4.3 CARACTERIZACIÓN DEL LECHO FILTRANTE

3.4.3.1 GRANULOMETRÍA DEL LECHO FILTRANTE

Esta prueba tiene como objetivo determinar el tamaño de los granos que actualmente conforman el medio filtrante y compararlos con las dimensiones que tenían al iniciar la operación de la planta.

- Una vez concluido el lavado del filtro, vaciarlo completamente para poder ingresar.
- Obtener una muestra representativa de cada capa del lecho filtrante.
- Lavar cuidadosamente las muestras para eliminar el exceso de sedimentos adheridos.
- Secar y pesar las muestras.

- Colocar la muestra en el juego de mallas Tyler desde la parte superior, iniciar el proceso de agitación hasta que los granos atraviesen tantos orificios como su tamaño se los permita.
- Pesar las porciones de muestra retenidas en cada malla y expresarlas como porcentajes de la muestra total.
- Graficar los porcentajes obtenidos en escala logarítmica versus el tamaño de apertura de cada tamiz.
- Determinar el tamaño efectivo, coeficiente de uniformidad y grado de intermezcla para cada muestra.

Los datos obtenidos en esta prueba se analizan a detalle en el Capítulo 5, las Gráficas obtenidas y la evidencia fotográfica pueden encontrarse en los Anexos 2 y 3 respectivamente.

3.4.3.2 ESTADO DEL MEDIO FILTRANTE (CONTENIDO DE BOLAS DE BARRO)

Un lavado deficiente o una inadecuada frecuencia de retro lavado provocan que el lodo se acumule dentro del lecho filtrante. Esta prueba tiene por objetivo evaluar el contenido de lodo presente en cada unidad de filtración.

- Lavar normalmente el filtro; una vez concluido el lavado, drenar el agua hasta 20 cm bajo el nivel de la arena.
- Tomar varias muestras de volumen conocido en ambos lados del lecho introduciendo el muestreador hasta alcanzar la capa de grava.
- Extraer cuidadosamente las muestras y extenderlas sobre un plástico, identificar y retirar las bolas de barro y secarlas al sol.
- Colocar un volumen de agua conocido en la probeta e introducir las bolas de barro, el incremento en el nivel del agua indicará el volumen de las bolas.
- Expresar el resultado en porcentajes utilizando la ecuación 3.9.

$$\% \text{ bolas de barro} = \frac{\text{Incremento de volumen}}{\text{volumen de muestra}} \times 100 \quad (3.9)$$

Los datos obtenidos en esta prueba y su análisis correspondiente se presentan en el Capítulo 5, las fotografías respectivas pueden visualizarse en el Anexo 2.

3.4.3.3 ESPESOR DEL MEDIO FILTRANTE

Una excesiva expansión del lecho durante el lavado provoca pérdida de arena, la cual puede evidenciarse en los canales de recolección. Controlar la profundidad del lecho permite la aplicación oportuna de medidas correctivas.

- Lavar el filtro normalmente y vaciarlo completamente para poder ingresar.
- Introducir la varilla metálica hasta alcanzar la capa de grava.
- Determinar la longitud de varilla introducida y repetir la operación en varios puntos del lecho.

Los datos obtenidos y su análisis se presentan en el Capítulo 5. La evidencia fotográfica se presenta en el Anexo 2.

3.4.4 CARACTERIZACIÓN DEL PROCESO DE LAVADO DE FILTROS

3.4.4.1 EXPANSIÓN DEL LECHO FILTRANTE

La prueba permite evaluar el aumento en porcentaje del espesor del lecho durante las operaciones de lavado, utilizando la varilla metálica de expansión, diseñada específicamente para la realización de este análisis.

- Previo a iniciar el lavado del filtro, colocar el extremo inferior de la varilla sobre la superficie del lecho.
- Iniciar el lavado normalmente, mantener la varilla en la misma posición durante 3 minutos, transcurrido este tiempo retirarla cuidadosamente.
- Verificar el contenido de arena dentro de las cajas y determinar la distancia (Δh) desde el extremo inferior de la varilla hasta la última caja que contenga arena.
- Determinar la altura del lecho (h) en el punto de medición de la expansión.
- El porcentaje de expansión del lecho se determina utilizando la ecuación 3.10.

$$\% \text{ Expansión} = \frac{\Delta h}{h} \times 100 \quad (3.10)$$

Los datos obtenidos y su análisis se presentan en el Capítulo 5. La evidencia fotográfica se presenta en el Anexo 2.

3.4.4.2 DURACIÓN DEL PROCESO DE LAVADO

La prueba permite determinar el tiempo óptimo de lavado de las unidades de filtración.

- Iniciar el lavado normalmente, la caída de la primera agua de lavado en las canaletas de recolección marcará el inicio de la prueba.
- Tomar 150 mL de muestra del agua de lavado cada minuto durante 15 minutos.
- Analizar turbiedad de las muestras, registrarlas y construir Gráficas de turbiedad vs. Tiempo.

Los resultados de esta prueba se presentan en el Capítulo 5. Las fotografías de la prueba pueden apreciarse en el Anexo 2.

3.5 EVALUACIÓN DEL PROCESO DE DESINFECCIÓN

Un adecuado proceso de desinfección, juntamente con el correcto funcionamiento de las unidades de proceso en una planta de potabilización garantiza la obtención de agua microbiológicamente apta para el consumo humano a la salida de cada grifo conectado a la red de distribución (Ibarguen & Bernal, 2008).

3.5.1 DETERMINACIÓN DE CLORO RESIDUAL

Luego de la aplicación del cloro en planta, es necesario que el agua mantenga una concentración residual de cloro de mínimo 0,3 mg/L, para garantizar que se mantenga libre de microorganismos durante todo el trayecto a través de la red de distribución.

3.5.1.1 EQUIPOS

- Medidor de cloro, marca LaMotte 1200

3.5.1.2 REACTIVOS

- Reactivo DPD (dietil-p-fenilén-diamina)
- Reactivo Tampón fosfato

3.5.1.3 PROCEDIMIENTO

Previo a la determinación de cloro residual es necesario establecer varios puntos de muestreo dentro de la red de distribución, de preferencia ubicar los más alejados a la planta de potabilización.

- Tomar tres muestras de agua tratada a la salida del primer tanque de distribución.
- Determinar el contenido de cloro en las muestras de acuerdo con el método 8021 del Manual HACH para análisis de agua.
- Repetir el procedimiento extrayendo muestras de los puntos seleccionados en la red.

Los resultados obtenidos se presentan en el Capítulo 5. Las fotografías correspondientes y el mapa de la red de distribución se presentan en los Anexos 2 y 4 respectivamente.

3.5.2 DETERMINACIÓN DE LA DEMANDA DE CLORO

Representa la cantidad de cloro que se consume por todo el trayecto del agua a través de la red, desde su aplicación en planta hasta su llegada a hidrantes y domicilios.

Su determinación se realiza aplicando la fórmula 3.11, es necesario realizar previamente el procedimiento anterior.

$$\text{Demanda de cloro} = \text{Dosis de cloro} - \text{Cloro residual} \quad (3.11)$$

Los resultados de esta prueba se presentan en el Capítulo 5, las fotografías de los muestreos realizados pueden ser apreciadas en el Anexo 2.

3.5.3 TIEMPO REAL DE CONTACTO

El tiempo real de contacto del cloro gas con la masa de agua presente dentro de la cámara de contacto se determinó a través de la prueba de trazadores siguiendo el procedimiento descrito anteriormente.

- Usando la fórmula 2.2 se calculó la cantidad de trazador a utilizarse:

$$P = \frac{702.5 \text{ m}^3 \times 1.65 \times 30 \text{ g/m}^3}{0.98 \times 10^3}$$

$$P = 35.5 \text{ kg totales}$$

- Usando la fórmula 3.6 se determinó la cantidad de agua necesaria para disolver la sal.

$$V = 35.5 \text{ kg sal} \times \frac{0.1 \text{ L agua}}{0.035 \text{ kg Sal}}$$

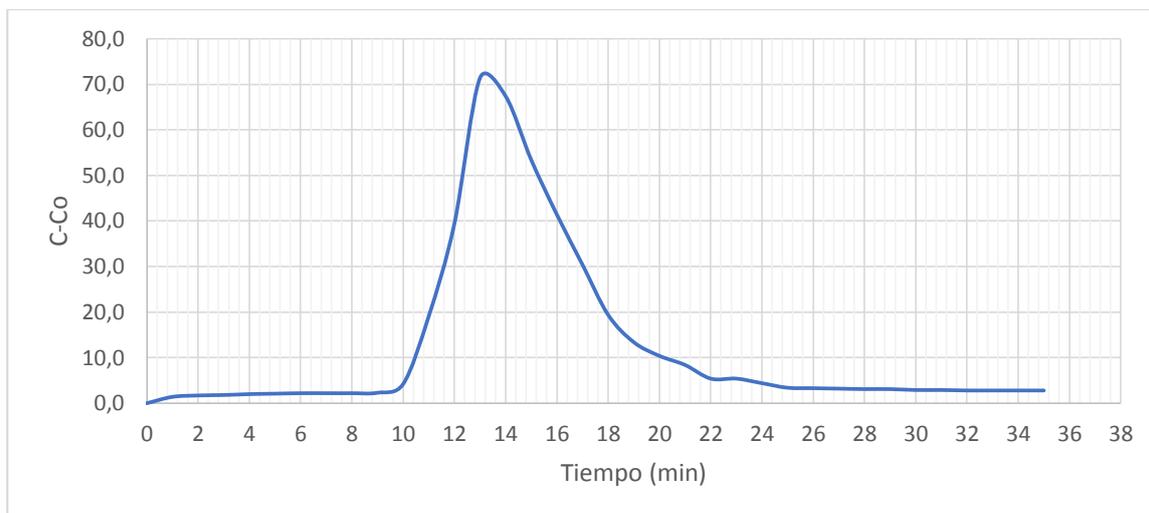
$$V = 101 \text{ L agua totales}$$

Los datos obtenidos se muestran en la Tabla 3.31, mismos que permitieron construir la Gráfica 3.11.

Tabla 3.31 Prueba de trazadores- Cámara de contacto

t (min)	C (μS/cm)	C-Co	t (min)	C (μS/cm)	C-Co
0	170,6	0,0	21	179,0	8,4
1	172,0	1,4	22	176,0	5,4
2	172,3	1,7	23	176,0	5,4
3	172,4	1,8	24	175,0	4,4
4	172,6	2,0	25	174,0	3,4
5	172,7	2,1	26	173,9	3,3
6	172,8	2,2	27	173,8	3,2
7	172,8	2,2	28	173,7	3,1
8	172,8	2,2	29	173,7	3,1
9	172,9	2,3	30	173,5	2,9
10	174,8	4,2	31	173,5	2,9
11	189,7	19,1	32	173,4	2,8
12	210,0	39,4	33	173,4	2,8
13	242,0	71,4	34	173,4	2,8
14	238,0	67,4	35	173,4	2,8
15	224,0	53,4			
16	212,0	41,4			
17	201,0	30,4			
18	190,0	19,4			
19	184,0	13,4			
20	181,0	10,4			

ELABORACIÓN: Toapanta & Tualombo

Gráfica 3.11 Prueba de trazadores 2018- Cámara de contacto

ELABORACIÓN: Toapanta & Tualombo

3.6 PARÁMETROS DE CALIDAD DEL AGUA

Los parámetros de calidad del agua fueron analizados en los laboratorios de la Planta de Tratamiento El Troje, las muestras de agua cruda, sedimentada y tratada fueron tomadas siguiendo los procedimientos establecidos en la NTE INEN 2169. No fue necesaria la adición de reactivos preservantes ni almacenamiento de estas debido a que los análisis se realizaron inmediatamente después de su toma.

3.6.1 PARÁMETROS FISICOQUÍMICOS

Los procedimientos para la determinación de estos parámetros fueron tomados del Manual HACH para análisis de agua de consumo y del Manual Estándar Methods, como se muestra en la Tabla 3.32.

Tabla 3.32 Métodos empleados para análisis fisicoquímicos del agua

Parámetro	Método
Alcalinidad	Hach 8203
Aluminio	EM 3500 B
Dureza total	EM 2340 C
Dureza cálcica	Hach 8204
Fluoruros	Hach 8029

FUENTE: Manual HACH, Estándar Methods

3.6.1.1 MATERIALES

Los materiales utilizados en las diferentes pruebas se resumen en la Tabla 3.33.

Tabla 3.33 Materiales utilizados

Material	Capacidad	Cantidad
Erlenmeyer	50 mL	28
Celdas HACH	10 mL	6
Pipeta graduada	10 mL	1
	5 mL	1
Vaso de precipitación	50 mL	6

3.6.1.2 EQUIPOS

- Espectrofotómetro, marca Hach DR 2800
- Bureta digital, marca Brand 50 mL.
- Bureta automática, marca Fisherbrand 5 mL.
- Dispensador digital, marca Brand 1 mL.

3.6.1.3 REACTIVOS

- Solución de amoníaco buffer pH 10
- Indicador Negro de eriocromo
- Indicador anaranjado de metilo
- Solución EDTA 0.01M
- Solución NaOH 1N
- Solución H₂SO₄ 0.02N
- Murexida
- Reactivo ECR (Cianina R de Eriocromo)
- Solución activadora ECR
- Reactivo buffer Exametilen tetramina
- Reactivo SPANDS

3.6.2 ANÁLISIS MICROBIOLÓGICO

Se utilizaron los procedimientos de Estándar Methods para la determinación de coliformes totales y fecales en muestras individuales de agua cruda, sedimentada y tratada.

3.6.2.1 MATERIALES

Los materiales utilizados en la determinación de coliformes totales y *E. Coli* se detallan en la Tabla 3.34.

Tabla 3.34 Materiales utilizados

Material	Capacidad	Cantidad
Tubos de ensayo	20 mL	40
Caja Petri	-	3
Pipeta graduada	10 mL	1
	1 mL	1
Vaso de precipitación	1000 mL	1
Gradilla soporte para tubos	40 tubos	1
Mechero	-	1

3.6.2.2 EQUIPOS

- Estufa
- Incubadora
- Lámpara de luz ultravioleta
- Contador de colonias marca Reichert
- Autoclave

3.6.2.3 REACTIVOS

- Caldo LMX Fluorocult para microbiología
- Reactivo del Indol según KOVÁČ

CAPÍTULO 4

PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE

EL TROJE

4.1 ABASTECIMIENTO DE AGUA EN QUITO

El sistema de abastecimiento de agua potable para el DMQ cuenta con una red de tuberías cuya longitud se estima cerca de los 7128 km, las cuales se encuentran conectadas a los 436 tanques de distribución, generando un circuito que alimenta aproximadamente al 98,50% del DMQ. La topografía de la ciudad y el crecimiento de esta hacia terrenos de mayor altitud hacen necesaria la utilización de 31 estaciones de bombeo que suministran el líquido vital hacia los tanques más altos de la red (EPMAPS, 2018).

4.2 SISTEMA DE CONDUCCIÓN LA MICA-QUITO SUR

4.2.1 LAGUNA MICACOCHA

La laguna de Micacocha ubicada entre los cerros Micaloma y Loma Gorda, en la provincia de Napo, es parte de la Reserva Ecológica Antisana, tiene origen volcánico y glaciario, además da lugar al nacimiento del río Antisana que forma parte del proyecto Mica – Quito Sur, que desde 1997 abastece de agua potable al sur de la ciudad de Quito. Las aguas de esta laguna han sido analizadas y se ha encontrado la presencia de coliformes fecales en cantidades mayores a lo permitido para agua de consumo humano, por lo que se considera como agua de mediana calidad y debe ser tratada previamente a su consumo (MAE, 2018).

4.2.2 CAPTACIÓN Y CONDUCCIÓN

El sistema de captación inicia a 70 Km al sureste de Quito, en la presa construida en la laguna Micacocha, en su etapa inicial recibe las aguas del río Desaguadero, el cual conduce el drenaje natural de la laguna. Este tramo transporta alrededor de 1700 L/s de agua cruda, del cual se alimenta la central hidroeléctrica El Carmen, misma que aprovecha una caída de 611 m para generar 9,49 MW de potencia nominal.

Adicional a la captación de la laguna Micacocha, el sistema La Mica-Quito Sur se alimenta de otras tres captaciones: río Antisana, río Jatunhuaycu y río Diguchi, los cuales están diseñados para conducir 1500, 400 y 150 L/s, respectivamente (Torres, 2005).

El sistema La Mica-Quito sur está compuesto de dos tipos de conducción, los cuales se describen en la Tabla 4.1.

Tabla 4.1 Componentes del sistema La Mica-Quito sur

Conducción	Tramo	Longitud (m)	Descripción	Alcance
Conducción superior	Primer tramo	4250	Tubería de acero de 1080mm de diámetro, revestida interna y externamente	Desde la presa La Mica hasta el inicio del túnel N°2
	Segundo tramo	2990	Tubería de conducción instalada sobre apoyos de hormigón armado	Túnel N°2
	Tercer tramo	3490	Tubería de acero de 1080mm de diámetro, enterrada en una zanja de 3m de profundidad media	Salida del túnel N°2 hasta la entrada al túnel N°3
	Cuarto tramo	290	Túnel de sección similar a la del N°2, tubería apoyada sobre sillas de hormigón	Túnel N°3

Tabla 4.1 Componentes del sistema La Mica-Quito sur (Continuación)

Conducción	Tramo	Longitud (m)	Descripción	Alcance
Conducción superior	Quinto tramo	6470	Tubería de acero de 1080mm de diámetro, revestida interna y externamente	Salida del túnel N°3 hasta chimenea de equilibrio
	Sexto tramo	3342	Desnivel de 520 m	Chimenea de equilibrio hasta casa de máquinas
Conducción inferior	Tramo único	24000	Tubería de acero de 914mm revestida en ambos lados, desde la elevación 3303 hasta la 3157 m.s.n.m.	Salida de la central El Carmen hasta la Planta Potabilizadora El Troje

FUENTE: Torres, 2005.

4.3 DESCRIPCIÓN GENERAL DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE EL TROJE

4.3.1 ANTECEDENTES

En las últimas décadas la ciudad de Quito ha experimentado un muy acelerado crecimiento, siendo el sector sur, el de mayor concentración poblacional. La principal fuente de agua potable para este sector, hasta fines del siglo pasado, fue la planta de tratamiento de Puengasí, la cual está diseñada para tratar 2400 L/s; sin embargo, debido a la expansión de la urbe hacia zonas más alejadas y teniendo en cuenta que la captación para esta planta tiene como fuente de alimentación principal las aguas del río Pita, siendo este un sistema muy vulnerable ante una posible erupción del volcán Cotopaxi, la empresa, en ese entonces EMAAP-Q a

través de su Programa de Saneamiento Ambiental para el DMQ (PSA) plantea la construcción del módulo I de la Planta de Tratamiento de Agua Potable “El Troje” (PTAET) dentro del proyecto “La Mica-Quito sur”, como alternativa para solucionar la creciente demanda de agua potable (Torres, 2005).

La Planta entró en operación en mayo del año 2000, se encuentra edificada en la cota 3157 m.s.n.m en una elevación geográfica denominada el Troje, actualmente abastece la demanda de agua potable de 120 barrios del sur, localizados entre Guajaló y Guamaní, entre los que destacan Chillogallo, Turubamba, Caupicho y San Fernando (EPMAPS, 2018). La Figura 4.1 muestra la ubicación y distribución de la planta.

Figura 4.1 Ubicación de la PTAET

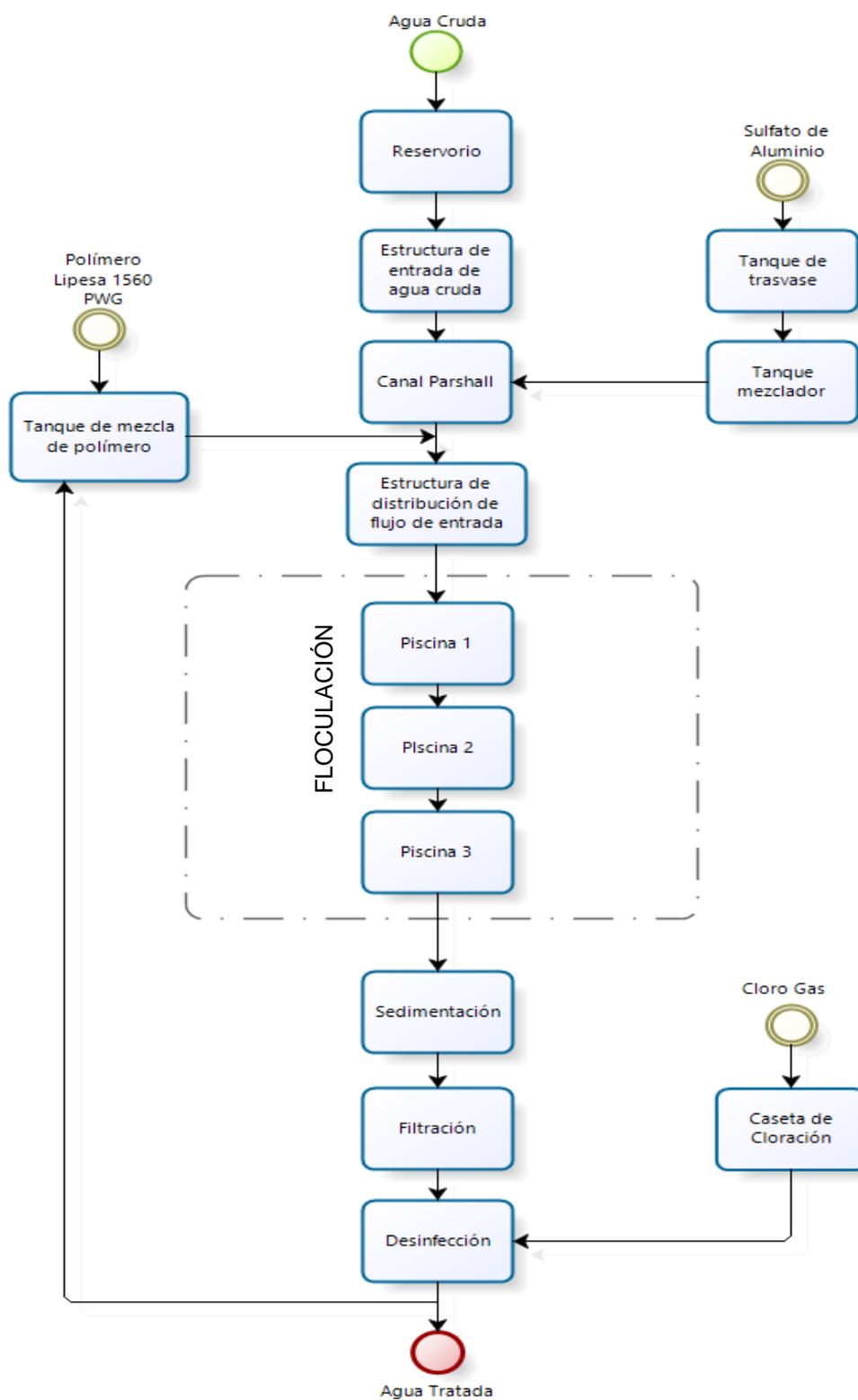


Fuente: Google Maps, 2018.

El módulo I de la PTAET está diseñado para tratar un caudal máximo de 850 L/s, actualmente se encuentra operando con caudales que oscilan entre los 550 y 750 L/s.

La figura 4.2 muestra el diagrama del proceso de potabilización de la PTAET.

Figura 4.2 Diagrama del proceso de potabilización de la PTAET



ELABORACIÓN: Toapanta & Tualombo

4.3.2. ESTRUCTURA GENERAL DE LA PTAET

Para el desempeño y desarrollo de las actividades la PTAET cuenta con diferentes áreas, edificios y unidades de proceso:

- Reservoirio de agua
- Áreas administrativa, de mantenimiento y seguridad
- Áreas y unidades de procesos
- Tanques de reserva
- Áreas de recreación

Los planos del detalle y estructura de cada una de las áreas se encuentran en el Anexo 4.

4.3.2.1 RESERVA DE AGUA CRUDA

El agua transportada a través del sistema Mica – Quito Sur llega a la PTAET y se recoge en un reservorio de 7140 m³ de capacidad, en un área que ocupa 2,348 ha, para luego ser distribuida hacia las dos fases de la planta para su posterior tratamiento, además, una parte de esta agua se purga aguas abajo para ser llevada al canal Pita Tambo y aumentar el caudal que llega a la planta de Puengasí (Torres, 2005).

Debido al tiempo que permanece el agua en el reservorio y a su baja velocidad, el agua tiene tiempo para lograr sedimentar y se puede considerar como un sistema de pre-sedimentación.

4.3.2.2. ÁREAS ADMINISTRATIVA, DE MANTENIMIENTO Y SEGURIDAD

- **EDIFICIO DE USO MÚLTIPLE**

Comprende varias áreas como jefatura de planta, secretaría, laboratorio de control de calidad, cocina y comedor, sala de reuniones, cuarto de operación, cuarto de almacenamiento de sustancias químicas y enfermería.

- **EDIFICIO DE OBRA CIVIL Y GUARDIANÍA**

Es el lugar de trabajo del personal de obra civil, encargados del mantenimiento de la planta, así como del personal de seguridad.

- **EDIFICIO DE MANTENIMIENTO**

El edificio consta de un taller de electromecánica en la planta baja, que cuenta con los equipos y herramientas necesarias para dar mantenimiento y solucionar los problemas que podrían interferir con la normal operación de la planta. En la planta alta se ubican oficinas para el personal.

4.3.2.3 ÁREAS Y UNIDADES DE PROCESOS

- **TANQUES DE MEZCLA DE POLÍMERO**

La PTAET dispone de dos tanques de concreto de 1m^3 de capacidad en donde se prepara la solución de polímero que se dosifica en el agua, cada tanque cuenta con un embudo en el que se coloca la cantidad de polímero necesaria, una tubería que suministra agua cruda para la dilución y unas paletas mecánicas para la mezcla. La preparación de polímero se realiza de forma manual por el personal de operación cada 24 horas, además existe un sistema de notificación sonora en caso de desbordamiento o tanque vacío.

- **TANQUE DE TRASVASE DE $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$**

Los tanqueros que transportan $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ llegan a estos tanques cisternas de concreto, ubicados bajo el nivel del suelo para descargar directamente el sulfato, aquí se almacena para ser conducido hacia los mezcladores cuando sea necesario, a través de un sistema de bombeo. Cada uno de los dos tanques puede almacenar 50 m^3 .

- **TANQUE MEZCLADOR DE $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$**

El sulfato se bombea desde el trasvase hacia dos tanques de 7 m^3 de capacidad cada uno, para ser homogenizado con ayuda de paletas mecánicas, luego de esto es llevado hacia la zona de dosificación en el resalto hidráulico.

- **MEZCLA RÁPIDA**

El agua que pasa del reservorio llega a un mezclador tipo Parshall en el que se lleva a cabo la mezcla rápida, la dosificación de floculante ($\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$) se realiza en el punto del resalto hidráulico para que la turbulencia del agua en ese momento favorezca una buena mezcla (Torres, 2005). El agua ya con $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ avanza su trayecto y de forma inmediata se inyecta un polímero catiónico que ayude a la formación de flóculos, esto antes de que inicie la etapa de floculación.

- **MEZCLA LENTA**

Antes del rediseño realizado en los floculadores en el año 2005, la PTAET según Torres (2005), contaba con cuatro floculadores hidráulicos de flujo horizontal con un tiempo de retención de 25 min cada uno, el mismo que presentaba gradientes de velocidades bajos que no favorecían una adecuada formación del floc (Muñoz, 2013), es así que se opta por la utilización de pantallas deflectoras construidas en fibra de vidrio al final de cada etapa de la floculación, esto permite que el flujo que ingresa en forma horizontal choque en las pantallas y regrese, permitiendo así una mejor mezcla del flujo de ingreso; cada floculador cuenta con tres tramos y cada tramo posee su propio gradiente de velocidad y tiempo de retención.

Tabla 4.2. Tiempo de retención y gradiente para cada tramo de los floculadores.

Floculador	Gradiente (s^{-1})	Tiempo de retención (min)
Piscina 1	20-40	8
Piscina 2	15-20	10
Piscina 3	10-15	12

FUENTE: Muñoz, 2013

ELABORACIÓN: Toapanta & Tualombo

- **SEDIMENTACIÓN**

Según Torres (2005), la PTAET posee cuatro sedimentadores compuestos de dos módulos de alta tasa con seditubos, el agua ingresa desde el floculador a través de un canal de distribución de concreto, cada canal reparte el agua por orificios de $\varnothing = 250$ mm a dos módulos; en la parte inferior existe una estructura triangular a lo largo de todo el sedimentador, esta cuenta con un tubo PVC de $\varnothing = 250$ mm con

perforaciones de $\varnothing = 60$ mm para purgar los lodos, los cuales son evacuados y dirigidos a un equalizador, sin embargo el diseño actual no permite una adecuada purga de lodos ya que estos permanecen estancados en la parte baja. El efluente pasa por tuberías de acero de $\varnothing = 200$ mm con orificios de 25 mm ubicadas de forma transversal. El tiempo de retención aproximado es de 30 min (Muñoz, 2013).

- **SISTEMA DE FILTRACIÓN**

Actualmente se opera con seis filtros rápidos de tasa declinante, los cuales se lavan en forma secuencial con retrolavado sin taponamiento por aire de flujo ascendente, con agua sedimentada, por un tiempo aproximado de 7 min. El lecho filtrante se compone de arena, antracita y grava, el mismo que se ha mantenido en operación desde el inicio de la planta en el año 2000, al momento no se ha renovado el material del lecho. La alerta para los lavados se hace a través de un sistema automático que mide el nivel de agua en un canal de filtros, se cuenta con las válvulas y tuberías necesarias para controlar la salida y entrada de agua a cada filtro según sea la necesidad.

- **DESINFECCIÓN**

El agua filtrada se recolecta en una sola cámara de interconexión para luego pasar a una estructura que genera la turbulencia necesaria para mezclar el cloro gas que se dosifica de manera sumergida a través de un tubo perforado, el agua clorada avanza por la cámara de contacto por un tiempo aproximado de 10 min, hasta llegar a la estructura de salida.

- **TANQUES DE RESERVA DE AGUA TRATADA**

La PTAET cuenta con dos tanques de reserva para el agua tratada previo a la distribución, el primero es el tanque Troje Alto Planta con una capacidad de 3100 m³ y el segundo tanque, llamado Troje Alto Planta #2, inaugurado en el año 2017 tiene un volumen de almacenamiento de 14000 m³.

- **ECUALIZADOR DE LODOS**

El proceso de potabilización genera residuos en forma de lodos que se tienen que purgar del sistema de tratamiento, este lodo, así como el agua utilizada para lavar los filtros se lleva a una estructura que tiene como objetivo canalizar y homogenizar la mezcla líquida producida de manera que no represente un riesgo para la población aguas abajo. La capacidad total del ecualizador es 368,22 m³, sin embargo, nunca se llega a llenar totalmente ya que su uso es intermitente solamente cuando se realizan los trabajos de limpieza ya sea de los floculadores, sedimentadores, filtros o purgas, evitando así que exista algún riesgo de desbordamiento.

CAPÍTULO 5

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

5.1 DIAGNÓSTICO PRELIMINAR DE LAS UNIDADES PRINCIPALES

5.1.1 DIMENSIONES REALES EN UNIDADES PRINCIPALES

Las dimensiones registradas durante los recorridos preliminares de las principales unidades de la PTAET se presentan en las Tablas 5.1, 5.2 y 5.3.

Tabla 5.1 Dimensiones reales-Floculadores

Dimensiones floculadores								
Unidad	Piscina	Profundidad (m)	Calado (m)	Largo (m)	Ancho (m)	Ducto de ingreso (m ³)	Área sup. (m ²)	Volumen (m ³)
Unidad 1	1	1,99	0,63	11,42	5,50	2,25	62,81	83,17
	2	2,55	0,68	11,42	5,49		62,64	117,13
	3	3,08	0,71	11,42	5,43		62,01	146,97
Unidad 2	1	2,05	0,64	11,42	5,49	2,26	62,70	86,14
	2	2,53	0,67	11,42	5,49		62,70	116,61
	3	3,08	0,72	11,44	5,44		62,23	146,87
Unidad 3	1	2,00	0,62	11,45	5,48	2,25	62,75	84,65
	2	2,54	0,65	11,45	5,50		62,95	118,97
	3	3,09	0,68	11,44	5,42		62,00	149,12
Unidad 4	1	2,01	0,64	11,41	5,49	2,26	62,64	83,87
	2	2,56	0,67	11,40	5,47		62,36	117,86
	3	3,09	0,71	11,39	5,42		61,73	147,24
Volumen total								1398,60

ELABORACIÓN: Toapanta & Tualombo

Tabla 5.2 Dimensiones reales- Sedimentadores

Dimensiones sedimentadores				
Unidades	Módulo	Largo (m)	Ancho (m)	Área sup. (m ²)
Unidades 1	Norte	17,33	4,91	85,09
	Sur	17,32	4,86	84,18
Unidades 2	Norte	17,29	4,90	84,72
	Sur	17,31	4,88	84,47

Tabla 5.2 Dimensiones reales- Sedimentadores (Continuación)

Dimensiones sedimentadores				
Unidades	Módulo	Largo (m)	Ancho (m)	Área sup. (m ²)
Unidades 3	Norte	17,31	4,92	85,17
	Sur	17,32	4,88	84,52
Unidades 4	Norte	17,32	4,88	84,52
	Sur	17,30	4,89	84,60
Área superficial total				677,26

ELABORACIÓN: Toapanta & Tualombo

Tabla 5.3 Dimensiones reales- Filtros

Dimensiones filtros			
Unidades	Largo (m)	Ancho (m)	Área sup. (m ²)
Unidad 1	7,46	6,22	46,40
Área de filtración total			278,41

ELABORACIÓN: Toapanta & Tualombo

5.1.2 GRÁFICA DE POTENCIAL DE PRODUCCIÓN DE LA PTAET

Utilizando las dimensiones reportadas en las Tablas anteriores, se calculó la capacidad real a la cual se encuentran operando las unidades principales de la planta. La Tabla 5.4 muestra estos resultados.

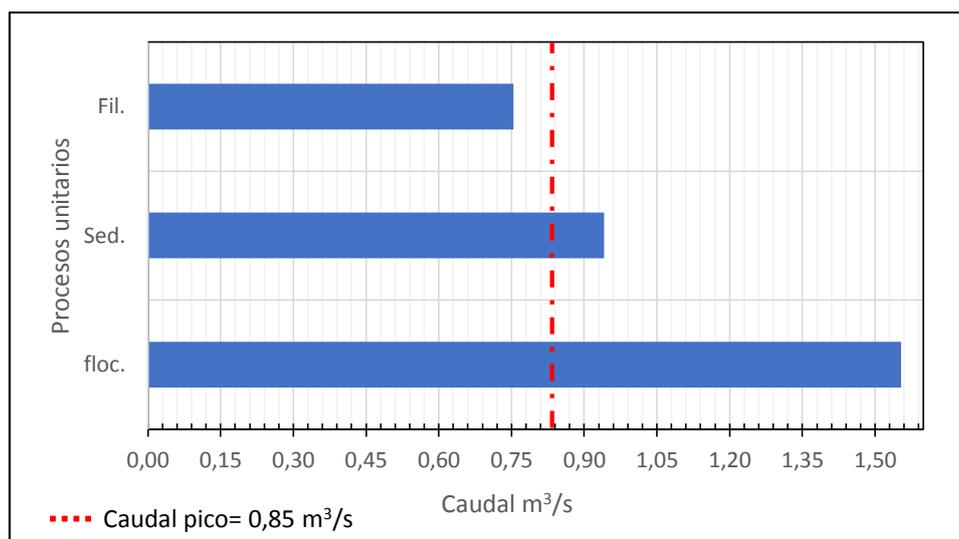
Tabla 5.4 Capacidad real de operación-Unidades principales PTAET

Floculadores			
Volumen (m ³)	Temperatura (°C)	t. retención (min)	Caudal (m ³ /s)
1398,60	10,8	15	1,55
Sedimentadores			
Área sup. (m ²)	Tasa sup. (m ³ /m ² *d)	Capacidad (m ³ /d)	Caudal (m ³ /s)
677,26	120	81271,76	0,94
Filtros			
Área (m ²)	Tasa filtración (m ³ /m ² *d)	Capacidad (m ³ /d)	Caudal (m ³ /s)
278,41	234	65147,28	0,75

ELABORACIÓN: Toapanta & Tualombo

Los cálculos realizados permitieron elaborar los histogramas contenidos en la Gráfica 5.1, en ésta se muestra que las unidades de floculación y sedimentación operan sobre su capacidad de producción, mientras que las unidades de filtrado se encuentran en condiciones de producir el caudal pico.

Gráfica 5.1 Gráfica de potencial de producción- PTAET 2018



ELABORACIÓN: Toapanta & Tualombo

5.2 RESULTADOS DE LA PRUEBA CON TRAZADORES

5.2.1 FLOCULADORES

La Tabla 5.5 muestra los datos de condiciones iniciales de las piscinas previo a la adición del trazador.

Tabla 5.5 Condiciones iniciales-Floculadores

Parámetro	Floculador I			Floculador II			Floculador III			Floculador IV		
Caudal (m³/s)	0.7											
Temp. (°C)	9.9			9.4			9.4			11.0		
Conductividad (µS/cm)	Piscinas			Piscinas			Piscinas			Piscinas		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
	172.1	172.2	172.5	152.1	152.5	152.5	157.1	156.1	155.2	186.6	186.6	186.8

Tabla 5.5 Condiciones iniciales-Floculadores (Continuación)

Parámetro	Floculador I			Floculador II			Floculador III			Floculador IV		
tr Teórico (min)	8	10	12	8	10	12	8	10	12	8	10	12
Cantidad añadida de sal (kg)	17.66			17.66			17.66			17.66		

En las Tablas 5.6, 5.7, 5.8 y 5.9 se muestran los datos obtenidos para la realización del análisis de las unidades por el método de Wolf-Resnick.

Tabla 5.6 Prueba de trazadores-Datos obtenidos Floculador I

t (min)	Piscina 1			Piscina 2			Piscina 3		
	F(t)	1-F(t)	t/to	F(t)	1-F(t)	t/to	F(t)	1-F(t)	t/to
0	0,0	100,00	0,0	0,0	100,00	0,0	0,0	100,00	0,0
1	15,2	84,78	0,1	0,7	99,33	0,1	0,5	99,52	0,1
2	31,0	69,05	0,3	4,1	95,86	0,2	1,1	98,93	0,2
3	43,6	56,43	0,4	8,4	91,63	0,3	1,9	98,09	0,3
4	52,4	47,56	0,5	13,1	86,88	0,4	3,1	96,88	0,3
5	59,8	40,16	0,6	18,0	82,05	0,5	4,5	95,46	0,4
6	66,3	33,69	0,8	23,1	76,94	0,6	6,4	93,63	0,5
7	70,7	29,27	0,9	28,2	71,79	0,7	8,4	91,63	0,6
8	74,4	25,61	1,0	33,2	66,83	0,8	10,5	89,55	0,7
9	77,6	22,36	1,1	38,0	62,04	0,9	12,7	87,32	0,8
10	80,2	19,83	1,3	42,6	57,41	1,0	15,2	84,77	0,8
11	82,3	17,70	1,4	46,9	53,10	1,1	17,6	82,40	0,9
12	83,9	16,14	1,5	51,0	48,95	1,2	20,1	79,85	1,0
13	85,5	14,53	1,6	55,0	45,00	1,3	22,9	77,12	1,1
14	87,0	13,02	1,8	58,6	41,37	1,4	25,7	74,35	1,2
15	88,0	11,97	1,9	62,1	37,94	1,5	28,5	71,51	1,3
16	88,9	11,08	2,0	65,3	34,75	1,6	31,2	68,81	1,3
17	89,7	10,28	2,1	68,2	31,80	1,7	34,0	66,04	1,4
18	90,6	9,39	2,3	71,0	28,97	1,8	36,7	63,31	1,5
19	91,5	8,49	2,4	73,5	26,54	1,9	39,4	60,58	1,6
20	92,4	7,60	2,5	75,6	24,42	2,0	42,1	57,92	1,7
21	93,1	6,91	2,6	77,5	22,47	2,1	44,7	55,33	1,8
22	93,6	6,42	2,8	79,3	20,72	2,2	47,2	52,78	1,8
23	94,1	5,88	2,9	80,9	19,13	2,3	49,7	50,26	1,9
24	94,5	5,50	3,0	82,5	17,54	2,4	52,3	47,75	2,0
25	94,9	5,07	3,1	83,9	16,11	2,5	54,7	45,34	2,1
26	95,3	4,68	3,3	85,2	14,80	2,6	57,0	43,01	2,2

Tabla 5.6 Prueba de trazadores-Datos obtenidos Floculador I (Continuación)

t (min)	Piscina 1			Piscina 2			Piscina 3		
	F(t)	1-F(t)	t/to	F(t)	1-F(t)	t/to	F(t)	1-F(t)	t/to
27	95,7	4,30	3,4	86,4	13,56	2,7	59,1	40,86	2,3
28	95,9	4,07	3,5	87,5	12,45	2,8	61,3	38,74	2,3
29	96,1	3,89	3,6	88,6	11,42	2,9	63,2	36,84	2,4
30	96,2	3,76	3,8	89,5	10,47	3,0	65,1	34,87	2,5
31	96,4	3,58	3,9	90,3	9,68	3,1	66,9	33,09	2,6
32	96,6	3,35	4,0	91,1	8,93	3,2	68,7	31,33	2,7
33	96,8	3,17	4,1	91,8	8,21	3,3	70,3	29,66	2,8
34	97,0	3,04	4,3	92,5	7,54	3,4	72,0	28,05	2,8
35	97,0	2,97	4,4	93,1	6,95	3,5	73,4	26,55	2,9
36	97,1	2,89	4,5	93,6	6,40	3,6	74,9	25,05	3,0
37	97,2	2,76	4,6	94,1	5,93	3,7	76,3	23,67	3,1
38	97,3	2,69	4,8	94,5	5,49	3,8	77,6	22,39	3,2
39	97,4	2,61	4,9	94,9	5,06	3,9	78,9	21,11	3,3
40	97,5	2,53	5,0	95,3	4,67	4,0	80,1	19,94	3,3
41	97,6	2,40	5,1	95,6	4,36	4,1	81,2	18,77	3,4
42	97,7	2,33	5,3	95,9	4,09	4,2	82,3	17,71	3,5
43	97,7	2,25	5,4	96,2	3,81	4,3	83,3	16,68	3,6
44	97,8	2,17	5,5	96,4	3,58	4,4	84,2	15,77	3,7
45	97,9	2,10	5,6	96,6	3,39	4,5	85,2	14,81	3,8
46	98,0	2,02	5,8	96,8	3,20	4,6	86,1	13,93	3,8
47	98,0	1,97	5,9	97,0	3,02	4,7	86,9	13,10	3,9
48	98,1	1,94	6,0	97,1	2,86	4,8	87,7	12,31	4,0
49	98,1	1,86	6,1	97,3	2,72	4,9	88,4	11,57	4,1
50	98,2	1,83	6,3	97,4	2,57	5,0	89,2	10,85	4,2
51	98,2	1,79	6,4	97,6	2,45	5,1	89,8	10,22	4,3
52	98,3	1,72	6,5	97,7	2,33	5,2	90,4	9,64	4,3
53	98,3	1,67	6,6	97,8	2,23	5,3	91,0	9,05	4,4
54	98,4	1,61	6,8	97,9	2,13	5,4	91,5	8,51	4,5
55	98,4	1,57	6,9	98,0	2,05	5,5	92,0	8,01	4,6
56	98,5	1,50	7,0	98,0	1,97	5,6	92,5	7,52	4,7
57	98,6	1,45	7,1	98,1	1,89	5,7	92,9	7,10	4,8
58	98,6	1,40	7,3	98,2	1,82	5,8	93,3	6,71	4,8
59	98,6	1,37	7,4	98,3	1,75	5,9	93,7	6,33	4,9
60	98,6	1,35	7,5	98,3	1,68	6,0	94,0	5,95	5,0
61	98,7	1,29	7,6	98,4	1,62	6,1	94,4	5,59	5,1
62	98,7	1,25	7,8	98,4	1,57	6,2	94,7	5,27	5,2
63	98,8	1,21	7,9	98,5	1,52	6,3	95,0	4,96	5,3
64	98,8	1,18	8,0	98,5	1,48	6,4	95,3	4,67	5,3

Tabla 5.6 Prueba de trazadores-Datos obtenidos Floculador I (Continuación)

t (min)	Piscina 1			Piscina 2			Piscina 3		
	F(t)	1-F(t)	t/to	F(t)	1-F(t)	t/to	F(t)	1-F(t)	t/to
65	98,8	1,16	8,1	98,6	1,43	6,5	95,6	4,40	5,4
66	98,9	1,13	8,3	98,6	1,38	6,6	95,8	4,16	5,5
67	98,9	1,11	8,4	98,7	1,34	6,7	96,1	3,93	5,6
68	98,9	1,09	8,5	98,7	1,31	6,8	96,3	3,73	5,7
69	98,9	1,08	8,6	98,7	1,28	6,9	96,5	3,53	5,8
70	98,9	1,06	8,8	98,8	1,25	7,0	96,7	3,34	5,8
71	99,0	1,04	8,9	98,8	1,22	7,1	96,8	3,15	5,9
72	99,0	1,03	9,0	98,8	1,20	7,2	97,0	2,99	6,0
73	99,0	0,99	9,1	98,8	1,17	7,3	97,2	2,84	6,1
74	99,0	0,95	9,3	98,9	1,15	7,4	97,3	2,69	6,2
75	99,1	0,91	9,4	98,9	1,13	7,5	97,5	2,54	6,3
76	99,1	0,89	9,5	98,9	1,11	7,6	97,6	2,41	6,3
77	99,1	0,86	9,6	98,9	1,09	7,7	97,7	2,29	6,4
78	99,2	0,84	9,8	98,9	1,06	7,8	97,8	2,18	6,5
79	99,2	0,78	9,9	99,0	1,04	7,9	97,9	2,07	6,6
80	99,2	0,77	10,0	99,0	1,02	8,0	98,0	1,97	6,7
81	99,2	0,76	10,1	99,0	1,00	8,1	98,1	1,87	6,8
82	99,3	0,73	10,3	99,0	0,97	8,2	98,2	1,78	6,8
83	99,3	0,72	10,4	99,1	0,95	8,3	98,3	1,69	6,9
84	99,3	0,70	10,5	99,1	0,93	8,4	98,4	1,60	7,0
85	99,3	0,67	10,6	99,1	0,90	8,5	98,5	1,52	7,1
86	99,4	0,64	10,8	99,1	0,87	8,6	98,6	1,44	7,2
87	99,4	0,62	10,9	99,2	0,84	8,7	98,6	1,37	7,3
88	99,4	0,59	11,0	99,2	0,82	8,8	98,7	1,30	7,3
89	99,4	0,57	11,1	99,2	0,79	8,9	98,8	1,24	7,4
90	99,5	0,54	11,3	99,2	0,76	9,0	98,8	1,17	7,5
91	99,5	0,52	11,4	99,3	0,73	9,1	98,9	1,11	7,6
92	99,5	0,49	11,5	99,3	0,70	9,2	98,9	1,06	7,7
93	99,5	0,47	11,6	99,3	0,68	9,3	99,0	1,02	7,8
94	99,6	0,44	11,8	99,4	0,65	9,4	99,0	0,97	7,8
95	99,6	0,41	11,9	99,4	0,62	9,5	99,1	0,92	7,9
96	99,6	0,39	12,0	99,4	0,59	9,6	99,1	0,87	8,0
97	99,6	0,36	12,1	99,4	0,56	9,7	99,2	0,82	8,1
98	99,7	0,34	12,3	99,5	0,54	9,8	99,2	0,77	8,2
99	99,7	0,31	12,4	99,5	0,51	9,9	99,3	0,73	8,3
100	99,7	0,29	12,5	99,5	0,48	10,0	99,3	0,69	8,3
101	99,7	0,27	12,6	99,5	0,46	10,1	99,3	0,65	8,4
102	99,8	0,25	12,8	99,6	0,43	10,2	99,4	0,61	8,5

Tabla 5.6 Prueba de trazadores-Datos obtenidos Floculador I (Continuación)

t (min)	Piscina 1			Piscina 2			Piscina 3		
	F(t)	1-F(t)	t/to	F(t)	1-F(t)	t/to	F(t)	1-F(t)	t/to
103	99,8	0,23	12,9	99,6	0,41	10,3	99,4	0,57	8,6
104	99,8	0,20	13,0	99,6	0,38	10,4	99,5	0,54	8,7
105	99,8	0,18	13,1	99,6	0,36	10,5	99,5	0,50	8,8
106	99,8	0,16	13,3	99,7	0,34	10,6	99,5	0,46	8,8
107	99,9	0,14	13,4	99,7	0,31	10,7	99,6	0,43	8,9
108	99,9	0,12	13,5	99,7	0,29	10,8	99,6	0,39	9,0
109	99,9	0,11	13,6	99,7	0,26	10,9	99,6	0,35	9,1
110	99,9	0,10	13,8	99,8	0,24	11,0	99,7	0,32	9,2
111	99,9	0,09	13,9	99,8	0,22	11,1	99,7	0,28	9,3
112	99,9	0,08	14,0	99,8	0,19	11,2	99,8	0,25	9,3
113	99,9	0,07	14,1	99,8	0,17	11,3	99,8	0,21	9,4
114	99,9	0,06	14,3	99,9	0,14	11,4	99,8	0,18	9,5
115	99,9	0,05	14,4	99,9	0,12	11,5	99,9	0,15	9,6
116	100,0	0,04	14,5	99,9	0,10	11,6	99,9	0,12	9,7
117	100,0	0,03	14,6	99,9	0,07	11,7	99,9	0,09	9,8
118	100,0	0,02	14,8	100,0	0,05	11,8	99,9	0,06	9,8
119	100,0	0,01	14,9	100,0	0,02	11,9	100,0	0,03	9,9
120	100,0	0,00	15,0	100,0	0,00	12,0	100,0	0,00	10,0

Tabla 5.7 Prueba de trazadores-Datos obtenidos Floculador II

t (min)	Piscina 1			Piscina 2			Piscina 3		
	F(t)	1-F(t)	t/to	F(t)	1-F(t)	t/to	F(t)	1-F(t)	t/to
0	0	100	0	0,00	100,00	0,00	0	100,00	0
1	12,78	87,22	0,13	0,02	99,98	0,10	0,02	99,98	0,08
2	28,94	71,06	0,25	3,16	96,84	0,20	0,04	99,96	0,17
3	38,55	61,45	0,38	6,96	93,04	0,30	0,14	99,86	0,25
4	46,59	53,41	0,50	11,78	88,22	0,40	0,60	99,40	0,33
5	52,69	47,31	0,63	16,52	83,48	0,50	1,22	98,78	0,42
6	57,96	42,04	0,75	21,49	78,51	0,60	2,13	97,87	0,50
7	62,58	37,42	0,88	26,54	73,46	0,70	3,27	96,73	0,58
8	66,35	33,65	1,00	31,44	68,56	0,80	4,73	95,27	0,67
9	69,24	30,76	1,13	36,22	63,78	0,90	6,28	93,72	0,75
10	71,85	28,15	1,25	40,80	59,20	1,00	8,26	91,74	0,83
11	74,18	25,82	1,38	45,15	54,85	1,10	10,33	89,67	0,92
12	76,23	23,77	1,50	49,26	50,74	1,20	12,59	87,41	1,00
13	77,83	22,17	1,63	53,15	46,85	1,30	15,02	84,98	1,08
14	79,24	20,76	1,75	56,75	43,25	1,40	17,77	82,23	1,17
15	80,44	19,56	1,88	60,13	39,87	1,50	20,68	79,32	1,25

Tabla 5.7 Prueba de trazadores-Datos obtenidos Floculador II (Continuación)

t (min)	Piscina 1			Piscina 2			Piscina 3		
	F(t)	1-F(t)	t/to	F(t)	1-F(t)	t/to	F(t)	1-F(t)	t/to
16	81,44	18,56	2,00	63,35	36,65	1,60	23,75	76,25	1,33
17	82,16	17,84	2,13	66,21	33,79	1,70	26,65	73,35	1,42
18	82,80	17,20	2,25	68,85	31,15	1,80	29,64	70,36	1,50
19	83,36	16,64	2,38	71,32	28,68	1,90	32,59	67,41	1,58
20	83,84	16,16	2,50	73,49	26,51	2,00	35,54	64,46	1,67
21	84,27	15,73	2,63	75,54	24,46	2,10	38,45	61,55	1,75
22	84,67	15,33	2,75	77,35	22,65	2,20	41,31	58,69	1,83
23	84,99	15,01	2,88	79,01	20,99	2,30	44,10	55,90	1,92
24	85,31	14,69	3,00	80,43	19,57	2,40	46,89	53,11	2,00
25	85,54	14,46	3,13	81,82	18,18	2,50	49,56	50,44	2,08
26	85,78	14,22	3,25	83,04	16,96	2,60	52,14	47,86	2,17
27	86,02	13,98	3,38	84,16	15,84	2,70	54,69	45,31	2,25
28	86,22	13,78	3,50	85,11	14,89	2,80	57,08	42,92	2,33
29	86,37	13,63	3,63	85,99	14,01	2,90	59,38	40,62	2,42
30	86,53	13,47	3,75	86,79	13,21	3,00	61,61	38,39	2,50
31	86,69	13,31	3,88	87,51	12,49	3,10	63,76	36,24	2,58
32	86,80	13,20	4,00	88,15	11,85	3,20	65,66	34,34	2,67
33	86,96	13,04	4,13	88,80	11,20	3,30	67,61	32,39	2,75
34	87,12	12,88	4,25	89,32	10,68	3,40	69,35	30,65	2,83
35	87,23	12,77	4,38	89,85	10,15	3,50	71,10	28,90	2,92
36	87,35	12,65	4,50	90,30	9,70	3,60	72,68	27,32	3,00
37	87,47	12,53	4,63	90,75	9,25	3,70	74,22	25,78	3,08
38	87,58	12,42	4,75	91,16	8,84	3,80	75,65	24,35	3,17
39	87,70	12,30	4,88	91,53	8,47	3,90	76,95	23,05	3,25
40	87,82	12,18	5,00	91,90	8,10	4,00	78,26	21,74	3,33
41	87,93	12,07	5,13	92,24	7,76	4,10	79,44	20,56	3,42
42	88,06	11,94	5,25	92,53	7,47	4,20	80,45	19,55	3,50
43	88,17	11,83	5,38	92,75	7,25	4,30	81,44	18,56	3,58
44	88,28	11,72	5,50	92,97	7,03	4,40	82,40	17,60	3,67
45	88,37	11,63	5,63	93,17	6,83	4,50	83,27	16,73	3,75
46	88,47	11,53	5,75	93,37	6,63	4,60	84,16	15,84	3,83
47	88,57	11,43	5,88	93,54	6,46	4,70	84,99	15,01	3,92
48	88,66	11,34	6,00	93,72	6,28	4,80	85,76	14,24	4,00
49	88,77	11,23	6,13	93,88	6,12	4,90	86,51	13,49	4,08
50	88,86	11,14	6,25	94,04	5,96	5,00	87,17	12,83	4,17
51	88,97	11,03	6,38	94,18	5,82	5,10	87,83	12,17	4,25
52	89,06	10,94	6,50	94,31	5,69	5,20	88,42	11,58	4,33
53	89,17	10,83	6,63	94,43	5,57	5,30	88,95	11,05	4,42

Tabla 5.7 Prueba de trazadores-Datos obtenidos Floculador II (Continuación)

t (min)	Piscina 1			Piscina 2			Piscina 3		
	F(t)	1-F(t)	t/to	F(t)	1-F(t)	t/to	F(t)	1-F(t)	t/to
54	89,26	10,74	6,75	94,55	5,45	5,40	89,50	10,50	4,50
55	89,38	10,62	6,88	94,67	5,33	5,50	90,01	9,99	4,58
56	89,49	10,51	7,00	94,78	5,22	5,60	90,46	9,54	4,67
57	89,59	10,41	7,13	94,88	5,12	5,70	90,87	9,13	4,75
58	89,71	10,29	7,25	94,98	5,02	5,80	91,29	8,71	4,83
59	89,83	10,17	7,38	95,08	4,92	5,90	91,67	8,33	4,92
60	89,93	10,07	7,50	95,17	4,83	6,00	92,05	7,95	5,00
61	90,04	9,96	7,63	95,27	4,73	6,10	92,40	7,60	5,08
62	90,15	9,85	7,75	95,36	4,64	6,20	92,72	7,28	5,17
63	90,25	9,75	7,88	95,44	4,56	6,30	93,02	6,98	5,25
64	90,38	9,62	8,00	95,53	4,47	6,40	93,30	6,70	5,33
65	90,49	9,51	8,13	95,61	4,39	6,50	93,55	6,45	5,42
66	90,63	9,37	8,25	95,69	4,31	6,60	93,80	6,20	5,50
67	90,74	9,26	8,38	95,77	4,23	6,70	94,04	5,96	5,58
68	90,84	9,16	8,50	95,85	4,15	6,80	94,28	5,72	5,67
69	90,96	9,04	8,63	95,93	4,07	6,90	94,48	5,52	5,75
70	91,07	8,93	8,75	96,00	4,00	7,00	94,69	5,31	5,83
71	91,17	8,83	8,88	96,08	3,92	7,10	94,89	5,11	5,92
72	91,27	8,73	9,00	96,15	3,85	7,20	95,08	4,92	6,00
73	91,39	8,61	9,13	96,23	3,77	7,30	95,26	4,74	6,08
74	91,49	8,51	9,25	96,31	3,69	7,40	95,44	4,56	6,17
75	91,57	8,43	9,38	96,38	3,62	7,50	95,59	4,41	6,25
76	91,68	8,32	9,50	96,45	3,55	7,60	95,74	4,26	6,33
77	91,78	8,22	9,63	96,52	3,48	7,70	95,88	4,12	6,42
78	91,89	8,11	9,75	96,59	3,41	7,80	96,02	3,98	6,50
79	92,00	8,00	9,88	96,66	3,34	7,90	96,15	3,85	6,58
80	92,11	7,89	10,00	96,74	3,26	8,00	96,27	3,73	6,67
81	92,22	7,78	10,13	96,82	3,18	8,10	96,39	3,61	6,75
82	92,33	7,67	10,25	96,91	3,09	8,20	96,49	3,51	6,83
83	92,44	7,56	10,38	96,99	3,01	8,30	96,59	3,41	6,92
84	92,56	7,44	10,50	97,07	2,93	8,40	96,70	3,30	7,00
85	92,68	7,32	10,63	97,15	2,85	8,50	96,81	3,19	7,08
86	92,86	7,14	10,75	97,23	2,77	8,60	96,92	3,08	7,17
87	93,04	6,96	10,88	97,32	2,68	8,70	97,02	2,98	7,25
88	93,21	6,79	11,00	97,40	2,60	8,80	97,12	2,88	7,33
89	93,38	6,62	11,13	97,48	2,52	8,90	97,23	2,77	7,42
90	93,61	6,39	11,25	97,56	2,44	9,00	97,32	2,68	7,50
91	93,84	6,16	11,38	97,64	2,36	9,10	97,42	2,58	7,58

Tabla 5.7 Prueba de trazadores-Datos obtenidos Floculador II (Continuación)

t (min)	Piscina 1			Piscina 2			Piscina 3		
	F(t)	1-F(t)	t/to	F(t)	1-F(t)	t/to	F(t)	1-F(t)	t/to
92	94,07	5,93	11,50	97,73	2,27	9,20	97,52	2,48	7,67
93	94,30	5,70	11,63	97,81	2,19	9,30	97,61	2,39	7,75
94	94,53	5,47	11,75	97,88	2,12	9,40	97,71	2,29	7,83
95	94,76	5,24	11,88	97,96	2,04	9,50	97,79	2,21	7,92
96	94,99	5,01	12,00	98,03	1,97	9,60	97,88	2,12	8,00
97	95,22	4,78	12,13	98,10	1,90	9,70	97,97	2,03	8,08
98	95,44	4,56	12,25	98,18	1,82	9,80	98,06	1,94	8,17
99	95,67	4,33	12,38	98,25	1,75	9,90	98,15	1,85	8,25
100	95,85	4,15	12,50	98,32	1,68	10,00	98,24	1,76	8,33
101	96,02	3,98	12,63	98,39	1,61	10,10	98,32	1,68	8,42
102	96,19	3,81	12,75	98,46	1,54	10,20	98,41	1,59	8,50
103	96,37	3,63	12,88	98,53	1,47	10,30	98,50	1,50	8,58
104	96,54	3,46	13,00	98,60	1,40	10,40	98,59	1,41	8,67
105	96,71	3,29	13,13	98,67	1,33	10,50	98,68	1,32	8,75
106	96,88	3,12	13,25	98,74	1,26	10,60	98,76	1,24	8,83
107	97,06	2,94	13,38	98,81	1,19	10,70	98,85	1,15	8,92
108	97,23	2,77	13,50	98,88	1,12	10,80	98,94	1,06	9,00
109	97,40	2,60	13,63	98,95	1,05	10,90	99,03	0,97	9,08
110	97,64	2,36	13,75	99,02	0,98	11,00	99,12	0,88	9,17
111	97,88	2,12	13,88	99,12	0,88	11,10	99,21	0,79	9,25
112	98,11	1,89	14,00	99,22	0,78	11,20	99,29	0,71	9,33
113	98,35	1,65	14,13	99,32	0,68	11,30	99,38	0,62	9,42
114	98,59	1,41	14,25	99,41	0,59	11,40	99,47	0,53	9,50
115	98,83	1,17	14,38	99,51	0,49	11,50	99,56	0,44	9,58
116	99,06	0,94	14,50	99,61	0,39	11,60	99,65	0,35	9,67
117	99,30	0,70	14,63	99,71	0,29	11,70	99,74	0,26	9,75
118	99,54	0,46	14,75	99,80	0,20	11,80	99,82	0,18	9,83
119	99,77	0,23	14,88	99,90	0,10	11,90	99,91	0,09	9,92
120	100,00	0,00	15,00	100,00	0,00	12,00	100,00	0,00	10,00

Tabla 5.8 Prueba de trazadores-Datos obtenidos Floculador III

t (min)	Piscina 1			Piscina 2			Piscina 3		
	F(t)	1-F(t)	t/to	F(t)	1-F(t)	t/to	F(t)	1-F(t)	t/to
0	0	100	0	0,00	100	0	0,0	100,0	0,0
1	1,93	98,07	0,13	0,11	99,89	0,10	0,03	99,97	0,08
2	19,14	80,86	0,25	0,90	99,10	0,20	0,34	99,66	0,17
3	36,05	63,95	0,38	3,15	96,85	0,30	0,69	99,31	0,25
4	46,89	53,11	0,50	5,91	94,09	0,40	1,43	98,57	0,33
5	55,26	44,74	0,63	8,74	91,26	0,50	2,57	97,43	0,42
6	61,08	38,92	0,75	12,93	87,07	0,60	3,74	96,26	0,50
7	66,52	33,48	0,88	17,30	82,70	0,70	5,31	94,69	0,58
8	71,22	28,78	1,00	21,80	78,20	0,80	7,12	92,88	0,67
9	75,22	24,78	1,13	26,46	73,54	0,90	9,01	90,99	0,75
10	78,60	21,40	1,25	31,03	68,97	1,00	10,97	89,03	0,83
11	81,52	18,48	1,38	35,57	64,43	1,10	13,26	86,74	0,92
12	83,83	16,17	1,50	39,95	60,05	1,20	15,77	84,23	1,00
13	85,89	14,11	1,63	44,13	55,87	1,30	18,41	81,59	1,08
14	87,74	12,26	1,75	48,07	51,93	1,40	21,17	78,83	1,17
15	89,22	10,78	1,88	51,82	48,18	1,50	23,88	76,12	1,25
16	90,45	9,55	2,00	55,33	44,67	1,60	26,76	73,24	1,33
17	91,52	8,48	2,13	58,68	41,32	1,70	29,59	70,41	1,42
18	92,47	7,53	2,25	61,83	38,17	1,80	32,43	67,57	1,50
19	93,29	6,71	2,38	64,83	35,17	1,90	35,26	64,74	1,58
20	93,98	6,02	2,50	67,59	32,41	2,00	38,09	61,91	1,67
21	94,60	5,40	2,63	70,07	29,93	2,10	40,89	59,11	1,75
22	95,09	4,91	2,75	72,48	27,52	2,20	43,64	56,36	1,83
23	95,46	4,54	2,88	74,72	25,28	2,30	46,36	53,64	1,92
24	95,74	4,26	3,00	76,81	23,19	2,40	49,08	50,92	2,00
25	95,99	4,01	3,13	78,82	21,18	2,50	51,63	48,37	2,08
26	96,19	3,81	3,25	80,52	19,48	2,60	54,11	45,89	2,17
27	96,35	3,65	3,38	82,13	17,87	2,70	56,59	43,41	2,25
28	96,51	3,49	3,50	83,67	16,33	2,80	58,91	41,09	2,33
29	96,63	3,37	3,63	85,08	14,92	2,90	61,20	38,80	2,42
30	96,75	3,25	3,75	86,38	13,62	3,00	63,40	36,60	2,50
31	96,83	3,17	3,88	87,52	12,48	3,10	65,48	34,52	2,58
32	96,91	3,09	4,00	88,63	11,37	3,20	67,45	32,55	2,67
33	96,98	3,02	4,13	89,65	10,35	3,30	69,41	30,59	2,75
34	97,05	2,95	4,25	90,51	9,49	3,40	71,38	28,62	2,83
35	97,12	2,88	4,38	91,34	8,66	3,50	73,23	26,77	2,92
36	97,19	2,81	4,50	92,04	7,96	3,60	74,88	25,12	3,00
37	97,26	2,74	4,63	92,71	7,29	3,70	76,45	23,55	3,08
38	97,33	2,67	4,75	93,30	6,70	3,80	77,98	22,02	3,17

Tabla 5.8 Prueba de trazadores-Datos obtenidos Floculador III (Continuación)

t (min)	Piscina 1			Piscina 2			Piscina 3		
	F(t)	1-F(t)	t/to	F(t)	1-F(t)	t/to	F(t)	1-F(t)	t/to
39	97,40	2,60	4,88	93,85	6,15	3,90	79,47	20,53	3,25
40	97,48	2,52	5,00	94,36	5,64	4,00	80,85	19,15	3,33
41	97,55	2,45	5,13	94,79	5,21	4,10	82,14	17,86	3,42
42	97,62	2,38	5,25	95,18	4,82	4,20	83,36	16,64	3,50
43	97,66	2,34	5,38	95,53	4,47	4,30	84,46	15,54	3,58
44	97,72	2,28	5,50	95,85	4,15	4,40	85,42	14,58	3,67
45	97,78	2,22	5,63	96,07	3,93	4,50	86,35	13,65	3,75
46	97,84	2,16	5,75	96,28	3,72	4,60	87,24	12,76	3,83
47	97,90	2,10	5,88	96,46	3,54	4,70	88,06	11,94	3,92
48	97,95	2,05	6,00	96,63	3,37	4,80	88,84	11,16	4,00
49	98,01	1,99	6,13	96,78	3,22	4,90	89,50	10,50	4,08
50	98,07	1,93	6,25	96,91	3,09	5,00	90,09	9,91	4,17
51	98,13	1,87	6,38	97,06	2,94	5,10	90,59	9,41	4,25
52	98,18	1,82	6,50	97,21	2,79	5,20	91,10	8,90	4,33
53	98,23	1,77	6,63	97,36	2,64	5,30	91,60	8,40	4,42
54	98,28	1,72	6,75	97,51	2,49	5,40	92,11	7,89	4,50
55	98,33	1,67	6,88	97,66	2,34	5,50	92,61	7,39	4,58
56	98,38	1,62	7,00	97,81	2,19	5,60	93,12	6,88	4,67
57	98,43	1,57	7,13	97,96	2,04	5,70	93,62	6,38	4,75
58	98,48	1,52	7,25	98,11	1,89	5,80	94,13	5,87	4,83
59	98,53	1,47	7,38	98,26	1,74	5,90	94,64	5,36	4,92
60	98,58	1,42	7,50	98,35	1,65	6,00	94,97	5,03	5,00
61	98,63	1,37	7,63	98,44	1,56	6,10	95,31	4,69	5,08
62	98,68	1,32	7,75	98,52	1,48	6,20	95,63	4,37	5,17
63	98,73	1,27	7,88	98,61	1,39	6,30	95,91	4,09	5,25
64	98,78	1,22	8,00	98,70	1,30	6,40	96,16	3,84	5,33
65	98,83	1,17	8,13	98,78	1,22	6,50	96,40	3,60	5,42
66	98,88	1,12	8,25	98,87	1,13	6,60	96,64	3,36	5,50
67	98,93	1,07	8,38	98,96	1,04	6,70	96,89	3,11	5,58
68	98,96	1,04	8,50	99,04	0,96	6,80	97,13	2,87	5,67
69	98,99	1,01	8,63	99,13	0,87	6,90	97,37	2,63	5,75
70	99,03	0,97	8,75	99,20	0,80	7,00	97,56	2,44	5,83
71	99,06	0,94	8,88	99,27	0,73	7,10	97,73	2,27	5,92
72	99,09	0,91	9,00	99,34	0,66	7,20	97,90	2,10	6,00
73	99,13	0,87	9,13	99,42	0,58	7,30	98,04	1,96	6,08
74	99,16	0,84	9,25	99,49	0,51	7,40	98,21	1,79	6,17
75	99,19	0,81	9,38	99,56	0,44	7,50	98,35	1,65	6,25
76	99,22	0,78	9,50	99,63	0,37	7,60	98,46	1,54	6,33

Tabla 5.8 Prueba de trazadores-Datos obtenidos Floculador III (Continuación)

t (min)	Piscina 1			Piscina 2			Piscina 3		
	F(t)	1-F(t)	t/to	F(t)	1-F(t)	t/to	F(t)	1-F(t)	t/to
77	99,26	0,74	9,63	99,70	0,30	7,70	98,57	1,43	6,42
78	99,29	0,71	9,75	99,77	0,23	7,80	98,65	1,35	6,50
79	99,32	0,68	9,88	99,84	0,16	7,90	98,73	1,27	6,58
80	99,34	0,66	10,00	99,87	0,13	8,00	98,82	1,18	6,67
81	99,36	0,64	10,13	99,90	0,10	8,10	98,90	1,10	6,75
82	99,39	0,61	10,25	99,92	0,08	8,20	98,98	1,02	6,83
83	99,41	0,59	10,38	99,95	0,05	8,30	99,06	0,94	6,92
84	99,43	0,57	10,50	99,98	0,02	8,40	99,14	0,86	7,00
85	99,45	0,55	10,63	99,98	0,02	8,50	99,22	0,78	7,08
86	99,47	0,53	10,75	99,99	0,01	8,60	99,30	0,70	7,17
87	99,49	0,51	10,88	99,99	0,01	8,70	99,36	0,64	7,25
88	99,51	0,49	11,00	100,00	0,00	8,80	99,42	0,58	7,33
89	99,53	0,47	11,13	100,00	0,00	8,90	99,48	0,52	7,42
90	99,55	0,45	11,25	100,00	0,00	9,00	99,53	0,47	7,50
91	99,58	0,42	11,38	100,00	0,00	9,10	99,58	0,42	7,58
92	99,61	0,39	11,50	100,00	0,00	9,20	99,62	0,38	7,67
93	99,64	0,36	11,63	100,00	0,00	9,30	99,66	0,34	7,75
94	99,67	0,33	11,75	100,00	0,00	9,40	99,69	0,31	7,83
95	99,69	0,31	11,88	99,99	0,01	9,50	99,72	0,28	7,92
96	99,72	0,28	12,00	99,98	0,02	9,60	99,76	0,24	8,00
97	99,75	0,25	12,13	99,98	0,02	9,70	99,79	0,21	8,08
98	99,78	0,22	12,25	99,97	0,03	9,80	99,83	0,17	8,17
99	99,81	0,19	12,38	99,96	0,04	9,90	99,87	0,13	8,25
100	99,84	0,16	12,50	99,96	0,04	10,00	99,90	0,10	8,33
101	99,85	0,15	12,63	99,97	0,03	10,10	99,91	0,09	8,42
102	99,86	0,14	12,75	99,97	0,03	10,20	99,92	0,08	8,50
103	99,88	0,12	12,88	99,98	0,02	10,30	99,93	0,07	8,58
104	99,89	0,11	13,00	99,98	0,02	10,40	99,94	0,06	8,67
105	99,90	0,10	13,13	99,98	0,02	10,50	99,94	0,06	8,75
106	99,91	0,09	13,25	99,99	0,01	10,60	99,94	0,06	8,83
107	99,93	0,07	13,38	99,99	0,01	10,70	99,95	0,05	8,92
108	99,94	0,06	13,50	100,00	0,00	10,80	99,95	0,05	9,00
109	99,95	0,05	13,63	100,00	0,00	10,90	99,96	0,04	9,08
110	99,96	0,04	13,75	100,00	0,00	11,00	99,96	0,04	9,17
111	99,97	0,03	13,88	100,00	0,00	11,10	99,96	0,04	9,25
112	99,97	0,03	14,00	100,00	0,00	11,20	99,97	0,03	9,33
113	99,98	0,02	14,13	100,00	0,00	11,30	99,97	0,03	9,42
114	99,98	0,02	14,25	100,00	0,00	11,40	99,98	0,02	9,50
115	99,98	0,02	14,38	100,00	0,00	11,50	99,98	0,02	9,58

Tabla 5.8 Prueba de trazadores-Datos obtenidos Floculador III (Continuación)

t (min)	Piscina 1			Piscina 2			Piscina 3		
	F(t)	1-F(t)	t/to	F(t)	1-F(t)	t/to	F(t)	1-F(t)	t/to
116	99,99	0,01	14,50	100,00	0,00	11,60	99,98	0,02	9,67
117	99,99	0,01	14,63	100,00	0,00	11,70	99,99	0,01	9,75
118	100,00	0,00	14,75	100,00	0,00	11,80	99,99	0,01	9,83
119	100,00	0,00	14,88	100,00	0,00	11,90	100,00	0,00	9,92
120	100,00	0,00	15,00	100,00	0,00	12,00	100,00	0,00	10,00

Tabla 5.9 Prueba de trazadores-Datos obtenidos Floculador IV

t (min)	Piscina 1			Piscina 2			Piscina 3		
	F(t)	1-F(t)	t/to	F(t)	1-F(t)	t/to	F(t)	1-F(t)	t/to
0	0	100	0	0,00	100	0	0,00	100,00	0,00
1	18,47	81,53	0,13	0,18	99,82	0,10	0,01	99,99	0,08
2	32,82	67,18	0,25	2,86	97,14	0,20	0,25	99,75	0,17
3	43,88	56,12	0,38	5,73	94,27	0,30	0,57	99,43	0,25
4	52,32	47,68	0,50	8,88	91,12	0,40	1,02	98,98	0,33
5	58,98	41,02	0,63	12,81	87,19	0,50	1,67	98,33	0,42
6	64,47	35,53	0,75	16,71	83,29	0,60	2,60	97,40	0,50
7	69,59	30,41	0,88	20,75	79,25	0,70	3,64	96,36	0,58
8	73,59	26,41	1,00	24,85	75,15	0,80	4,87	95,13	0,67
9	77,22	22,78	1,13	29,30	70,70	0,90	6,31	93,69	0,75
10	79,88	20,12	1,25	33,50	66,50	1,00	7,89	92,11	0,83
21	92,81	7,19	2,63	68,93	31,07	2,10	33,80	66,20	1,75
22	93,29	6,71	2,75	71,26	28,74	2,20	36,37	63,63	1,83
23	93,70	6,30	2,88	73,38	26,62	2,30	38,94	61,06	1,92
24	94,08	5,92	3,00	75,31	24,69	2,40	41,47	58,53	2,00
25	94,45	5,55	3,13	77,09	22,91	2,50	43,94	56,06	2,08
26	94,77	5,23	3,25	78,71	21,29	2,60	46,37	53,63	2,17
27	95,01	4,99	3,38	80,25	19,75	2,70	48,77	51,23	2,25
28	95,22	4,78	3,50	81,73	18,27	2,80	51,10	48,90	2,33
29	95,44	4,56	3,63	83,08	16,92	2,90	53,40	46,60	2,42
30	95,65	4,35	3,75	84,25	15,75	3,00	55,59	44,41	2,50
31	95,83	4,17	3,88	85,42	14,58	3,10	57,68	42,32	2,58
32	95,97	4,03	4,00	86,42	13,58	3,20	59,78	40,22	2,67
33	96,12	3,88	4,13	87,42	12,58	3,30	61,80	38,20	2,75
34	96,23	3,77	4,25	88,32	11,68	3,40	63,72	36,28	2,83
35	96,35	3,65	4,38	89,22	10,78	3,50	65,57	34,43	2,92
36	96,46	3,54	4,50	90,02	9,98	3,60	67,35	32,65	3,00
37	96,57	3,43	4,63	90,68	9,32	3,70	69,00	31,00	3,08
38	96,68	3,32	4,75	91,31	8,69	3,80	70,61	29,39	3,17
39	96,80	3,20	4,88	91,90	8,10	3,90	72,12	27,88	3,25

Tabla 5.9 Prueba de trazadores-Datos obtenidos Floculador IV (Continuación)

(min)	Piscina 1			Piscina 2			Piscina 3		
	F(t)	1-F(t)	t/to	F(t)	1-F(t)	t/to	F(t)	1-F(t)	t/to
40	96,88	3,12	5,00	92,43	7,57	4,00	73,63	26,37	3,33
41	96,96	3,04	5,13	92,92	7,08	4,10	75,11	24,89	3,42
42	97,04	2,96	5,25	93,34	6,66	4,20	76,45	23,55	3,50
43	97,08	2,92	5,38	93,76	6,24	4,30	77,76	22,24	3,58
44	97,00	3,00	5,50	94,15	5,85	4,40	78,99	21,01	3,67
45	97,04	2,96	5,63	94,47	5,53	4,50	80,13	19,87	3,75
46	97,09	2,91	5,75	94,76	5,24	4,60	81,26	18,74	3,83
47	97,14	2,86	5,88	95,04	4,96	4,70	82,29	17,71	3,92
48	97,22	2,78	6,00	95,30	4,70	4,80	83,29	16,71	4,00
49	97,26	2,74	6,13	95,55	4,45	4,90	84,22	15,78	4,08
50	97,31	2,69	6,25	95,77	4,23	5,00	85,12	14,88	4,17
51	97,35	2,65	6,38	95,99	4,01	5,10	85,98	14,02	4,25
52	97,40	2,60	6,50	96,20	3,80	5,20	86,77	13,23	4,33
53	97,45	2,55	6,63	96,39	3,61	5,30	87,53	12,47	4,42
54	97,49	2,51	6,75	96,57	3,43	5,40	88,25	11,75	4,50
55	97,54	2,46	6,88	96,76	3,24	5,50	88,91	11,09	4,58
56	97,59	2,41	7,00	96,91	3,09	5,60	89,56	10,44	4,67
57	97,63	2,37	7,13	97,06	2,94	5,70	90,22	9,78	4,75
58	97,68	2,32	7,25	97,17	2,83	5,80	90,81	9,19	4,83
59	97,73	2,27	7,38	97,29	2,71	5,90	91,36	8,64	4,92
60	97,77	2,23	7,50	97,40	2,60	6,00	91,88	8,12	5,00
61	97,82	2,18	7,63	97,52	2,48	6,10	92,37	7,63	5,08
62	97,87	2,13	7,75	97,60	2,40	6,20	92,82	7,18	5,17
63	97,91	2,09	7,88	97,68	2,32	6,30	93,27	6,73	5,25
64	97,95	2,05	8,00	97,77	2,23	6,40	93,69	6,31	5,33
65	97,98	2,02	8,13	97,85	2,15	6,50	94,08	5,92	5,42
66	98,02	1,98	8,25	97,93	2,07	6,60	94,45	5,55	5,50
67	98,05	1,95	8,38	98,00	2,00	6,70	94,80	5,20	5,58
68	98,09	1,91	8,50	98,06	1,94	6,80	95,14	4,86	5,67
69	98,11	1,89	8,63	98,13	1,87	6,90	95,45	4,55	5,75
70	98,15	1,85	8,75	98,19	1,81	7,00	95,73	4,27	5,83
71	98,18	1,82	8,88	98,25	1,75	7,10	95,99	4,01	5,92
72	98,21	1,79	9,00	98,30	1,70	7,20	96,22	3,78	6,00
73	98,25	1,75	9,13	98,35	1,65	7,30	96,46	3,54	6,08
74	98,29	1,71	9,25	98,40	1,60	7,40	96,68	3,32	6,17
75	98,32	1,68	9,38	98,44	1,56	7,50	96,88	3,12	6,25
76	98,36	1,64	9,50	98,49	1,51	7,60	97,08	2,92	6,33
77	98,40	1,60	9,63	98,53	1,47	7,70	97,26	2,74	6,42
78	98,45	1,55	9,75	98,57	1,43	7,80	97,42	2,58	6,50

Tabla 5.9 Prueba de trazadores-Datos obtenidos Floculador IV (Continuación)

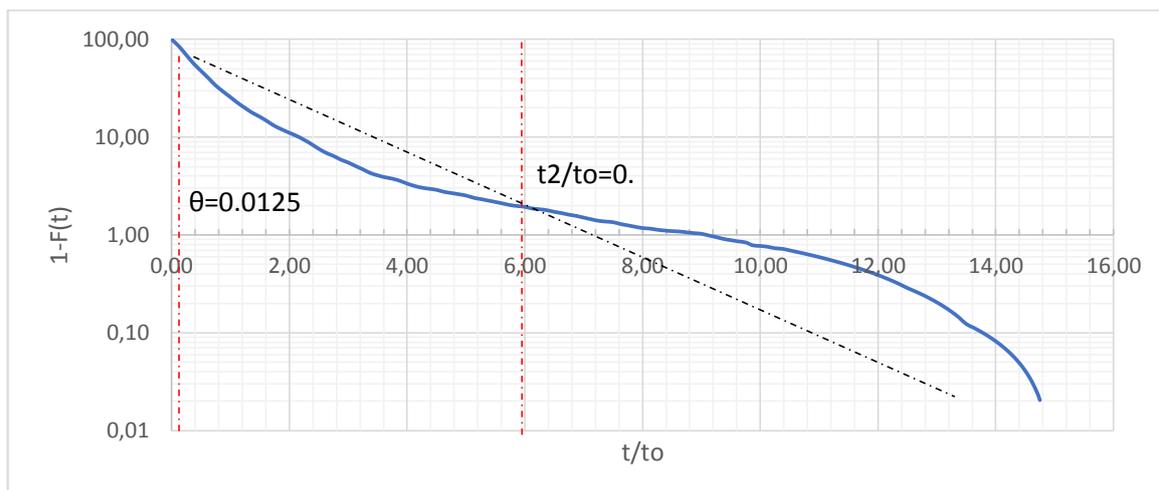
(min)	Piscina 1			Piscina 2			Piscina 3		
	F(t)	1-F(t)	t/to	F(t)	1-F(t)	t/to	F(t)	1-F(t)	t/to
79	98,49	1,51	9,88	98,61	1,39	7,90	97,59	2,41	6,58
80	98,53	1,47	10,00	98,65	1,35	8,00	97,73	2,27	6,67
81	98,56	1,44	10,13	98,68	1,32	8,10	97,88	2,12	6,75
82	98,61	1,39	10,25	98,72	1,28	8,20	98,01	1,99	6,83
83	98,64	1,36	10,38	98,75	1,25	8,30	98,13	1,87	6,92
84	98,67	1,33	10,50	98,79	1,21	8,40	98,25	1,75	7,00
85	98,70	1,30	10,63	98,82	1,18	8,50	98,35	1,65	7,08
86	98,74	1,26	10,75	98,85	1,15	8,60	98,45	1,55	7,17
87	98,77	1,23	10,88	98,89	1,11	8,70	98,54	1,46	7,25
88	98,81	1,19	11,00	98,92	1,08	8,80	98,63	1,37	7,33
89	98,85	1,15	11,13	98,95	1,05	8,90	98,71	1,29	7,42
90	98,88	1,12	11,25	98,98	1,02	9,00	98,79	1,21	7,50
91	98,91	1,09	11,38	99,01	0,99	9,10	98,86	1,14	7,58
92	98,94	1,06	11,50	99,04	0,96	9,20	98,93	1,07	7,67
93	98,98	1,02	11,63	99,07	0,93	9,30	99,00	1,00	7,75
94	99,01	0,99	11,75	99,10	0,90	9,40	99,06	0,94	7,83
95	99,04	0,96	11,88	99,13	0,87	9,50	99,13	0,87	7,92
96	99,08	0,92	12,00	99,16	0,84	9,60	99,18	0,82	8,00
97	99,11	0,89	12,13	99,19	0,81	9,70	99,24	0,76	8,08
98	99,14	0,86	12,25	99,22	0,78	9,80	99,29	0,71	8,17
99	99,18	0,82	12,38	99,25	0,75	9,90	99,34	0,66	8,25
100	99,21	0,79	12,50	99,29	0,71	10,00	99,39	0,61	8,33
101	99,26	0,74	12,63	99,32	0,68	10,10	99,44	0,56	8,42
102	99,30	0,70	12,75	99,36	0,64	10,20	99,48	0,52	8,50
103	99,34	0,66	12,88	99,39	0,61	10,30	99,52	0,48	8,58
104	99,39	0,61	13,00	99,42	0,58	10,40	99,56	0,44	8,67
105	99,43	0,57	13,13	99,46	0,54	10,50	99,59	0,41	8,75
106	99,47	0,53	13,25	99,49	0,51	10,60	99,62	0,38	8,83
107	99,52	0,48	13,38	99,53	0,47	10,70	99,66	0,34	8,92
108	99,56	0,44	13,50	99,56	0,44	10,80	99,69	0,31	9,00
109	99,60	0,40	13,63	99,59	0,41	10,90	99,72	0,28	9,08
110	99,64	0,36	13,75	99,63	0,37	11,00	99,75	0,25	9,17
111	99,67	0,33	13,88	99,67	0,33	11,10	99,78	0,22	9,25
112	99,71	0,29	14,00	99,71	0,29	11,20	99,81	0,19	9,33
113	99,75	0,25	14,13	99,74	0,26	11,30	99,83	0,17	9,42
114	99,78	0,22	14,25	99,78	0,22	11,40	99,86	0,14	9,50
115	99,82	0,18	14,38	99,82	0,18	11,50	99,88	0,12	9,58
116	99,86	0,14	14,50	99,86	0,14	11,60	99,90	0,10	9,67
117	99,89	0,11	14,63	99,89	0,11	11,70	99,93	0,07	9,75

Tabla 5.9 Prueba de trazadores-Datos obtenidos Floculador IV (Continuación)

t (min)	Piscina 1			Piscina 2			Piscina 3		
	F(t)	1-F(t)	t/to	F(t)	1-F(t)	t/to	F(t)	1-F(t)	t/to
118	99,93	0,07	14,75	99,93	0,07	11,80	99,95	0,05	9,83
119	99,97	0,03	14,88	99,97	0,03	11,90	99,98	0,02	9,92
120	100,00	0,00	15,00	100,00	0,00	12,00	100,00	0,00	10,00

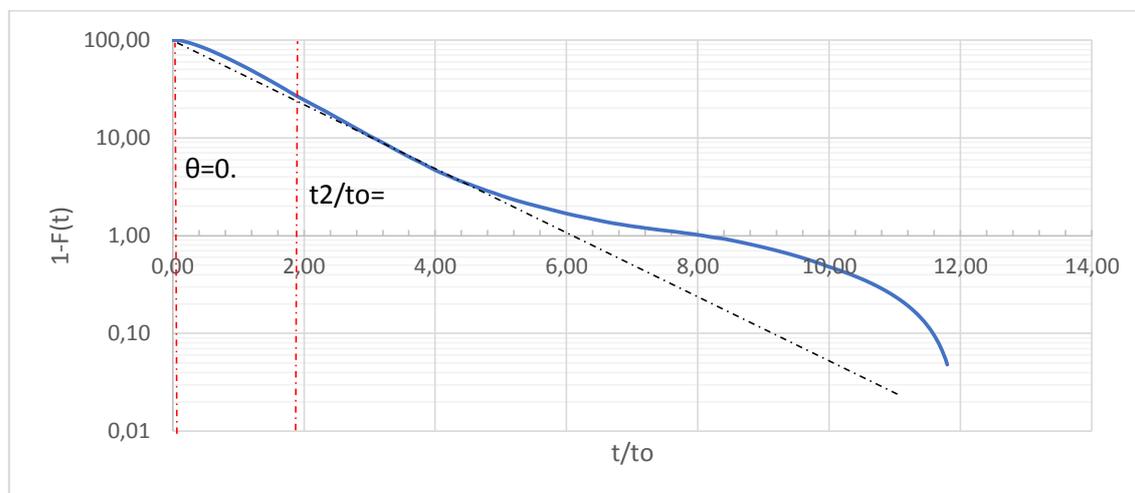
5.2.1.1 MÉTODO DE WOLF-RESNICK

A partir de los datos presentados en las Tablas anteriores, se construyeron las Gráficas 5.2, 5.3, 5.4, 5.5, 5.6, 5.7, 5.8, 5.9, 5.10, 5.11, 5.12 y 5.13 de aplicación del método de Wolf-Resnick para las 3 piscinas de cada floculador.

Gráfica 5.2 Método de Wolf-Resnick-Floculador I (Piscina 1) 2018

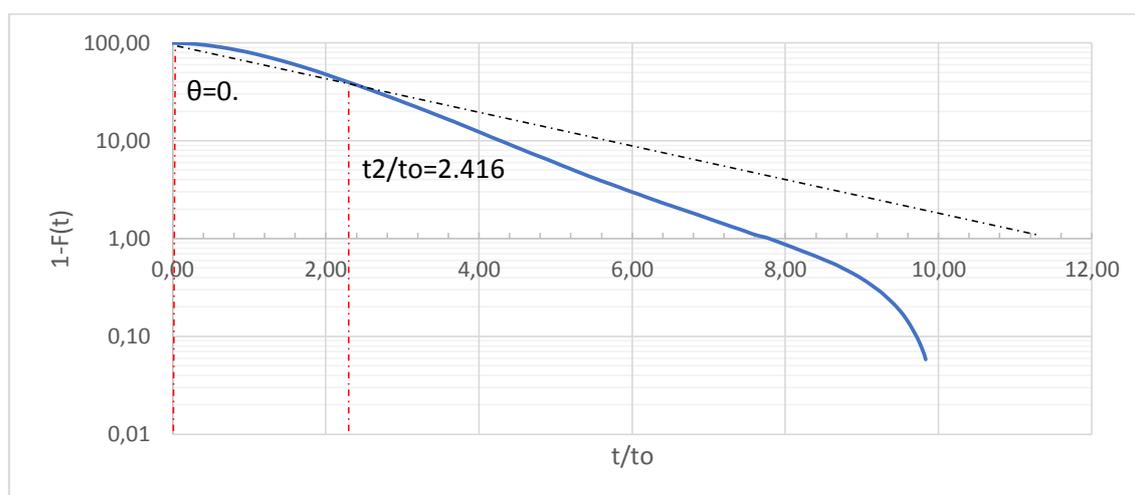
ELABORACIÓN: Toapanta & Tualombo

Gráfica 5.3 Método de Wolf-Resnick-Floculador I (Piscina 2) 2018



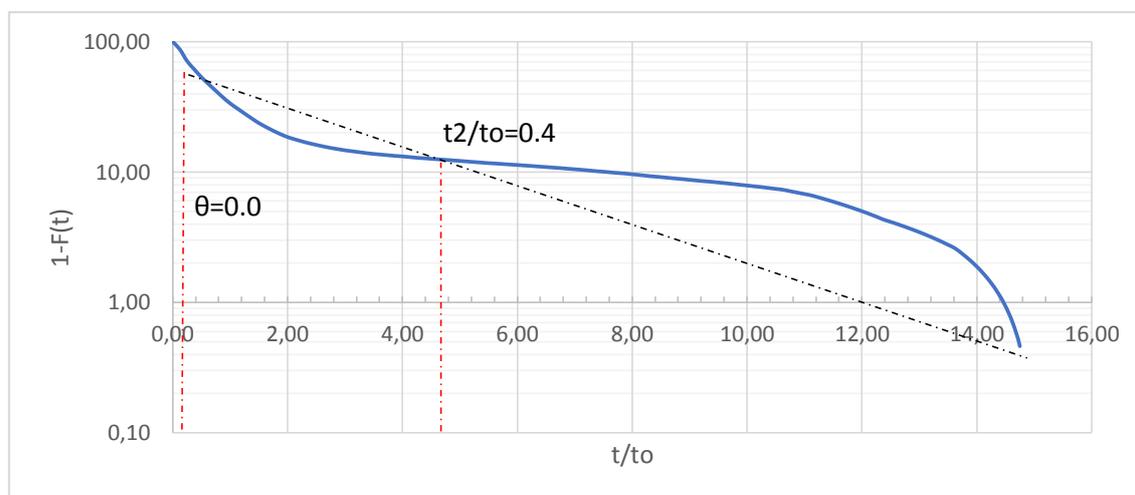
ELABORACIÓN: Toapanta & Tualombo

Gráfica 5.4 Método de Wolf-Resnick-Floculador I (Piscina 3) 2018



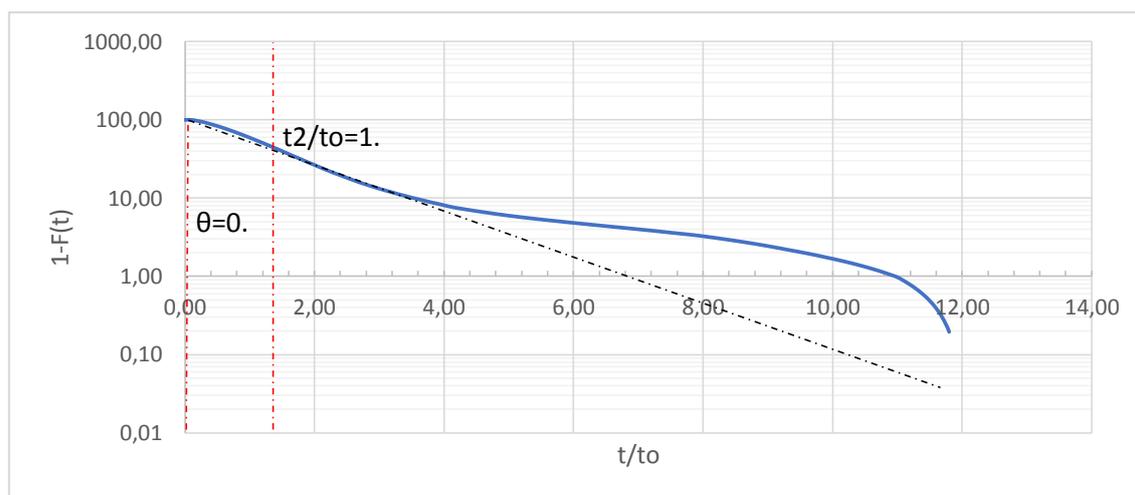
ELABORACIÓN: Toapanta & Tualombo

Gráfica 5.5 Método de Wolf-Resnick-Floculador II (Piscina 1) 2018



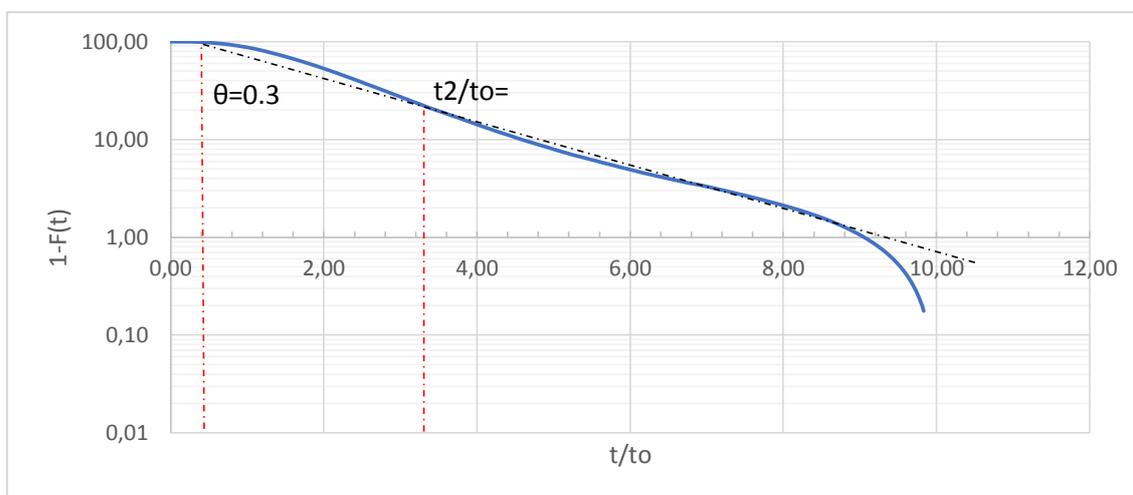
ELABORACIÓN: Toapanta & Tualombo

Gráfica 5.6 Método de Wolf-Resnick-Floculador II (Piscina 2) 2018



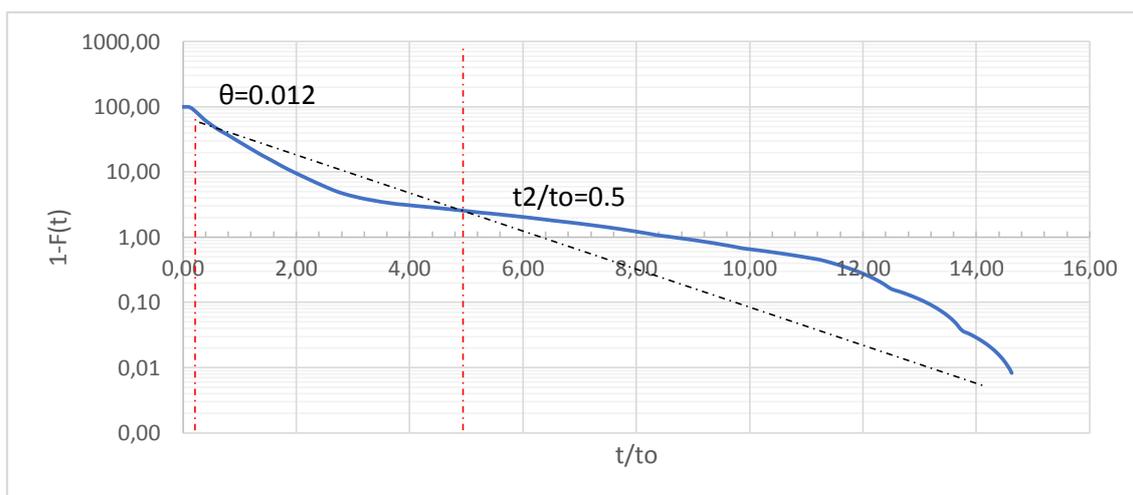
ELABORACIÓN: Toapanta & Tualombo

Gráfica 5.7 Método de Wolf-Resnick-Floculador II (Piscina 3) 2018



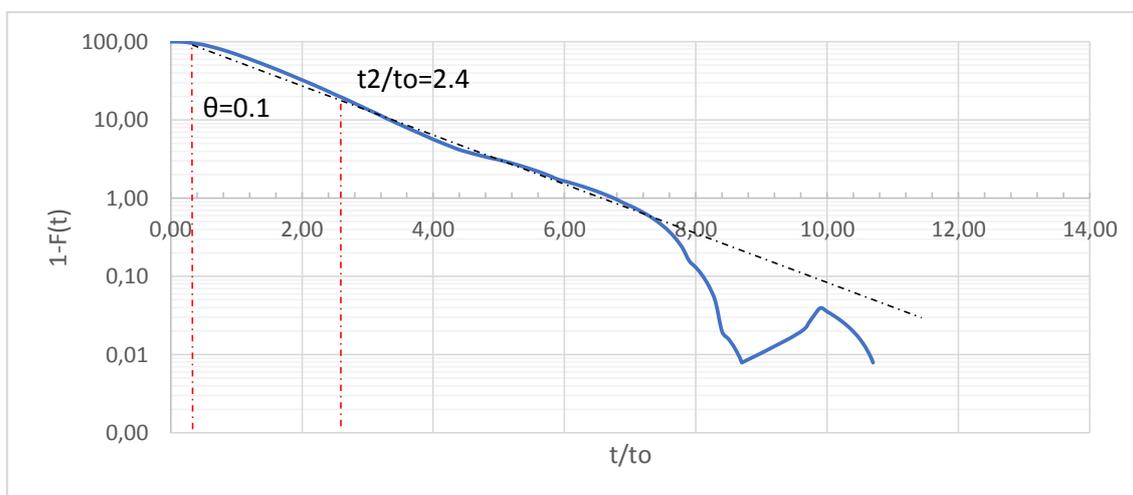
ELABORACIÓN: Toapanta & Tualombo

Gráfica 5.8 Método de Wolf-Resnick-Floculador III (Piscina 1) 2018



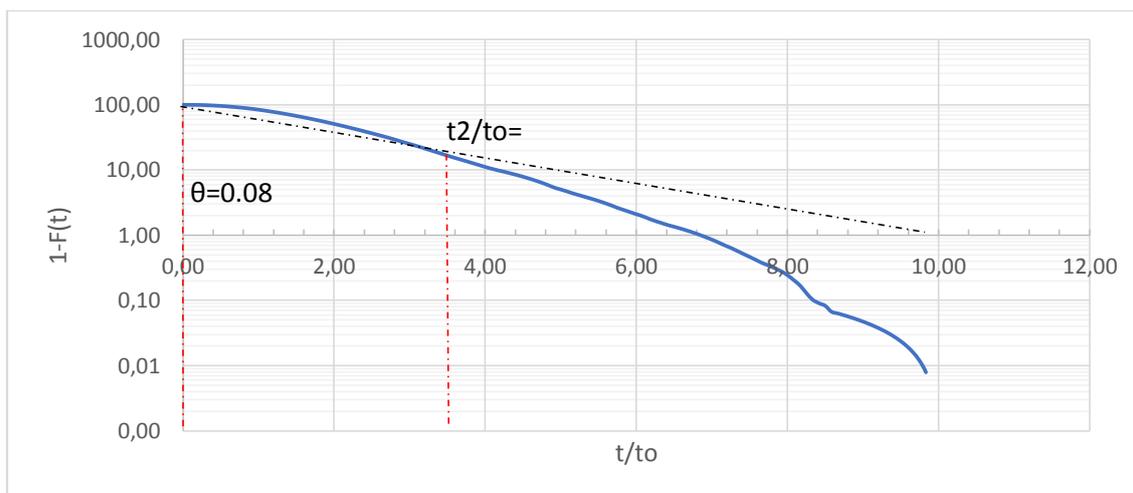
ELABORACIÓN: Toapanta & Tualombo

Gráfica 5.9 Método de Wolf-Resnick-Floculador III (Piscina 2) 2018



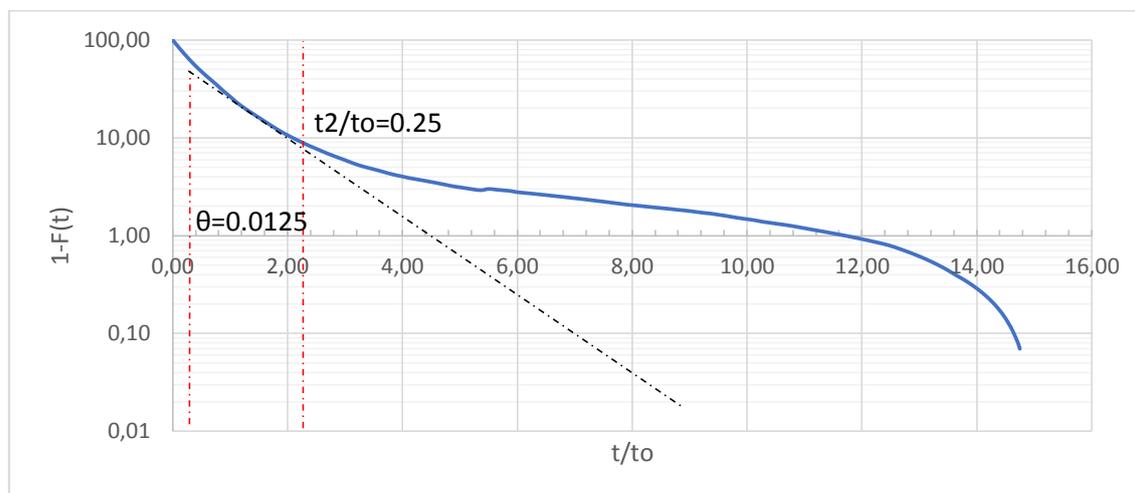
ELABORACIÓN: Toapanta & Tualombo

Gráfica 5.10 Método de Wolf-Resnick-Floculador III (Piscina 3) 2018



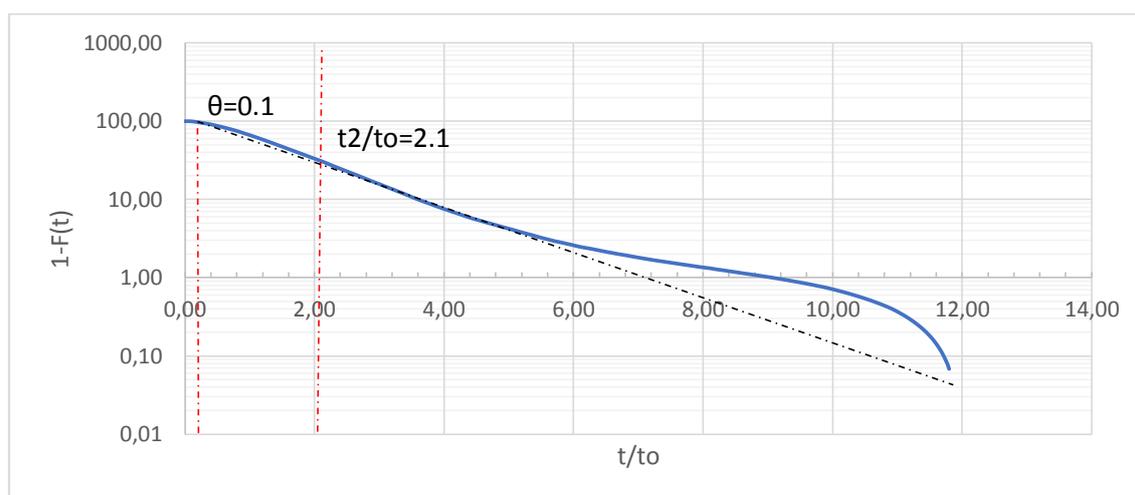
ELABORACIÓN: Toapanta & Tualombo

Gráfica 5.11 Método de Wolf-Resnick-Floculador IV (Piscina 1) 2018

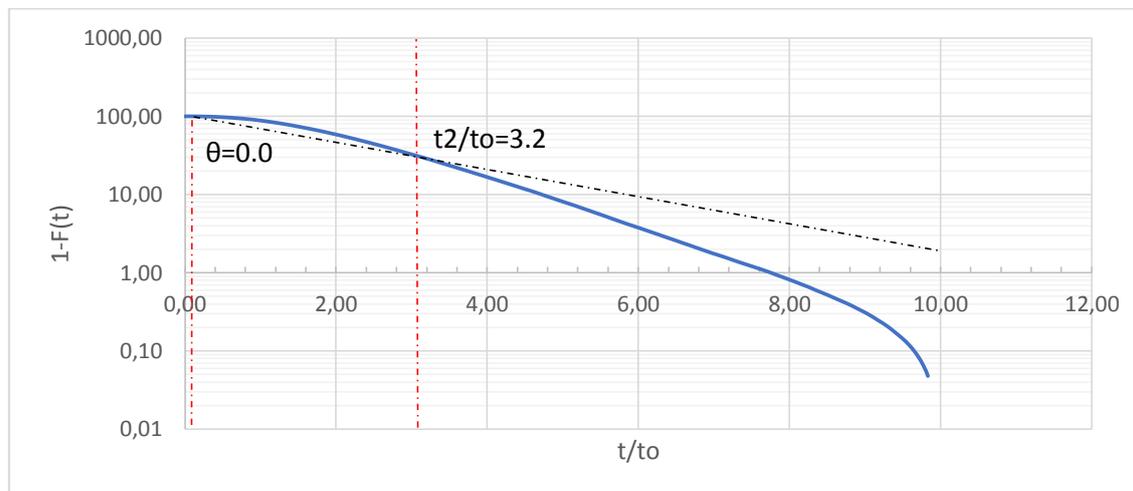


ELABORACIÓN: Toapanta & Tualombo

Gráfica 5.12 Método de Wolf-Resnick-Floculador IV (Piscina 2) 2018



ELABORACIÓN: Toapanta & Tualombo

Gráfica 5.13 Método de Wolf-Resnick-Floculador IV (Piscina 3) 2018

ELABORACIÓN: Toapanta & Tualombo

A partir de los datos obtenidos y utilizando las fórmulas de aplicación del modelo de Wolf-Resnick descritas en el capítulo 2, se obtuvieron los resultados del comportamiento hidráulico del sistema de floculadores, mismos que se presentan en las Tablas 5.10, 5.11, 5.12 y 5.13.

Tabla 5.10 Resultados Método de Wolf-Resnick (Floculador I)

Parámetro	Piscina 1		Piscina 2		Piscina 3	
	Valor	Observaciones	Valor	Observaciones	Valor	Observaciones
t1	0,10		1,00		1,20	
t2	5,00		20,00		29,00	
θ	0,01		0,10		0,10	
t2/t0	0,63		2,00		2,42	
tan α	1,63		0,53		0,43	
P	0,04	4% flujo pistón	0,11	11% flujo pistón	0,09	9% flujo pistón
m	0,72	72% espacios muertos	0,07	7% espacios muertos	-0,11	0% espacios muertos
M	0,96	96% flujo mezclado	0,89	89% flujo mezclado	0,91	91% flujo mezclado

ELABORACIÓN: Toapanta & Tualombo

Tabla 5.11 Resultados Método de Wolf-Resnick (Floculador II)

Parámetro	Piscina 1		Piscina 2		Piscina 3	
	Valor	Observaciones	Valor	Observaciones	Valor	Observaciones
t1	0,10		1,00		4,00	
t2	3,60		16,00		42,00	
Θ	0,01		0,10		0,33	
t2/t0	0,45		1,60		3,50	
tan α	2,29		0,67		0,32	
P	0,06	6% flujo pistón	0,13	13% flujo pistón	0,19	19% flujo pistón
m	0,80	80% espacios muertos	0,25	25% espacios muertos	-0,71	0% espacios muertos
M	0,94	94% flujo mezclado	0,87	87% flujo mezclado	0,81	81% flujo mezclado

ELABORACIÓN: Toapanta & Tualombo

Tabla 5.12 Resultados Método de Wolf-Resnick (Floculador III)

Parámetro	Piscina 1		Piscina 2		Piscina 3	
	Valor	Observaciones	Valor	Observaciones	Valor	Observaciones
t1	0,10		1,00		1,00	
t2	4,00		24,00		44,00	
Θ	0,01		0,10		0,08	
t2/t0	0,50		2,40		3,67	
tan α	2,05		0,43		0,28	
P	0,06	6% flujo pistón	0,09	9% flujo pistón	0,05	5% flujo pistón
m	0,78	78% espacios muertos	-0,10	0% espacios muertos	-0,64	0% espacios muertos
M	0,94	94% flujo mezclado	0,91	91% flujo mezclado	0,95	95% flujo mezclado

ELABORACIÓN: Toapanta & Tualombo

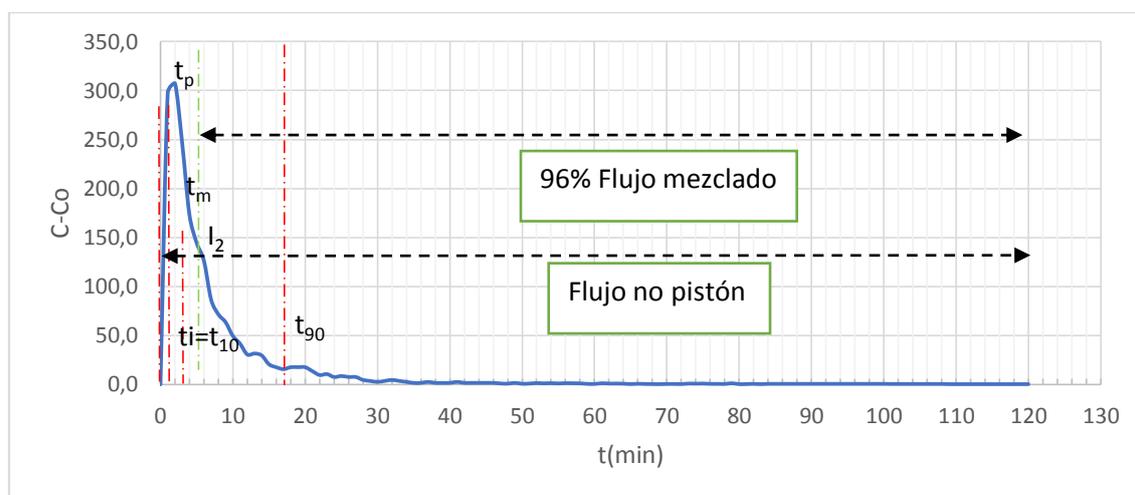
Tabla 5.13 Resultados Método de Wolf-Resnick (Floculador IV)

Parámetro	Piscina 1		Piscina 2		Piscina 3	
	Valor	Observaciones	Valor	Observaciones	Valor	Observaciones
t1	0,10		1,00		1,00	
t2	2,00		21,00		39,00	
Θ	0,01		0,10		0,08	
t2/t0	0,25		2,10		3,25	
tan α	4,21		0,50		0,32	
P	0,11	11% flujo pistón	0,10	10% flujo pistón	0,06	6% flujo pistón
m	0,88	88% espacios muertos	0,03	3% espacios muertos	-0,46	0% espacios muertos
M	0,89	89% flujo mezclado	0,90	90% flujo mezclado	0,94	94% flujo mezclado

5.2.1.2 ANÁLISIS DE LA CURVA DE TENDENCIA

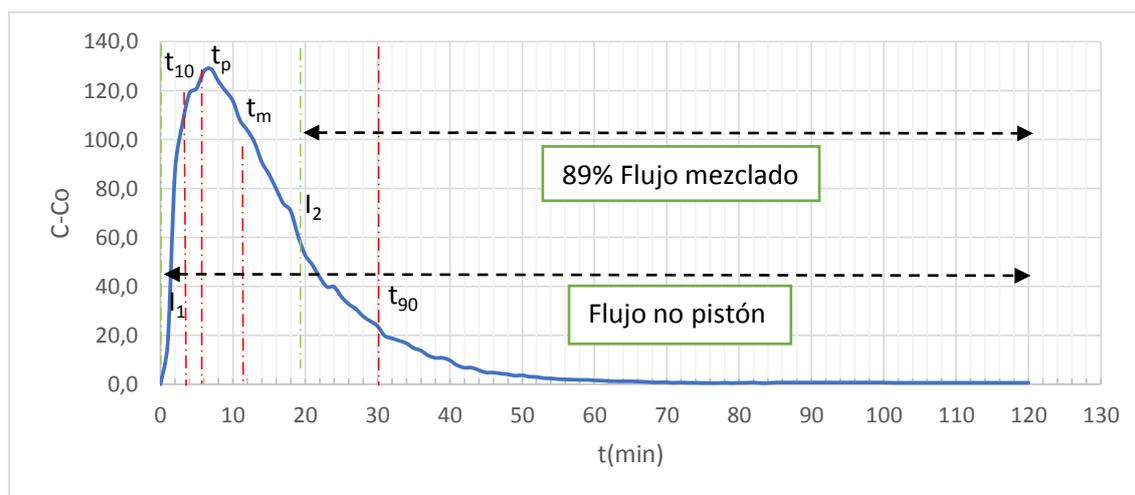
Una vez construidas las Gráficas de concentración de trazador vs. Tiempo se procedió a la identificación de las condiciones de funcionamiento reales en el sistema. Las Gráficas 5.14, 5.15, 5.16, 5.17, 5.18, 5.19, 5.20, 5.21, 5.22, 5.23, 5.24 y 5.25 ilustran los resultados.

Gráfica 5.14 Tiempos de retención reales-Floculador I (Piscina 1) 2018



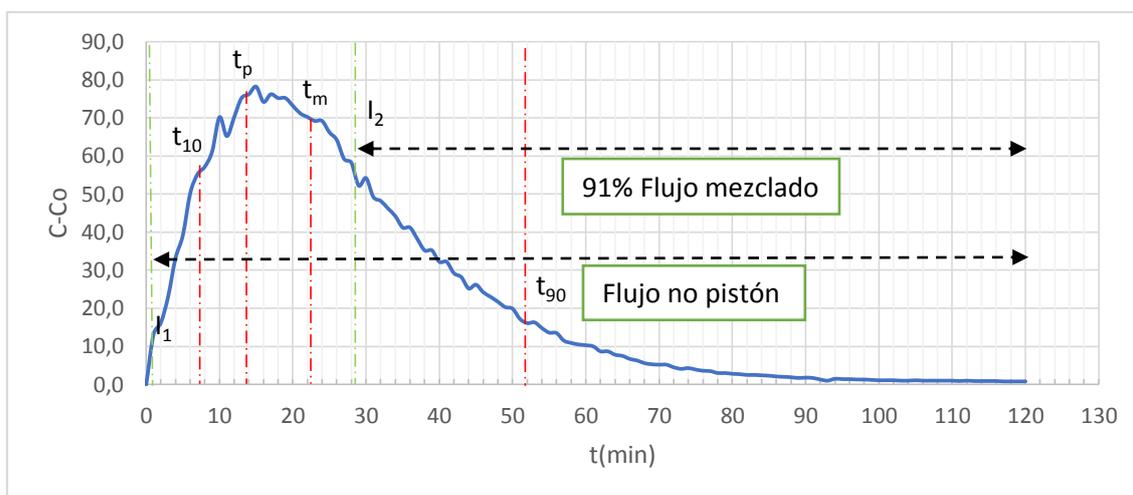
ELABORACIÓN: Toapanta & Tualombo

Gráfica 5.15 Tiempos de retención reales-Floculador I (Piscina 2) 2018



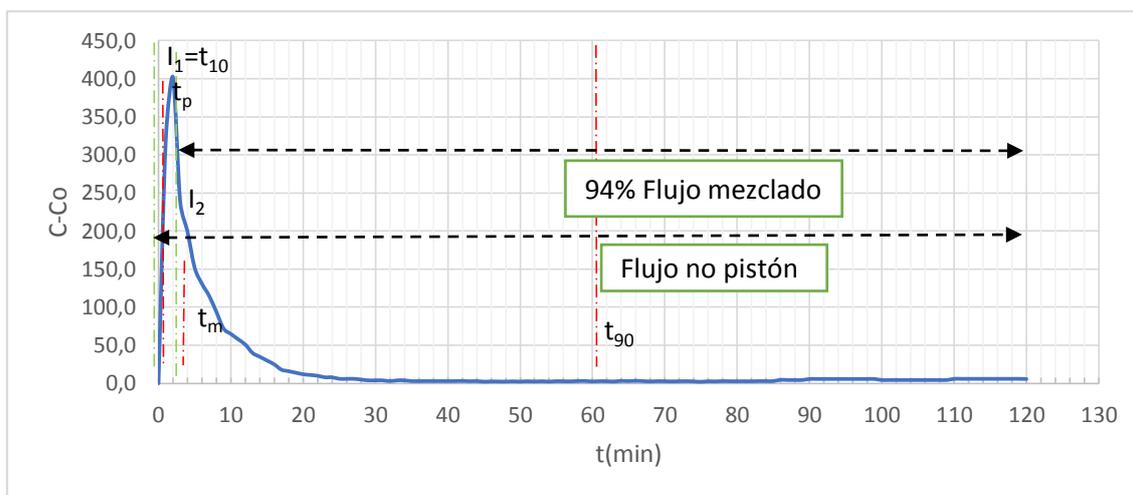
ELABORACIÓN: Toapanta & Tualombo

Gráfica 5.16 Tiempos de retención reales-Floculador I (Piscina 3) 2018



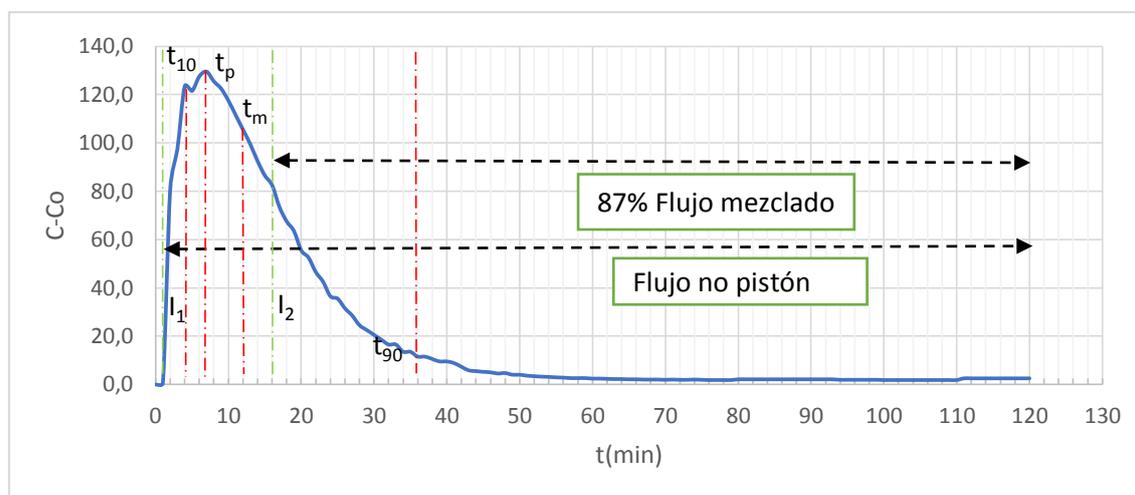
ELABORACIÓN: Toapanta & Tualombo

Gráfica 5.17 Tiempos de retención reales-Floculador II (Piscina 1) 2018



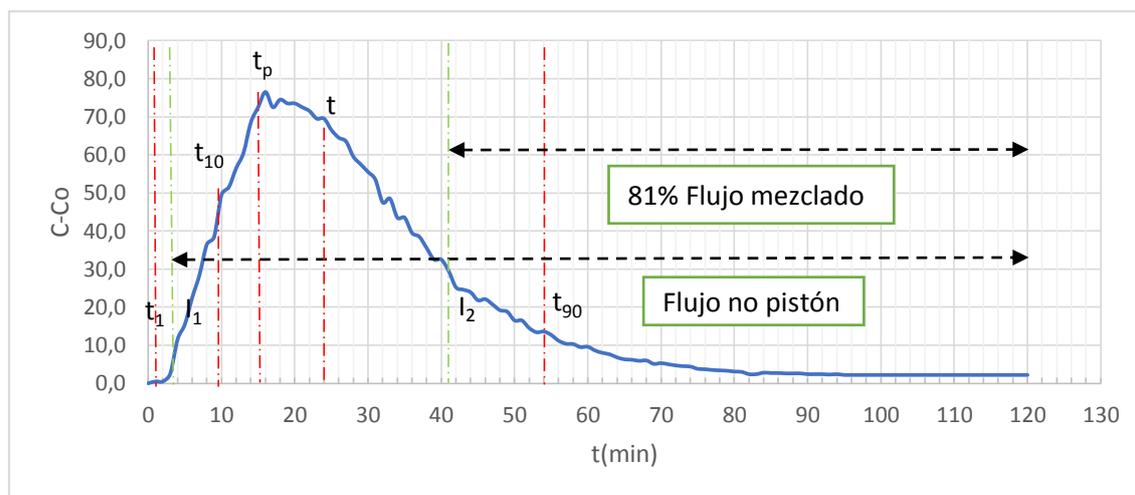
ELABORACIÓN: Toapanta & Tualombo

Gráfica 5.18 Tiempos de retención reales-Floculador II (Piscina 2) 2018



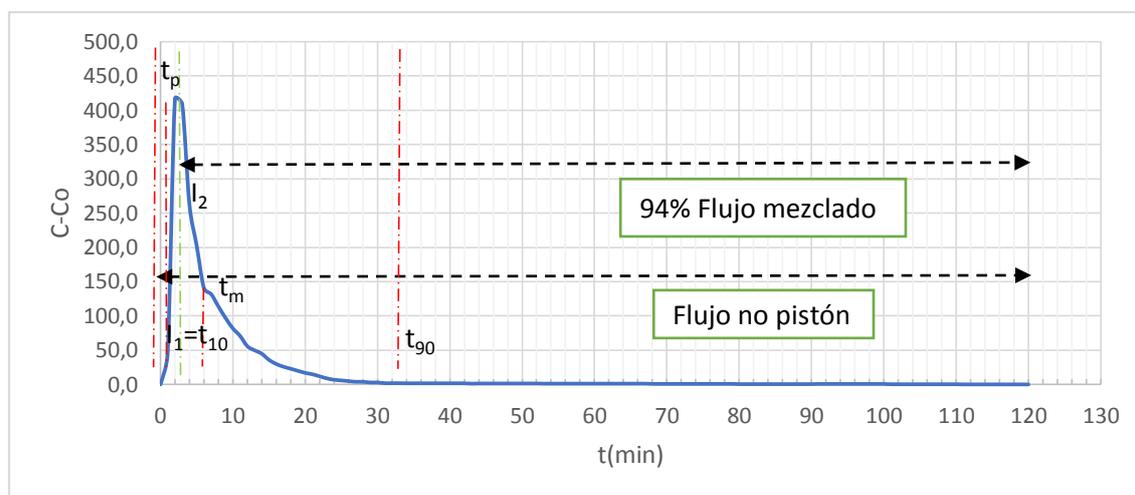
ELABORACIÓN: Toapanta & Tualombo

Gráfica 5.19 Tiempos de retención reales-Floculador II (Piscina 3) 2018



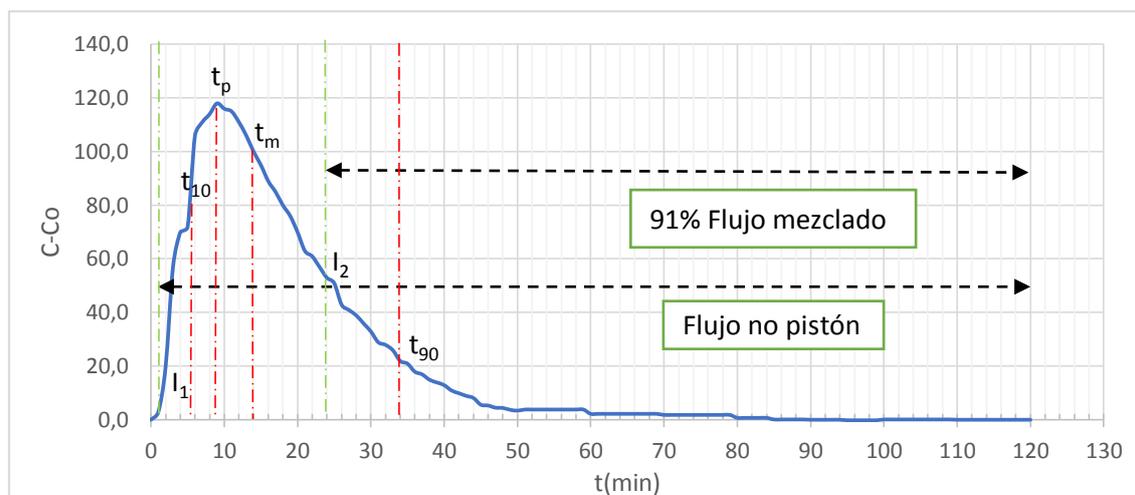
ELABORACIÓN: Toapanta & Tualombo

Gráfica 5.20 Tiempos de retención reales-Floculador III (Piscina 1) 2018



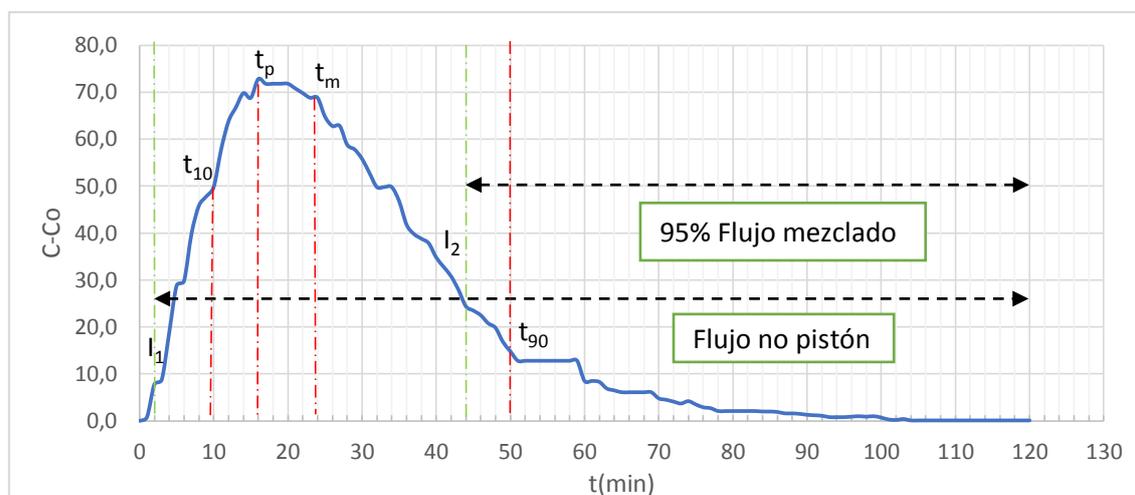
ELABORACIÓN: Toapanta & Tualombo

Gráfica 5.21 Tiempos de retención reales-Floculador III (Piscina 2) 2018



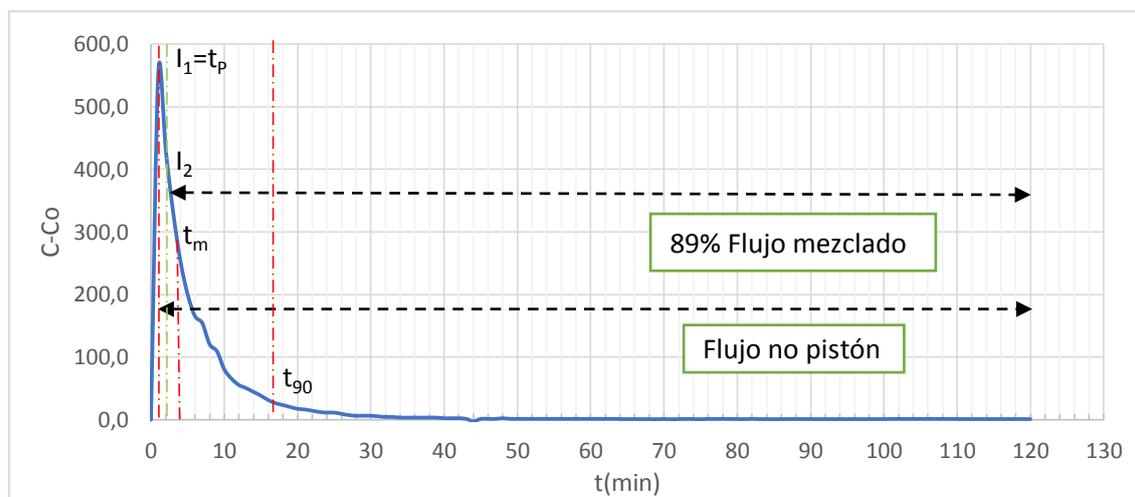
ELABORACIÓN: Toapanta & Tualombo

Gráfica 5.22 Tiempos de retención reales-Floculador III (Piscina 3) 2018



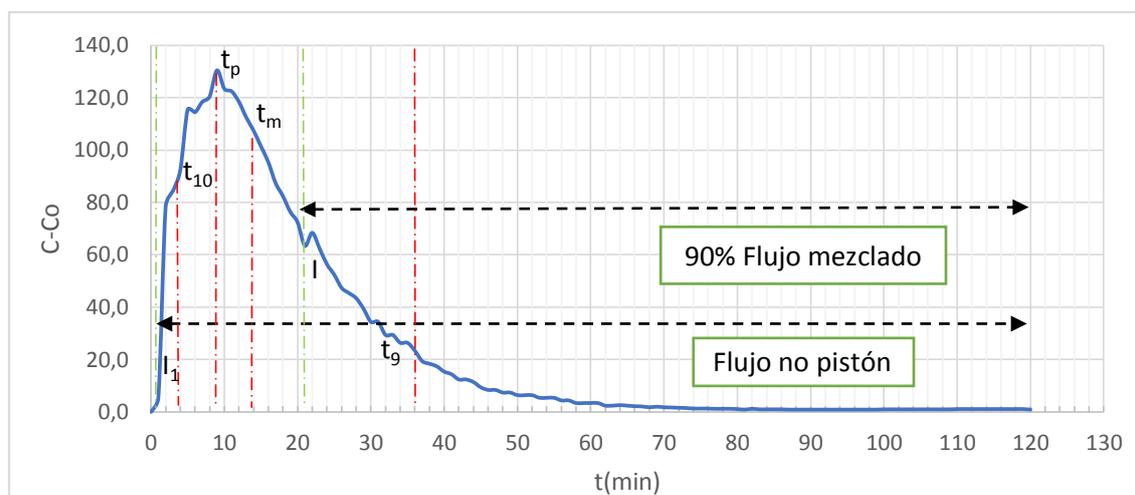
ELABORACIÓN: Toapanta & Tualombo

Gráfica 5.23 Tiempos de retención reales-Floculador IV (Piscina 1) 2018



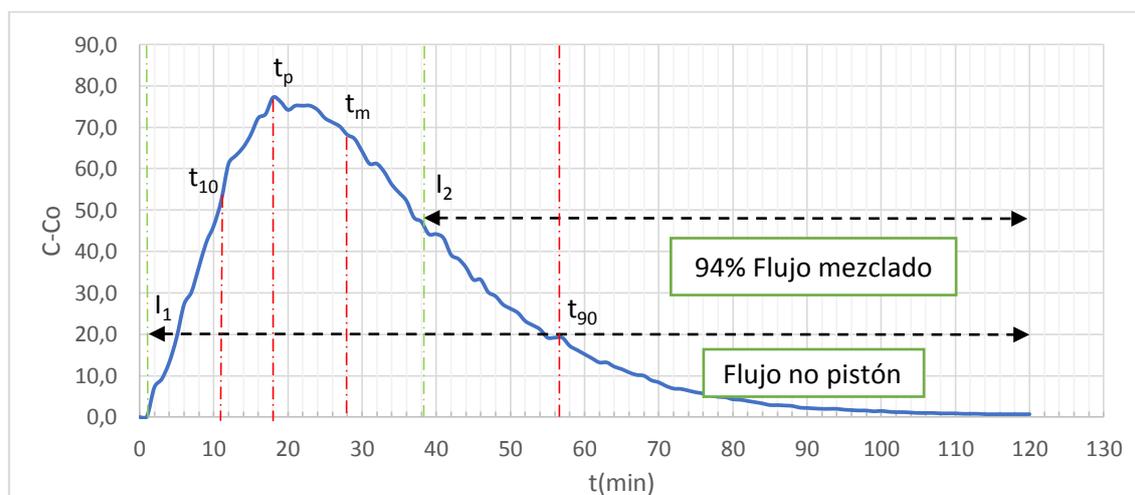
ELABORACIÓN: Toapanta & Tualombo

Gráfica 5.24 Tiempos de retención reales-Floculador IV (Piscina 2) 2018



ELABORACIÓN: Toapanta & Tualombo

Gráfica 5.25 Tiempos de retención reales-Floculador IV (Piscina 3) 2018



ELABORACIÓN: Toapanta & Tualombo

Los valores numéricos de los parámetros identificados en las Gráficas anteriores se encuentran registrados en las Tablas 5.14, 5.15, 5.16 y 5.17.

Tabla 5.14 Parámetros reales de funcionamiento-Floculador I

Parámetro	Piscina 1		Piscina 2		Piscina 3	
	Valor	Observación	Valor	Observación	Valor	Observación
ti(min)	1	Presencia de sal casi inmediata	1	Presencia de sal casi inmediata	1	Presencia de sal casi inmediata
t10 (min)	1	Presencia de sal casi inmediata	4		8	
tp (min)	2	No alcanza tiempo teórico de retención	7	No alcanza tiempo teórico de retención	15	Excede tiempo teórico de retención
tm (min)	4		12		23	
to (min)	8		10		12	
t90 (min)	18		31		52	
tf (min)	120		120		120	
ti/to	0,125	Presencia de cortocircuito	0,1	Presencia de cortocircuito	0,08	Presencia de cortocircuito
tm/to	0,5	Existen cortocircuitos	1,2	Existen espacios muertos	1,92	Existen espacios muertos
tp/to	0,25	Predominio de flujo mezclado	0,7	Predominio de flujo mezclado	1,25	Predominio de flujo mezclado
e	14,625	Flujo mezclado	10,7	Flujo mezclado	7,58	Flujo mezclado

ELABORACIÓN: Toapanta & Tualombo

Tabla 5.15 Parámetros reales de funcionamiento -Floculador II

Parámetro	Piscina 1		Piscina 2		Piscina 3	
	Valor	Observación	Valor	Observación	Valor	Observación
ti(min)	1	Presencia de sal casi inmediata	1	Presencia de sal casi inmediata	1	Presencia de sal casi inmediata
t10 (min)	1	Presencia de sal casi inmediata	4		11	
tp (min)	2	No alcanza tiempo teórico de retención	7	No alcanza tiempo teórico de retención	16	Excede tiempo teórico de retención
tm (min)	5		12		25	
to (min)	8		10		12	
t90 (min)	61		36		55	
tf (min)	120		120		120	
ti/to	0,125	Presencia de cortocircuito	0,1	Presencia de cortocircuito	0,08	Presencia de cortocircuito
tm/to	0,625	Existen cortocircuitos	1,2	Existen espacios muertos	2,08	Existen espacios muertos
tp/to	0,25	predominio de flujo mezclado	0,7	Predominio de flujo mezclado	1,33	Predominio flujo mezclado
e	14,625	Flujo mezclado	10,7	Flujo mezclado	7,42	Flujo mezclado

ELABORACIÓN: Toapanta & Tualombo

Tabla 5.16 Parámetros reales de funcionamiento-Floculador III

Parámetro	Piscina 1		Piscina 2		Piscina 3	
	Valor	Observación	Valor	Observación	Valor	Observación
ti(min)	1	Presencia de sal casi inmediata	1	Presencia de sal casi inmediata	1	Presencia de sal casi inmediata
t10 (min)	1,4	Presencia de sal casi inmediata	5,5		10	
tp (min)	2	No alcanza tiempo teórico de retención	9		16	Excede tiempo teórico de retención
tm (min)	7,1		14,5		24,5	
to (min)	8		10		12	
t90 (min)	16,5		34		50	
tf (min)	120		120		120	
ti/to	0,125	Presencia de cortocircuito	0,1	Presencia de cortocircuito	0,08	Presencia de cortocircuito
tm/to	0,8875	Existen cortocircuitos	1,45	existen espacios muertos	2,04	existen espacios muertos
tp/to	0,25	Predominio de flujo mezclado	0,9	Predominio de flujo mezclado	1,33	Predominio de flujo mezclado
e	14,625	Flujo mezclado	10,3	Flujo mezclado	7,42	Flujo mezclado

ELABORACIÓN: Toapanta & Tualombo

Tabla 5.17 Parámetros reales de funcionamiento-Floculador IV

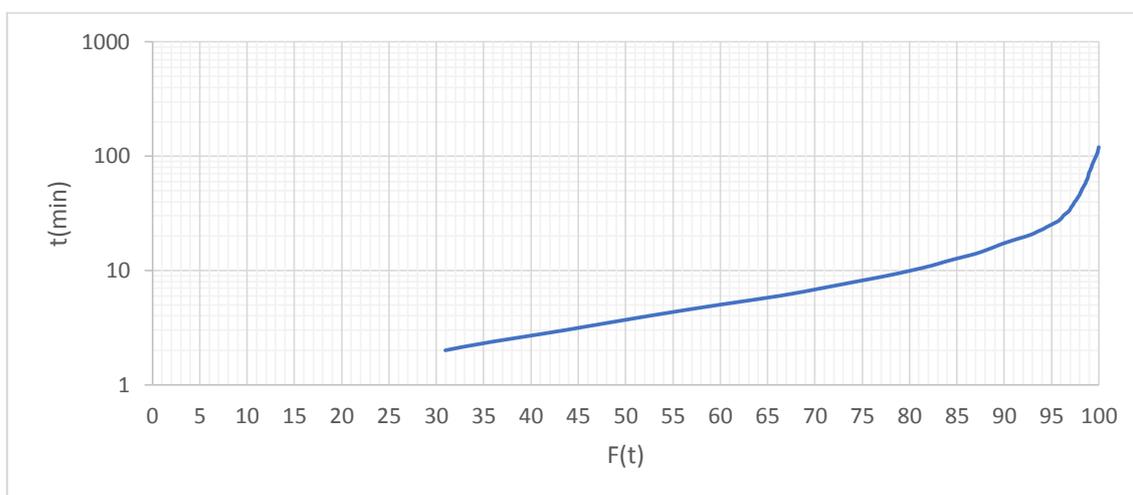
Parámetro	Piscina 1		Piscina 2		Piscina 3	
	Valor	Observación	Valor	Observación	Valor	Observación
ti(min)	1	Presencia de sal casi inmediata	1	Presencia de sal casi inmediata	1	Presencia de sal casi inmediata
t10 (min)	1	Presencia de sal casi inmediata	4,5		11	
tp (min)	1	No alcanza tiempo teórico de retención	9		18	Excede tiempo teórico de retención
tm (min)	3,8		14		28	
to (min)	8		10		12	
t90 (min)	17		36		57	
tf (min)	120		120		120	
ti/to	0,125	Presencia de cortocircuito	0,1	Presencia de cortocircuito	0,08	Presencia de cortocircuito
tm/to	0,475	Existen cortocircuitos	1,4	Existen espacios muertos	2,33	Existen espacios muertos
tp/to	0,125	Predominio de flujo mezclado	0,9	Predominio de flujo mezclado	1,50	Predominio de flujo mezclado
e	14,875	Flujo mezclado	10,3	Flujo mezclado	7,08	Flujo mezclado

ELABORACIÓN: Toapanta & Tualombo

5.2.1.3 ÍNDICE DE MORRILL

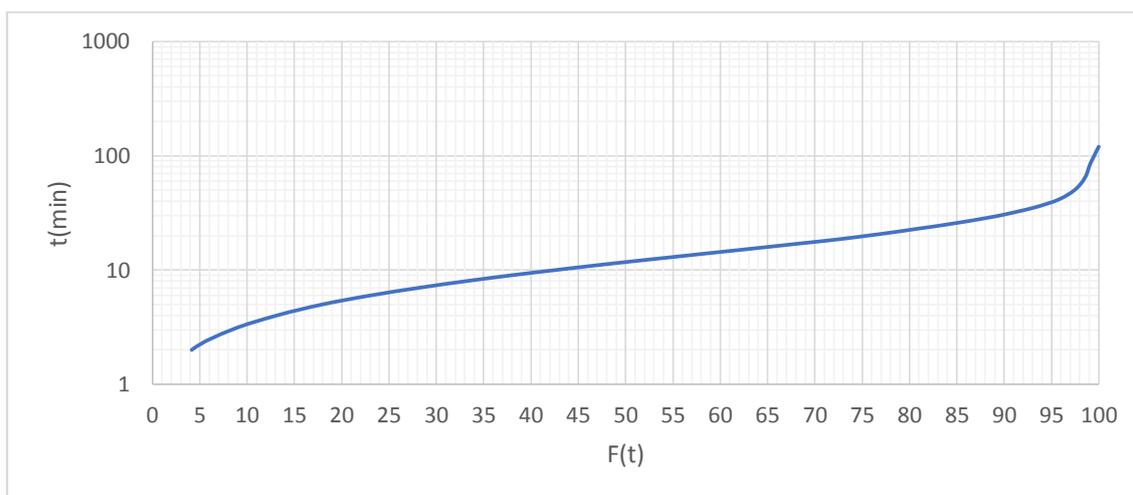
El comportamiento del flujo dentro de los floculadores se representa a través del cálculo del índice de Morrill, las Gráficas 5.26, 5.27, 5.28, 5.29, 5.30, 5.31, 5.32, 5.33, 5.34, 5.35, 5.36 y 5.37 muestran la relación existente entre el flujo pistón y el flujo mezclado en cada una de las unidades.

Gráfica 5.26 Índice de Morrill-Floculador I (Piscina 1) 2018



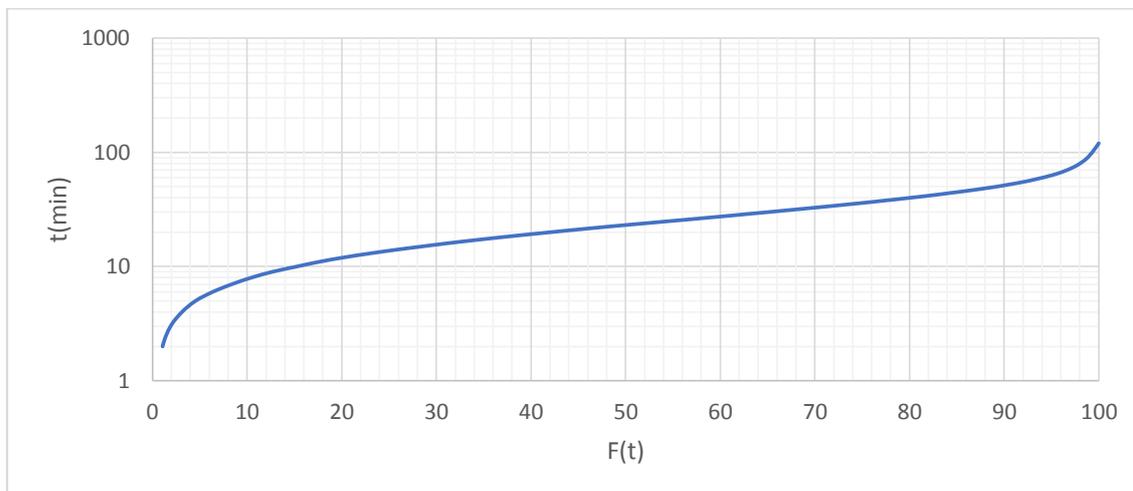
ELABORACIÓN: Toapanta & Tualombo

Gráfica 5.27 Índice de Morrill-Floculador I (Piscina 2) 2018



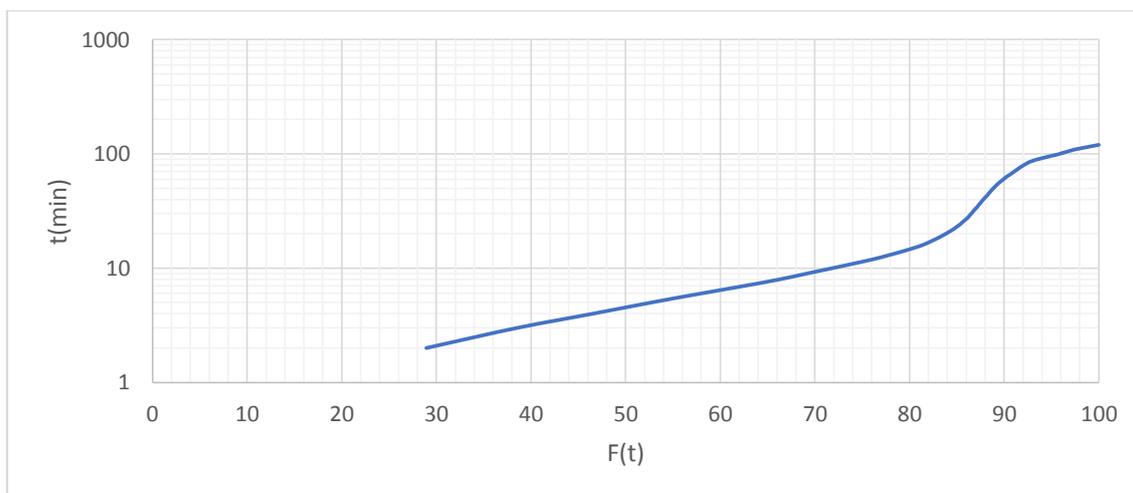
ELABORACIÓN: Toapanta & Tualombo

Gráfica 5.28 Índice de Morrill-Floculador I (Piscina 3) 2018

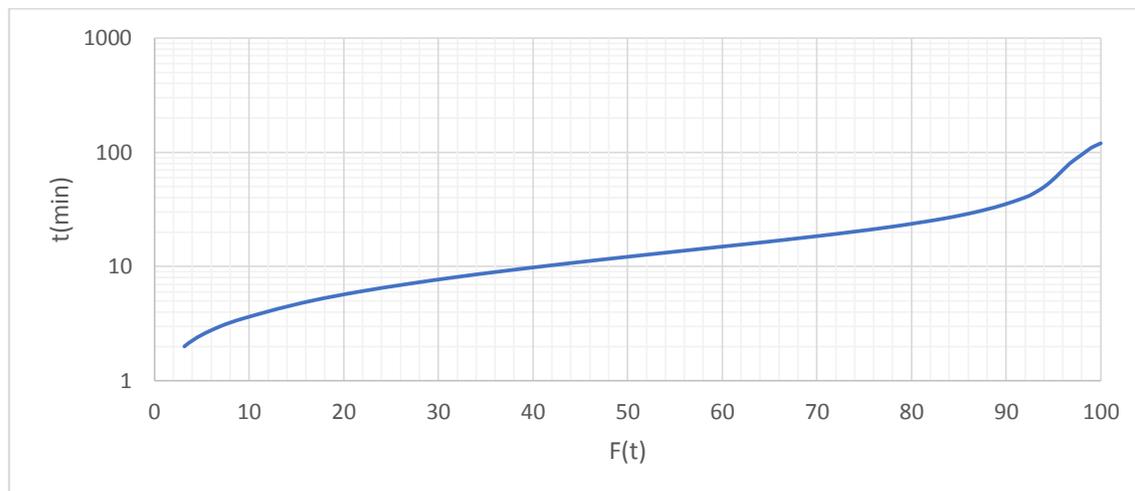


ELABORACIÓN: Toapanta & Tualombo

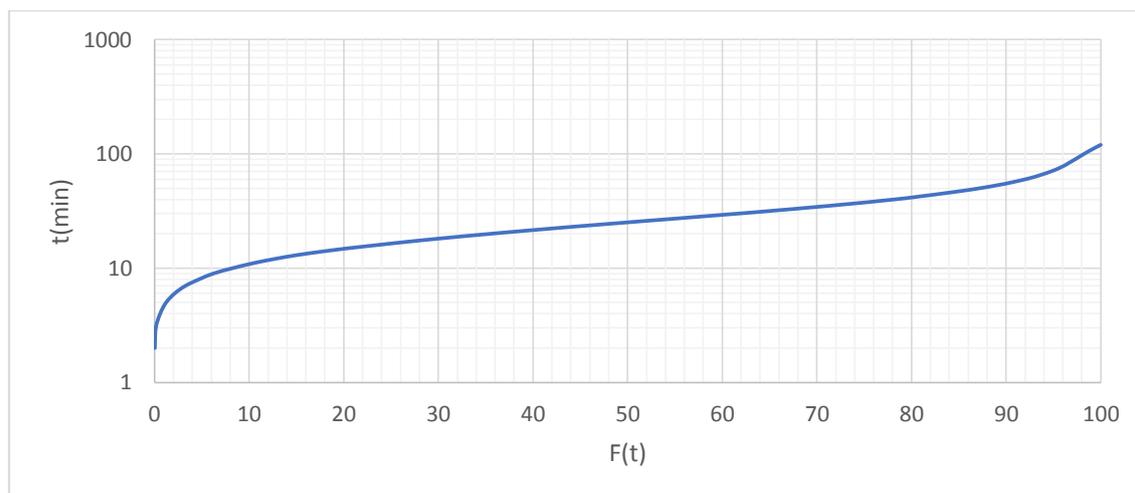
Gráfica 5.29 Índice de Morrill-Floculador II (Piscina 1) 2018



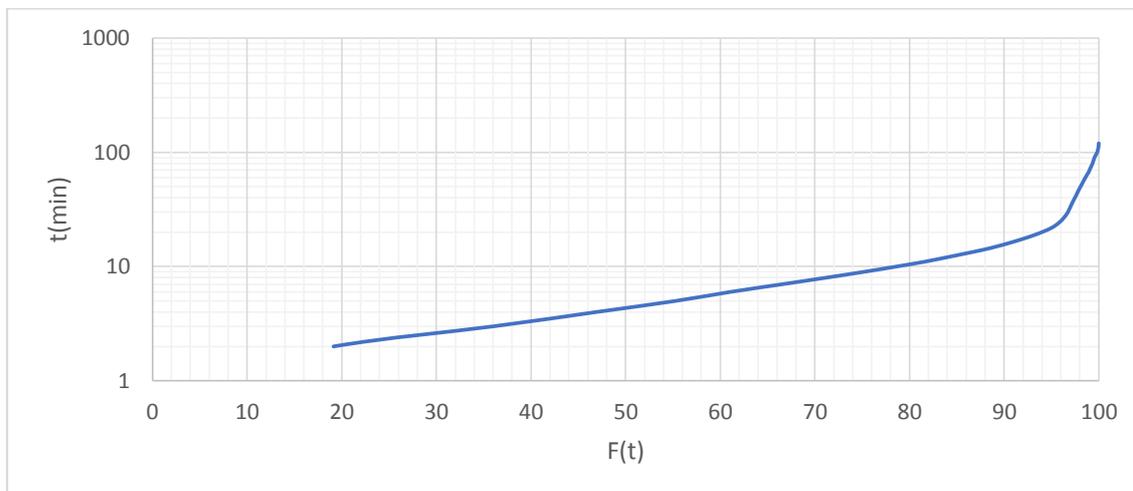
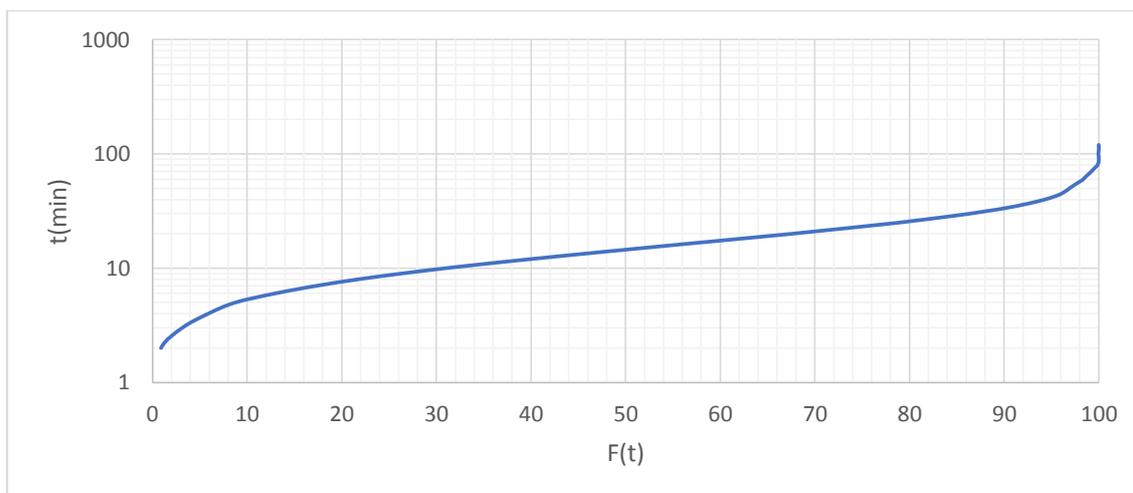
ELABORACIÓN: Toapanta & Tualombo

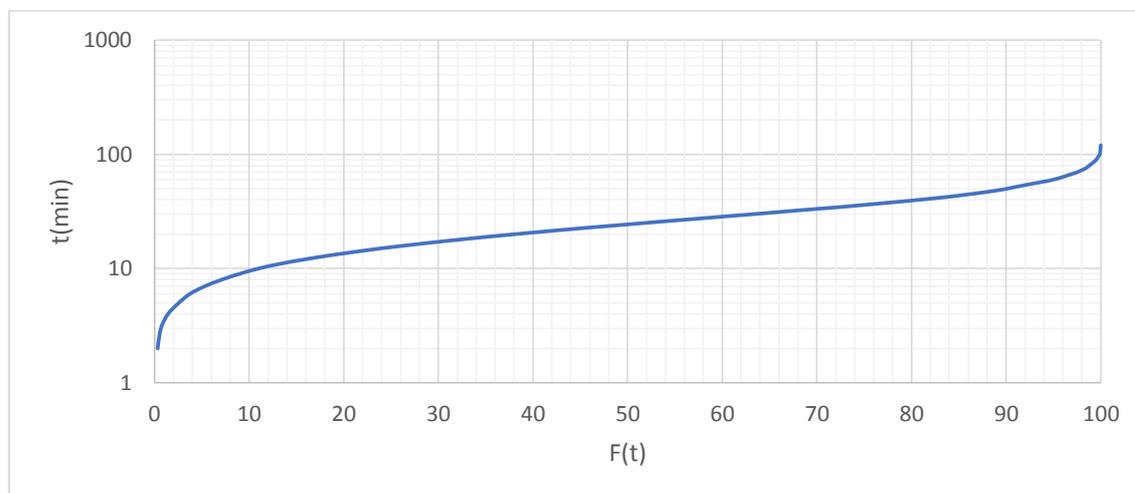
Gráfica 5.30 Índice de Morrill-Floculador II (Piscina 2) 2018

ELABORACIÓN: Toapanta & Tualombo

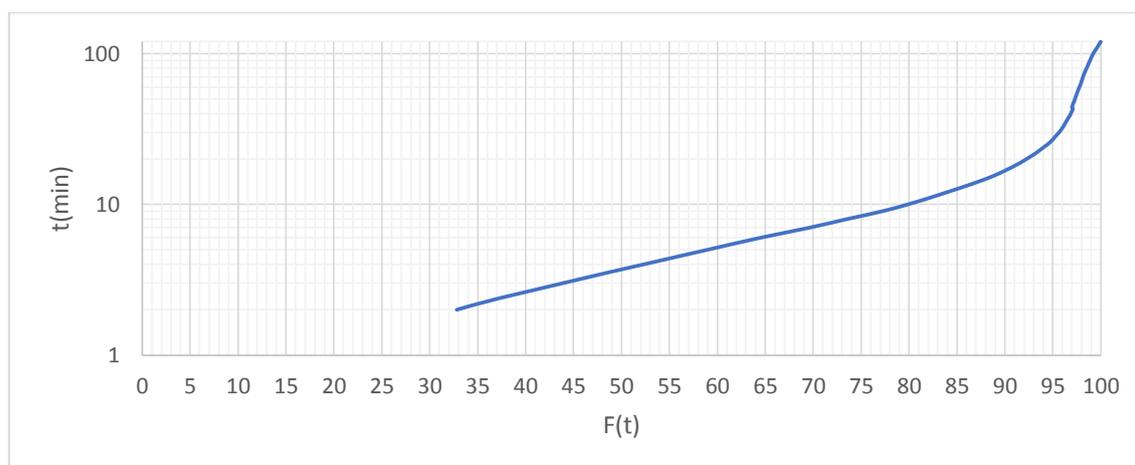
Gráfica 5.31 Índice de Morrill-Floculador II (Piscina 3) 2018

ELABORACIÓN: Toapanta & Tualombo

Gráfica 5.32 Índice de Morrill-Floculador III (Piscina 1) 2018**ELABORACIÓN:** Toapanta & Tualombo**Gráfica 5.33** Índice de Morrill-Floculador III (Piscina 2) 2018**ELABORACIÓN:** Toapanta & Tualombo

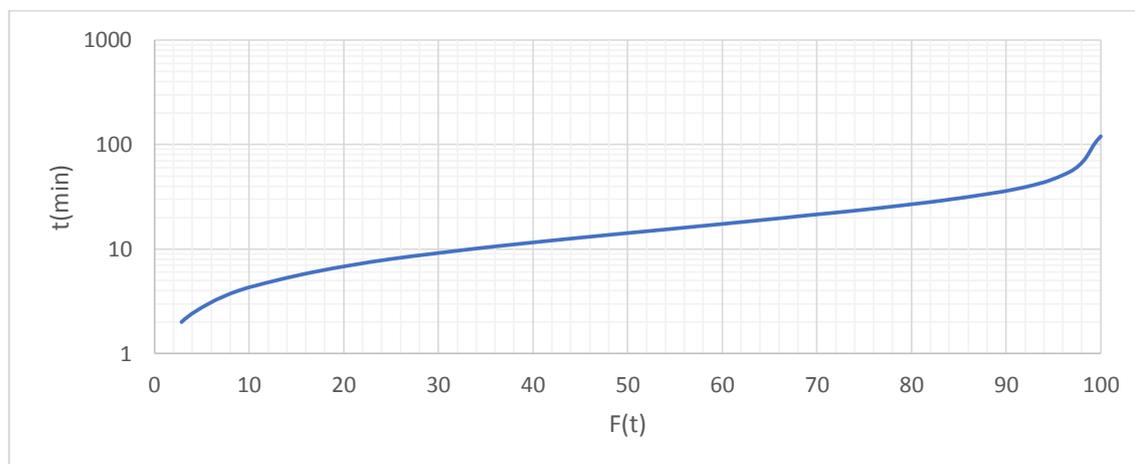
Gráfica 5.34 Índice de Morrill-Floculador III (Piscina 3) 2018

ELABORACIÓN: Toapanta & Tualombo

Gráfica 5.35 Índice de Morrill-Floculador IV (Piscina 1) 2018

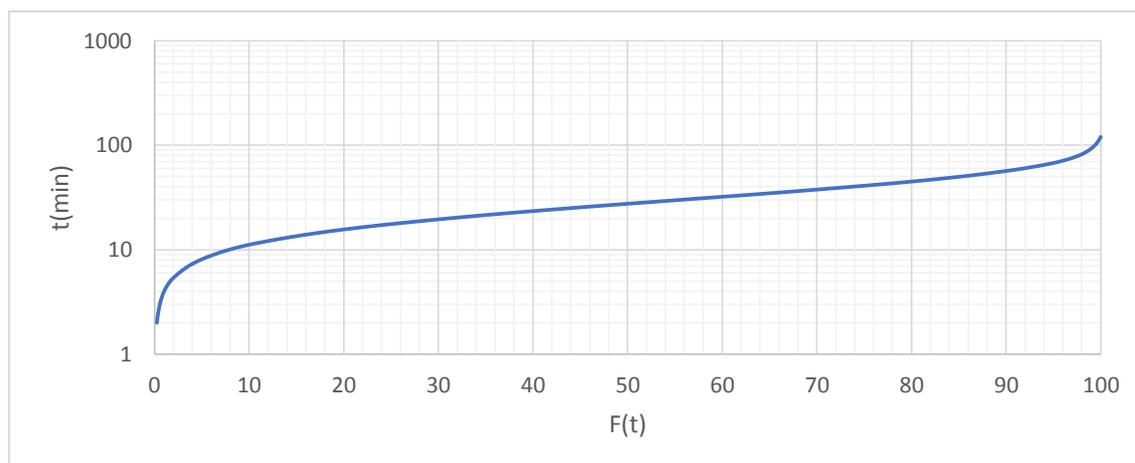
ELABORACIÓN: Toapanta & Tualombo

Gráfica 5.36 Índice de Morrill-Floculador IV (Piscina 2) 2018



ELABORACIÓN: Toapanta & Tualombo

Gráfica 5.37 Índice de Morrill-Floculador IV (Piscina 3) 2018



ELABORACIÓN: Toapanta & Tualombo

Los resultados del cálculo del índice de Morrill para cada floculador se muestran en la Tabla 5.18.

Tabla 5.18 Índice de Morrill-Floculadores

Floculador	Piscina	T ₉₀	T ₁₀	Índice de Morrill
1	1	18	1	18
	2	31	4	7.75
	3	52	8	6.50
2	1	61	1	61
	2	36	4	9
	3	55	8	5
3	1	16.5	1.4	11.8
	2	34	5.5	6.18
	3	50	10	5
4	1	17	1	17
	2	36	4.5	8
	3	57	11	5.18

ELABORACIÓN: Toapanta & Tualombo

5.2.2 SEDIMENTADORES

La Tabla 5.19 muestra los datos de condiciones iniciales de los sedimentadores previo a la adición del trazador.

Tabla 5.19 Condiciones iniciales-Sedimentadores

Parámetro	Sedimentador 1	Sedimentador 2	Sedimentador 3	Sedimentador 4
Caudal (m ³ /s)	0.7			
Temperatura (°C)	11.5	11.4	11.1	9.6
Conductividad (μS/cm)	187.9	188.1	186.1	168.2
Tr Teórico (min)	40			
Cantidad de sal a añadir (kg)	29.05	29.05	29.05	29.05

En las Tablas 5.20, 5.21, 5.22 y 5.23 se muestran los datos obtenidos para la realización del análisis de las unidades de sedimentación por el método de Wolf-Resnick.

Tabla 5.20 Prueba de trazadores-Datos obtenidos Sedimentador I

t (min)	F(t)	1-F(t)	t/to	t (min)	F(t)	1-F(t)	t/to
0	0,000	100,00	0,000	35	19,428	80,57	0,632
1	0,002	100,00	0,018	36	20,587	79,41	0,650
2	0,002	100,00	0,036	37	21,747	78,25	0,669
3	0,000	100,00	0,054	38	22,907	77,09	0,687
4	-0,007	100,01	0,072	39	24,067	75,93	0,705
5	-0,005	100,00	0,090	40	25,204	74,80	0,723
6	0,000	100,00	0,108	41	26,341	73,66	0,741
7	0,016	99,98	0,126	42	27,478	72,52	0,759
8	0,043	99,96	0,145	43	28,615	71,39	0,777
9	0,093	99,91	0,163	44	29,729	70,27	0,795
10	0,177	99,82	0,181	45	30,844	69,16	0,813
11	0,306	99,69	0,199	46	31,958	68,04	0,831
12	0,481	99,52	0,217	47	33,072	66,93	0,849
13	0,692	99,31	0,235	48	34,187	65,81	0,867
14	0,951	99,05	0,253	49	35,278	64,72	0,885
15	1,271	98,73	0,271	50	36,370	63,63	0,903
16	1,682	98,32	0,289	51	37,462	62,54	0,921
17	2,161	97,84	0,307	52	38,531	61,47	0,940
18	2,730	97,27	0,325	53	39,577	60,42	0,958
19	3,368	96,63	0,343	54	40,623	59,38	0,976
20	4,074	95,93	0,361	55	41,670	58,33	0,994
21	4,825	95,17	0,379	56	42,693	57,31	1,012
22	5,622	94,38	0,398	57	43,717	56,28	1,030
23	6,509	93,49	0,416	58	44,718	55,28	1,048
24	7,442	92,56	0,434	59	45,718	54,28	1,066
25	8,397	91,60	0,452	60	46,697	53,30	1,084
26	9,376	90,62	0,470	61	47,675	52,33	1,102
27	10,422	89,58	0,488	62	48,653	51,35	1,120
28	11,491	88,51	0,506	63	49,608	50,39	1,138
29	12,583	87,42	0,524	64	50,564	49,44	1,156
30	13,697	86,30	0,542	65	51,519	48,48	1,174
31	14,834	85,17	0,560	66	52,452	47,55	1,193
32	15,971	84,03	0,578	67	53,362	46,64	1,211
33	17,131	82,87	0,596	68	54,272	45,73	1,229
34	18,268	81,73	0,614	69	55,183	44,82	1,247

Tabla 5.20 Prueba de trazadores-Datos obtenidos Sedimentador I (Continuación)

t (min)	F(t)	1-F(t)	t/to	t (min)	F(t)	1-F(t)	t/to
70	56,070	43,93	1,265	109	79,944	20,06	1,969
71	56,912	43,09	1,283	110	80,332	19,67	1,988
72	57,754	42,25	1,301	111	80,720	19,28	2,006
73	58,573	41,43	1,319	112	81,085	18,91	2,024
74	59,393	40,61	1,337	113	81,451	18,55	2,042
75	60,189	39,81	1,355	114	81,816	18,18	2,060
76	60,963	39,04	1,373	115	82,182	17,82	2,078
77	61,737	38,26	1,391	116	82,524	17,48	2,096
78	62,511	37,49	1,409	117	82,867	17,13	2,114
79	63,262	36,74	1,427	118	83,187	16,81	2,132
80	63,991	36,01	1,445	119	83,507	16,49	2,150
81	64,719	35,28	1,464	120	83,827	16,17	2,168
82	65,425	34,57	1,482	121	84,147	15,85	2,186
83	66,131	33,87	1,500	122	84,444	15,56	2,204
84	66,837	33,16	1,518	123	84,742	15,26	2,222
85	67,520	32,48	1,536	124	85,039	14,96	2,241
86	68,180	31,82	1,554	125	85,336	14,66	2,259
87	68,818	31,18	1,572	126	85,611	14,39	2,277
88	69,433	30,57	1,590	127	85,885	14,11	2,295
89	70,048	29,95	1,608	128	86,160	13,84	2,313
90	70,663	29,34	1,626	129	86,412	13,59	2,331
91	71,278	28,72	1,644	130	86,664	13,34	2,349
92	71,871	28,13	1,662	131	86,916	13,08	2,367
93	72,440	27,56	1,680	132	87,168	12,83	2,385
94	73,010	26,99	1,698	133	87,420	12,58	2,403
95	73,534	26,47	1,717	134	87,672	12,33	2,421
96	74,059	25,94	1,735	135	87,901	12,10	2,439
97	74,560	25,44	1,753	136	88,130	11,87	2,457
98	75,062	24,94	1,771	137	88,359	11,64	2,475
99	75,563	24,44	1,789	138	88,586	11,41	2,493
100	76,042	23,96	1,807	139	88,806	11,19	2,512
101	76,521	23,48	1,825	140	89,020	10,98	2,530
102	76,977	23,02	1,843	141	89,217	10,78	2,548
103	77,434	22,57	1,861	142	89,421	10,58	2,566
104	77,867	22,13	1,879	143	89,619	10,38	2,584
105	78,301	21,70	1,897	144	89,810	10,19	2,602
106	78,734	21,27	1,915	145	89,998	10,00	2,620
107	79,145	20,86	1,933	146	90,189	9,81	2,638
108	79,556	20,44	1,951	147	90,375	9,63	2,656

Tabla 5.20 Prueba de trazadores-Datos obtenidos Sedimentador I (Continuación)

t (min)	F(t)	1-F(t)	t/to	t (min)	F(t)	1-F(t)	t/to
148	90,561	9,44	2,674	187	95,661	4,34	3,379
149	90,738	9,26	2,692	188	95,756	4,24	3,397
150	90,917	9,08	2,710	189	95,851	4,15	3,415
151	91,081	8,92	2,728	190	95,944	4,06	3,433
152	91,244	8,76	2,746	191	96,035	3,96	3,451
153	91,414	8,59	2,764	192	96,128	3,87	3,469
154	91,578	8,42	2,783	193	96,219	3,78	3,487
155	91,741	8,26	2,801	194	96,305	3,69	3,505
156	91,902	8,10	2,819	195	96,391	3,61	3,523
157	92,054	7,95	2,837	196	96,478	3,52	3,541
158	92,213	7,79	2,855	197	96,564	3,44	3,560
159	92,358	7,64	2,873	198	96,650	3,35	3,578
160	92,501	7,50	2,891	199	96,725	3,28	3,596
161	92,644	7,36	2,909	200	96,795	3,20	3,614
162	92,787	7,21	2,927	201	96,863	3,14	3,632
163	92,926	7,07	2,945	202	96,932	3,07	3,650
164	93,062	6,94	2,963	203	96,995	3,00	3,668
165	93,200	6,80	2,981	204	97,056	2,94	3,686
166	93,332	6,67	2,999	205	97,115	2,88	3,704
167	93,464	6,54	3,017	206	97,174	2,83	3,722
168	93,586	6,41	3,036	207	97,231	2,77	3,740
169	93,711	6,29	3,054	208	97,288	2,71	3,758
170	93,831	6,17	3,072	209	97,345	2,66	3,776
171	93,954	6,05	3,090	210	97,404	2,60	3,794
172	94,070	5,93	3,108	211	97,458	2,54	3,812
173	94,183	5,82	3,126	212	97,515	2,49	3,831
174	94,299	5,70	3,144	213	97,569	2,43	3,849
175	94,410	5,59	3,162	214	97,624	2,38	3,867
176	94,521	5,48	3,180	215	97,674	2,33	3,885
177	94,632	5,37	3,198	216	97,726	2,27	3,903
178	94,739	5,26	3,216	217	97,778	2,22	3,921
179	94,844	5,16	3,234	218	97,828	2,17	3,939
180	94,946	5,05	3,252	219	97,873	2,13	3,957
181	95,048	4,95	3,270	220	97,923	2,08	3,975
182	95,157	4,84	3,288	221	97,971	2,03	3,993
183	95,259	4,74	3,307	222	98,019	1,98	4,011
184	95,363	4,64	3,325	223	98,066	1,93	4,029
185	95,463	4,54	3,343	224	98,114	1,89	4,047
186	95,561	4,44	3,361	225	98,162	1,84	4,065

Tabla 5.20 Prueba de trazadores-Datos obtenidos Sedimentador I (Continuación)

t (min)	F(t)	1-F(t)	t/to	t (min)	F(t)	1-F(t)	t/to
226	98,209	1,79	4,083	265	99,698	0,30	4,788
227	98,255	1,75	4,102	266	99,728	0,27	4,806
228	98,300	1,70	4,120	267	99,755	0,25	4,824
229	98,345	1,65	4,138	268	99,782	0,22	4,842
230	98,391	1,61	4,156	269	99,809	0,19	4,860
231	98,436	1,56	4,174	270	99,834	0,17	4,879
232	98,482	1,52	4,192	271	99,859	0,14	4,897
233	98,527	1,47	4,210	272	99,884	0,12	4,915
234	98,570	1,43	4,228	273	99,909	0,09	4,933
235	98,613	1,39	4,246	274	99,932	0,07	4,951
236	98,656	1,34	4,264	275	99,955	0,05	4,969
237	98,697	1,30	4,282	276	99,977	0,02	4,987
238	98,738	1,26	4,300	277	100,000	0,00	5,005
239	98,779	1,22	4,318				
240	98,820	1,18	4,336				
241	98,858	1,14	4,355				
242	98,899	1,10	4,373				
243	98,938	1,06	4,391				
244	98,979	1,02	4,409				
245	99,017	0,98	4,427				
246	99,056	0,94	4,445				
247	99,094	0,91	4,463				
248	99,131	0,87	4,481				
249	99,167	0,83	4,499				
250	99,203	0,80	4,517				
251	99,240	0,76	4,535				
252	99,276	0,72	4,553				
253	99,310	0,69	4,571				
254	99,344	0,66	4,589				
255	99,378	0,62	4,607				
256	99,412	0,59	4,626				
257	99,446	0,55	4,644				
258	99,480	0,52	4,662				
259	99,514	0,49	4,680				
260	99,546	0,45	4,698				
261	99,576	0,42	4,716				
262	99,607	0,39	4,734				
263	99,639	0,36	4,752				
264	99,669	0,33	4,770				

Tabla 5.21 Prueba de trazadores-Datos obtenidos Sedimentador II

t (min)	F(t)	1-F(t)	t/to	t (min)	F(t)	1-F(t)	t/to
0	0,000	100,00	0,000	42	36,128	63,87	0,759
1	0,000	100,00	0,018	43	37,707	62,29	0,777
2	0,002	100,00	0,036	44	39,238	60,76	0,795
3	0,005	100,00	0,054	45	40,744	59,26	0,813
4	0,007	99,99	0,072	46	42,201	57,80	0,831
5	0,010	99,99	0,090	47	43,633	56,37	0,849
6	0,012	99,99	0,108	48	45,041	54,96	0,867
7	0,017	99,98	0,126	49	46,425	53,58	0,885
8	0,029	99,97	0,145	50	47,784	52,22	0,903
9	0,051	99,95	0,163	51	49,094	50,91	0,921
10	0,086	99,91	0,181	52	50,380	49,62	0,940
11	0,132	99,87	0,199	53	51,617	48,38	0,958
12	0,213	99,79	0,217	54	52,854	47,15	0,976
13	0,323	99,68	0,235	55	54,067	45,93	0,994
14	0,482	99,52	0,253	56	55,230	44,77	1,012
18	1,406	98,59	0,325	57	56,369	43,63	1,030
19	1,763	98,24	0,343	58	57,435	42,56	1,048
20	2,193	97,81	0,361	59	58,501	41,50	1,066
21	2,745	97,25	0,379	60	59,567	40,43	1,084
22	3,493	96,51	0,398	61	60,608	39,39	1,102
23	4,461	95,54	0,416	62	61,650	38,35	1,120
24	5,625	94,38	0,434	63	62,642	37,36	1,138
25	6,960	93,04	0,452	64	63,586	36,41	1,156
26	8,417	91,58	0,470	65	64,480	35,52	1,174
27	9,996	90,00	0,488	66	65,351	34,65	1,193
28	11,673	88,33	0,506	67	66,172	33,83	1,211
29	13,423	86,58	0,524	68	66,969	33,03	1,229
30	15,222	84,78	0,542	69	67,766	32,23	1,247
31	17,046	82,95	0,560	70	68,538	31,46	1,265
32	18,894	81,11	0,578	71	69,262	30,74	1,283
33	20,718	79,28	0,596	72	69,986	30,01	1,301
34	22,517	77,48	0,614	73	70,709	29,29	1,319
35	24,292	75,71	0,632	74	71,457	28,54	1,337
36	26,066	73,93	0,650	75	72,181	27,82	1,355
37	27,817	72,18	0,669	76	72,904	27,10	1,373
38	29,543	70,46	0,687	77	73,555	26,45	1,391
39	31,244	68,76	0,705	78	74,205	25,80	1,409
40	32,897	67,10	0,723	79	74,806	25,19	1,427
41	34,525	65,48	0,741	80	75,408	24,59	1,445

Tabla 5.21 Prueba de trazadores-Datos obtenidos Sedimentador II (Continuación)

t (min)	F(t)	1-F(t)	t/to	t (min)	F(t)	1-F(t)	t/to
81	75,936	24,06	1,464	120	90,183	9,82	2,168
82	76,488	23,51	1,482	121	90,408	9,59	2,186
83	76,992	23,01	1,500	122	90,625	9,37	2,204
84	77,520	22,48	1,518	123	90,848	9,15	2,222
85	78,023	21,98	1,536	124	91,075	8,93	2,241
86	78,502	21,50	1,554	125	91,283	8,72	2,259
87	78,982	21,02	1,572	126	91,476	8,52	2,277
88	79,436	20,56	1,590	127	91,666	8,33	2,295
89	79,891	20,11	1,608	128	91,869	8,13	2,313
90	80,346	19,65	1,626	129	92,062	7,94	2,331
91	80,776	19,22	1,644	130	92,243	7,76	2,349
92	81,206	18,79	1,662	131	92,424	7,58	2,367
93	81,612	18,39	1,680	132	92,603	7,40	2,385
94	82,042	17,96	1,698	133	92,776	7,22	2,403
95	82,472	17,53	1,717	134	92,960	7,04	2,421
96	82,903	17,10	1,735	135	93,138	6,86	2,439
97	83,260	16,74	1,753	136	93,290	6,71	2,457
98	83,641	16,36	1,771	137	93,449	6,55	2,475
99	83,998	16,00	1,789	138	93,593	6,41	2,493
100	84,355	15,65	1,807	139	93,739	6,26	2,512
101	84,712	15,29	1,825	140	93,871	6,13	2,530
102	85,044	14,96	1,843	141	94,028	5,97	2,548
103	85,352	14,65	1,861	142	94,172	5,83	2,566
104	85,660	14,34	1,879	143	94,311	5,69	2,584
105	85,993	14,01	1,897	144	94,451	5,55	2,602
106	86,301	13,70	1,915	145	94,588	5,41	2,620
107	86,609	13,39	1,933	146	94,720	5,28	2,638
108	86,917	13,08	1,951	147	94,847	5,15	2,656
109	87,225	12,78	1,969	148	94,967	5,03	2,674
110	87,533	12,47	1,988	149	95,091	4,91	2,692
111	87,816	12,18	2,006	150	95,204	4,80	2,710
112	88,100	11,90	2,024	151	95,316	4,68	2,728
113	88,383	11,62	2,042	152	95,421	4,58	2,746
114	88,667	11,33	2,060	153	95,526	4,47	2,764
115	88,951	11,05	2,078	154	95,632	4,37	2,783
116	89,210	10,79	2,096	155	95,734	4,27	2,801
117	89,469	10,53	2,114	156	95,834	4,17	2,819
118	89,703	10,30	2,132	157	95,935	4,07	2,837
119	89,941	10,06	2,150	158	96,035	3,97	2,855

Tabla 5.21 Prueba de trazadores-Datos obtenidos Sedimentador II (Continuación)

t (min)	F(t)	1-F(t)	t/to	t (min)	F(t)	1-F(t)	t/to
159	96,135	3,86	2,873	198	98,433	1,57	3,578
160	96,230	3,77	2,891	199	98,462	1,54	3,596
161	96,318	3,68	2,909	200	98,497	1,50	3,614
162	96,406	3,59	2,927	201	98,528	1,47	3,632
163	96,502	3,50	2,945	202	98,572	1,43	3,650
164	96,587	3,41	2,963	203	98,602	1,40	3,668
165	96,670	3,33	2,981	204	98,631	1,37	3,686
166	96,746	3,25	2,999	205	98,663	1,34	3,704
167	96,820	3,18	3,017	206	98,690	1,31	3,722
168	96,893	3,11	3,036	207	98,719	1,28	3,740
169	96,964	3,04	3,054	208	98,751	1,25	3,758
170	97,032	2,97	3,072	209	98,780	1,22	3,776
171	97,093	2,91	3,090	210	98,807	1,19	3,794
172	97,159	2,84	3,108	211	98,834	1,17	3,812
173	97,223	2,78	3,126	212	98,861	1,14	3,831
174	97,289	2,71	3,144	213	98,885	1,11	3,849
175	97,355	2,65	3,162	214	98,915	1,09	3,867
176	97,416	2,58	3,180	215	98,944	1,06	3,885
177	97,477	2,52	3,198	216	98,971	1,03	3,903
178	97,531	2,47	3,216	217	99,003	1,00	3,921
179	97,587	2,41	3,234	218	99,034	0,97	3,939
180	97,636	2,36	3,252	219	99,066	0,93	3,957
181	97,692	2,31	3,270	220	99,100	0,90	3,975
182	97,741	2,26	3,288	221	99,127	0,87	3,993
183	97,788	2,21	3,307	222	99,154	0,85	4,011
184	97,829	2,17	3,325	223	99,184	0,82	4,029
185	97,885	2,11	3,343	224	99,210	0,79	4,047
186	97,932	2,07	3,361	225	99,232	0,77	4,065
187	97,983	2,02	3,379	226	99,257	0,74	4,083
188	98,025	1,98	3,397	227	99,281	0,72	4,102
189	98,066	1,93	3,415	228	99,308	0,69	4,120
190	98,113	1,89	3,433	229	99,335	0,66	4,138
191	98,162	1,84	3,451	230	99,357	0,64	4,156
192	98,211	1,79	3,469	231	99,382	0,62	4,174
193	98,247	1,75	3,487	232	99,406	0,59	4,192
194	98,286	1,71	3,505	233	99,430	0,57	4,210
195	98,323	1,68	3,523	234	99,455	0,55	4,228
196	98,357	1,64	3,541	235	99,477	0,52	4,246
197	98,396	1,60	3,560	236	99,499	0,50	4,264

Tabla 5.21 Prueba de trazadores-Datos obtenidos Sedimentador II (Continuación)

t (min)	F(t)	1-F(t)	t/to	t (min)	F(t)	1-F(t)	t/to
237	99,523	0,48	4,282	276	99,998	0,00	4,987
238	99,545	0,45	4,300	277	100,000	0,00	5,005
239	99,567	0,43	4,318	278	100,000	0,00	5,023
240	99,589	0,41	4,336	279	100,000	0,00	5,041
241	99,611	0,39	4,355	280	100,000	0,00	5,059
242	99,633	0,37	4,373				
243	99,655	0,34	4,391				
244	99,675	0,33	4,409				
245	99,694	0,31	4,427				
246	99,714	0,29	4,445				
247	99,734	0,27	4,463				
248	99,751	0,25	4,481				
249	99,768	0,23	4,499				
250	99,782	0,22	4,517				
251	99,797	0,20	4,535				
252	99,812	0,19	4,553				
253	99,826	0,17	4,571				
254	99,839	0,16	4,589				
255	99,851	0,15	4,607				
256	99,866	0,13	4,626				
257	99,878	0,12	4,644				
258	99,888	0,11	4,662				
259	99,897	0,10	4,680				
260	99,907	0,09	4,698				
261	99,917	0,08	4,716				
262	99,924	0,08	4,734				
263	99,934	0,07	4,752				
264	99,944	0,06	4,770				
265	99,951	0,05	4,788				
266	99,958	0,04	4,806				
267	99,963	0,04	4,824				
268	99,971	0,03	4,842				
269	99,976	0,02	4,860				
270	99,980	0,02	4,879				
271	99,985	0,01	4,897				
272	99,988	0,01	4,915				
273	99,990	0,01	4,933				
274	99,995	0,00	4,951				
275	99,998	0,00	4,969				

Tabla 5.22 Prueba de trazadores-Datos obtenidos Sedimentador III

t (min)	F(t)	1-F(t)	t/to	t (min)	F(t)	1-F(t)	t/to
0	0,000	100,00	0,000	39	28,486	71,51	0,705
1	0,000	100,00	0,018	40	30,105	69,89	0,723
2	0,000	100,00	0,036	41	31,700	68,30	0,741
3	0,002	100,00	0,054	42	33,272	66,73	0,759
4	0,005	100,00	0,072	43	34,797	65,20	0,777
5	0,007	99,99	0,090	44	36,298	63,70	0,795
6	0,009	99,99	0,108	45	37,752	62,25	0,813
7	0,012	99,99	0,126	46	39,159	60,84	0,831
8	0,016	99,98	0,145	47	40,543	59,46	0,849
9	0,026	99,97	0,163	48	41,879	58,12	0,867
10	0,049	99,95	0,181	49	43,168	56,83	0,885
11	0,089	99,91	0,199	50	44,434	55,57	0,903
12	0,155	99,84	0,217	51	45,700	54,30	0,921
13	0,240	99,76	0,235	52	46,919	53,08	0,940
14	0,329	99,67	0,253	53	48,114	51,89	0,958
15	0,445	99,56	0,271	54	49,309	50,69	0,976
16	0,586	99,41	0,289	55	50,458	49,54	0,994
17	0,746	99,25	0,307	56	51,582	48,42	1,012
18	0,951	99,05	0,325	57	52,683	47,32	1,030
19	1,184	98,82	0,343	58	53,761	46,24	1,048
20	1,494	98,51	0,361	59	54,792	45,21	1,066
21	1,913	98,09	0,379	60	55,799	44,20	1,084
22	2,473	97,53	0,398	61	56,806	43,19	1,102
23	3,221	96,78	0,416	62	57,789	42,21	1,120
24	4,110	95,89	0,434	63	58,749	41,25	1,138
25	5,259	94,74	0,452	64	59,709	40,29	1,156
26	6,548	93,45	0,470	65	60,622	39,38	1,174
27	7,955	92,04	0,488	66	61,511	38,49	1,193
28	9,550	90,45	0,506	67	62,401	37,60	1,211
29	11,240	88,76	0,524	68	63,267	36,73	1,229
30	12,953	87,05	0,542	69	64,109	35,89	1,247
31	14,736	85,26	0,560	70	64,928	35,07	1,265
32	16,496	83,50	0,578	71	65,700	34,30	1,283
33	18,233	81,77	0,596	72	66,471	33,53	1,301
34	19,992	80,01	0,614	73	67,220	32,78	1,319
35	21,752	78,25	0,632	74	67,968	32,03	1,337
36	23,489	76,51	0,650	75	68,645	31,35	1,355
37	25,178	74,82	0,669	76	69,347	30,65	1,373
38	26,844	73,16	0,687	77	70,024	29,98	1,391

Tabla 5.22 Prueba de trazadores-Datos obtenidos Sedimentador III (Continuación)

t (min)	F(t)	1-F(t)	t/to	t (min)	F(t)	1-F(t)	t/to
78	70,702	29,30	1,409	117	87,181	12,82	2,114
79	71,356	28,64	1,427	118	87,438	12,56	2,132
80	71,987	28,01	1,445	119	87,697	12,30	2,150
81	72,594	27,41	1,464	120	87,937	12,06	2,168
82	73,201	26,80	1,482	121	88,179	11,82	2,186
83	73,784	26,22	1,500	122	88,421	11,58	2,204
84	74,368	25,63	1,518	123	88,657	11,34	2,222
85	74,928	25,07	1,536	124	88,883	11,12	2,241
86	75,488	24,51	1,554	125	89,106	10,89	2,259
87	76,024	23,98	1,572	126	89,323	10,68	2,277
88	76,537	23,46	1,590	127	89,530	10,47	2,295
89	77,003	23,00	1,608	128	89,746	10,25	2,313
90	77,492	22,51	1,626	129	89,953	10,05	2,331
91	77,958	22,04	1,644	130	90,158	9,84	2,349
92	78,424	21,58	1,662	131	90,353	9,65	2,367
93	78,866	21,13	1,680	132	90,546	9,45	2,385
94	79,309	20,69	1,698	133	90,737	9,26	2,403
95	79,751	20,25	1,717	134	90,923	9,08	2,421
96	80,146	19,85	1,735	135	91,097	8,90	2,439
97	80,565	19,43	1,753	136	91,266	8,73	2,457
98	80,984	19,02	1,771	137	91,431	8,57	2,475
99	81,379	18,62	1,789	138	91,612	8,39	2,493
100	81,751	18,25	1,807	139	91,774	8,23	2,512
101	82,146	17,85	1,825	140	91,932	8,07	2,530
102	82,495	17,51	1,843	141	92,085	7,92	2,548
103	82,843	17,16	1,861	142	92,243	7,76	2,566
104	83,215	16,79	1,879	143	92,388	7,61	2,584
105	83,563	16,44	1,897	144	92,541	7,46	2,602
106	83,934	16,07	1,915	145	92,697	7,30	2,620
107	84,283	15,72	1,933	146	92,845	7,16	2,638
108	84,607	15,39	1,951	147	92,984	7,02	2,656
109	84,909	15,09	1,969	148	93,118	6,88	2,674
110	85,210	14,79	1,988	149	93,245	6,76	2,692
111	85,511	14,49	2,006	150	93,374	6,63	2,710
112	85,812	14,19	2,024	151	93,501	6,50	2,728
113	86,090	13,91	2,042	152	93,631	6,37	2,746
114	86,367	13,63	2,060	153	93,753	6,25	2,764
115	86,650	13,35	2,078	154	93,880	6,12	2,783
116	86,918	13,08	2,096	155	94,010	5,99	2,801

Tabla 5.22 Prueba de trazadores-Datos obtenidos Sedimentador III (Continuación)

t (min)	F(t)	1-F(t)	t/to	t (min)	F(t)	1-F(t)	t/to
156	94,132	5,87	2,819	195	97,758	2,24	3,523
157	94,254	5,75	2,837	196	97,814	2,19	3,541
158	94,370	5,63	2,855	197	97,868	2,13	3,560
159	94,490	5,51	2,873	198	97,922	2,08	3,578
160	94,607	5,39	2,891	199	97,974	2,03	3,596
161	94,720	5,28	2,909	200	98,026	1,97	3,614
162	94,840	5,16	2,927	201	98,078	1,92	3,632
163	94,953	5,05	2,945	202	98,129	1,87	3,650
164	95,057	4,94	2,963	203	98,181	1,82	3,668
165	95,170	4,83	2,981	204	98,233	1,77	3,686
166	95,275	4,72	2,999	205	98,285	1,72	3,704
167	95,379	4,62	3,017	206	98,337	1,66	3,722
168	95,480	4,52	3,036	207	98,388	1,61	3,740
169	95,591	4,41	3,054	208	98,440	1,56	3,758
170	95,704	4,30	3,072	209	98,492	1,51	3,776
171	95,802	4,20	3,090	210	98,544	1,46	3,794
172	95,901	4,10	3,108	211	98,598	1,40	3,812
173	95,993	4,01	3,126	212	98,649	1,35	3,831
174	96,087	3,91	3,144	213	98,701	1,30	3,849
175	96,181	3,82	3,162	214	98,753	1,25	3,867
176	96,273	3,73	3,180	215	98,802	1,20	3,885
177	96,360	3,64	3,198	216	98,852	1,15	3,903
178	96,447	3,55	3,216	217	98,904	1,10	3,921
179	96,532	3,47	3,234	218	98,951	1,05	3,939
180	96,619	3,38	3,252	219	98,998	1,00	3,957
181	96,706	3,29	3,270	220	99,045	0,96	3,975
182	96,791	3,21	3,288	221	99,094	0,91	3,993
183	96,875	3,12	3,307	222	99,141	0,86	4,011
184	96,960	3,04	3,325	223	99,188	0,81	4,029
185	97,042	2,96	3,343	224	99,235	0,76	4,047
186	97,125	2,88	3,361	225	99,282	0,72	4,065
187	97,205	2,80	3,379	226	99,327	0,67	4,083
188	97,285	2,72	3,397	227	99,374	0,63	4,102
189	97,367	2,63	3,415	228	99,421	0,58	4,120
190	97,447	2,55	3,433	229	99,468	0,53	4,138
191	97,511	2,49	3,451	230	99,515	0,48	4,156
192	97,584	2,42	3,469	231	99,558	0,44	4,174
193	97,642	2,36	3,487	232	99,607	0,39	4,192
194	97,699	2,30	3,505	233	99,654	0,35	4,210

Tabla 5.23 Prueba de trazadores-Datos obtenidos Sedimentador VI

t (min)	F(t)	1-F(t)	t/to	t (min)	F(t)	1-F(t)	t/to
0	0,000	100,00	0,000	39	25,769	74,23	0,705
1	0,000	100,00	0,018	40	27,341	72,66	0,723
2	0,002	100,00	0,036	41	28,848	71,15	0,741
3	0,004	100,00	0,054	42	30,331	69,67	0,759
4	0,007	99,99	0,072	43	31,815	68,18	0,777
5	0,009	99,99	0,090	44	33,277	66,72	0,795
6	0,011	99,99	0,108	45	34,717	65,28	0,813
7	0,013	99,99	0,126	46	36,134	63,87	0,831
8	0,018	99,98	0,145	47	37,551	62,45	0,849
9	0,029	99,97	0,163	48	38,902	61,10	0,867
10	0,047	99,95	0,181	49	40,208	59,79	0,885
11	0,073	99,93	0,199	50	41,514	58,49	0,903
12	0,109	99,89	0,217	51	42,776	57,22	0,921
13	0,162	99,84	0,235	52	44,015	55,98	0,940
14	0,238	99,76	0,253	53	45,255	54,74	0,958
15	0,340	99,66	0,271	54	46,428	53,57	0,976
16	0,469	99,53	0,289	55	47,534	52,47	0,994
17	0,646	99,35	0,307	56	48,596	51,40	1,012
18	0,853	99,15	0,325	57	49,702	50,30	1,030
19	1,104	98,90	0,343	58	50,764	49,24	1,048
20	1,417	98,58	0,361	59	51,782	48,22	1,066
21	1,850	98,15	0,379	60	52,755	47,25	1,084
22	2,324	97,68	0,398	61	53,639	46,36	1,102
23	2,937	97,06	0,416	62	54,523	45,48	1,120
24	3,710	96,29	0,434	63	55,385	44,62	1,138
25	4,638	95,36	0,452	64	56,224	43,78	1,156
26	5,745	94,26	0,470	65	57,064	42,94	1,174
27	6,984	93,02	0,488	66	57,859	42,14	1,193
28	8,335	91,67	0,506	67	58,610	41,39	1,211
29	9,730	90,27	0,524	68	59,361	40,64	1,229
30	11,236	88,76	0,542	69	60,090	39,91	1,247
31	12,809	87,19	0,560	70	60,774	39,23	1,265
32	14,426	85,57	0,578	71	61,458	38,54	1,283
33	16,065	83,93	0,596	72	62,120	37,88	1,301
34	17,727	82,27	0,614	73	62,782	37,22	1,319
35	19,344	80,66	0,632	74	63,422	36,58	1,337
36	20,961	79,04	0,650	75	64,035	35,96	1,355
37	22,579	77,42	0,669	76	64,644	35,36	1,373
38	24,174	75,83	0,687	77	65,243	34,76	1,391

Tabla 5.23 Prueba de trazadores-Datos obtenidos Sedimentador VI (Continuación)

t (min)	F(t)	1-F(t)	t/to	t (min)	F(t)	1-F(t)	t/to
78	65,823	34,18	1,409	117	80,140	19,86	2,114
79	66,394	33,61	1,427	118	80,385	19,62	2,132
80	66,943	33,06	1,445	119	80,620	19,38	2,150
81	67,472	32,53	1,464	120	80,845	19,16	2,168
82	67,996	32,00	1,482	121	81,069	18,93	2,186
83	68,498	31,50	1,500	122	81,291	18,71	2,204
84	68,991	31,01	1,518	123	81,515	18,48	2,222
85	69,469	30,53	1,536	124	81,733	18,27	2,241
86	69,942	30,06	1,554	125	81,946	18,05	2,259
87	70,399	29,60	1,572	126	82,157	17,84	2,277
88	70,824	29,18	1,590	127	82,364	17,64	2,295
89	71,239	28,76	1,608	128	82,568	17,43	2,313
90	71,643	28,36	1,626	129	82,768	17,23	2,331
91	72,050	27,95	1,644	130	82,966	17,03	2,349
92	72,445	27,55	1,662	131	83,162	16,84	2,367
93	72,834	27,17	1,680	132	83,355	16,65	2,385
94	73,207	26,79	1,698	133	83,548	16,45	2,403
95	73,578	26,42	1,717	134	83,737	16,26	2,421
96	73,940	26,06	1,735	135	83,923	16,08	2,439
97	74,289	25,71	1,753	136	84,108	15,89	2,457
98	74,631	25,37	1,771	137	84,299	15,70	2,475
99	74,973	25,03	1,789	138	84,481	15,52	2,493
100	75,307	24,69	1,807	139	84,659	15,34	2,512
101	75,633	24,37	1,825	140	84,832	15,17	2,530
102	75,955	24,04	1,843	141	85,003	15,00	2,548
103	76,271	23,73	1,861	142	85,170	14,83	2,566
104	76,579	23,42	1,879	143	85,334	14,67	2,584
105	76,884	23,12	1,897	144	85,496	14,50	2,602
106	77,179	22,82	1,915	145	85,658	14,34	2,620
107	77,477	22,52	1,933	146	85,825	14,17	2,638
108	77,763	22,24	1,951	147	85,983	14,02	2,656
109	78,034	21,97	1,969	148	86,143	13,86	2,674
110	78,305	21,69	1,988	149	86,300	13,70	2,692
111	78,579	21,42	2,006	150	86,460	13,54	2,710
112	78,848	21,15	2,024	151	86,618	13,38	2,728
113	79,116	20,88	2,042	152	86,769	13,23	2,746
114	79,381	20,62	2,060	153	86,920	13,08	2,764
115	79,641	20,36	2,078	154	87,071	12,93	2,783
116	79,887	20,11	2,096	155	87,229	12,77	2,801

Tabla 5.23 Prueba de trazadores-Datos obtenidos Sedimentador VI (Continuación)

t (min)	F(t)	1-F(t)	t/to	t (min)	F(t)	1-F(t)	t/to
156	87,378	12,62	2,819	196	92,454	7,55	3,541
157	87,520	12,48	2,837	197	92,574	7,43	3,560
158	87,660	12,34	2,855	198	92,691	7,31	3,578
159	87,800	12,20	2,873	199	92,811	7,19	3,596
160	87,938	12,06	2,891	200	92,929	7,07	3,614
161	88,075	11,92	2,909	201	93,047	6,95	3,632
162	88,213	11,79	2,927	202	93,165	6,84	3,650
163	88,344	11,66	2,945	203	93,274	6,73	3,668
164	88,480	11,52	2,963	204	93,378	6,62	3,686
165	88,615	11,38	2,981	205	93,476	6,52	3,704
166	88,746	11,25	2,999	206	93,571	6,43	3,722
167	88,880	11,12	3,017	207	93,667	6,33	3,740
168	89,011	10,99	3,036	208	93,760	6,24	3,758
169	89,139	10,86	3,054	209	93,856	6,14	3,776
170	89,268	10,73	3,072	210	93,949	6,05	3,794
171	89,393	10,61	3,090	211	94,042	5,96	3,812
172	89,522	10,48	3,108	212	94,135	5,86	3,831
173	89,650	10,35	3,126	213	94,229	5,77	3,849
174	89,775	10,23	3,144	214	94,322	5,68	3,867
175	89,899	10,10	3,162	215	94,413	5,59	3,885
176	90,024	9,98	3,180	216	94,506	5,49	3,903
177	90,148	9,85	3,198	217	94,597	5,40	3,921
178	90,275	9,73	3,216	218	94,689	5,31	3,939
179	90,397	9,60	3,234	219	94,780	5,22	3,957
180	90,517	9,48	3,252	220	94,866	5,13	3,975
181	90,637	9,36	3,270	221	94,953	5,05	3,993
182	90,759	9,24	3,288	222	95,042	4,96	4,011
183	90,883	9,12	3,307	223	95,128	4,87	4,029
185	91,128	8,87	3,343	224	95,213	4,79	4,047
186	91,250	8,75	3,361	225	95,297	4,70	4,065
187	91,372	8,63	3,379	226	95,382	4,62	4,083
188	91,494	8,51	3,397	227	95,466	4,53	4,102
189	91,616	8,38	3,415	228	95,550	4,45	4,120
190	91,736	8,26	3,433	229	95,633	4,37	4,138
191	91,856	8,14	3,451	230	95,715	4,29	4,156
192	91,976	8,02	3,469	231	95,797	4,20	4,174
193	92,094	7,91	3,487	232	95,881	4,12	4,192
194	92,214	7,79	3,505	233	95,964	4,04	4,210
195	92,334	7,67	3,523	234	96,046	3,95	4,228

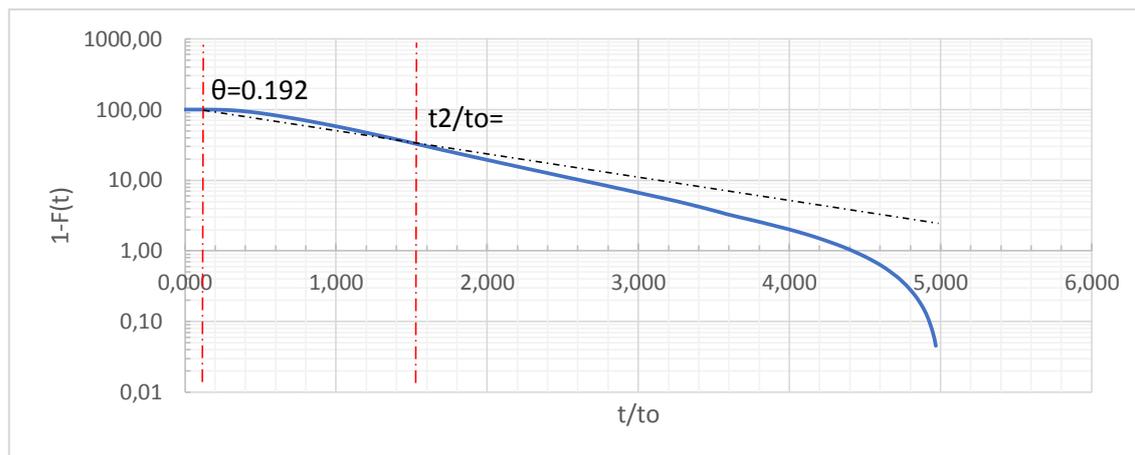
Tabla 5.23 Prueba de trazadores-Datos obtenidos Sedimentador VI (Continuación)

t (min)	F(t)	1-F(t)	t/to	t (min)	F(t)	1-F(t)	t/to
235	96,126	3,87	4,246	274	98,798	1,20	4,951
236	96,206	3,79	4,264	275	98,847	1,15	4,969
237	96,286	3,71	4,282	276	98,896	1,10	4,987
238	96,368	3,63	4,300	277	98,945	1,06	5,005
239	96,448	3,55	4,318	278	98,994	1,01	5,023
240	96,523	3,48	4,336	279	99,043	0,96	5,041
241	96,599	3,40	4,355	280	99,091	0,91	5,059
242	96,675	3,33	4,373	281	99,140	0,86	5,077
243	96,750	3,25	4,391	282	99,189	0,81	5,095
244	96,826	3,17	4,409	283	99,236	0,76	5,113
245	96,899	3,10	4,427	284	99,282	0,72	5,131
246	96,974	3,03	4,445	285	99,329	0,67	5,150
247	97,048	2,95	4,463	286	99,376	0,62	5,168
248	97,121	2,88	4,481	287	99,422	0,58	5,186
249	97,192	2,81	4,499	288	99,467	0,53	5,204
250	97,265	2,73	4,517	289	99,511	0,49	5,222
251	97,337	2,66	4,535	290	99,556	0,44	5,240
252	97,408	2,59	4,553	291	99,600	0,40	5,258
253	97,479	2,52	4,571	292	99,645	0,36	5,276
254	97,550	2,45	4,589	293	99,689	0,31	5,294
255	97,619	2,38	4,607	294	99,733	0,27	5,312
256	97,690	2,31	4,626	295	99,778	0,22	5,330
257	97,761	2,24	4,644	296	99,822	0,18	5,348
258	97,830	2,17	4,662	297	99,867	0,13	5,366
259	97,899	2,10	4,680	298	99,911	0,09	5,384
260	97,967	2,03	4,698	299	99,956	0,04	5,402
261	98,034	1,97	4,716	300	100,000	0,00	5,421
262	98,101	1,90	4,734				
263	98,167	1,83	4,752				
264	98,234	1,77	4,770				
265	98,301	1,70	4,788				
266	98,367	1,63	4,806				
267	98,434	1,57	4,824				
268	98,501	1,50	4,842				
269	98,552	1,45	4,860				
270	98,603	1,40	4,879				
271	98,652	1,35	4,897				
272	98,700	1,30	4,915				
273	98,749	1,25	4,933				

5.2.2.1 MÉTODO DE WOLF-RESNICK

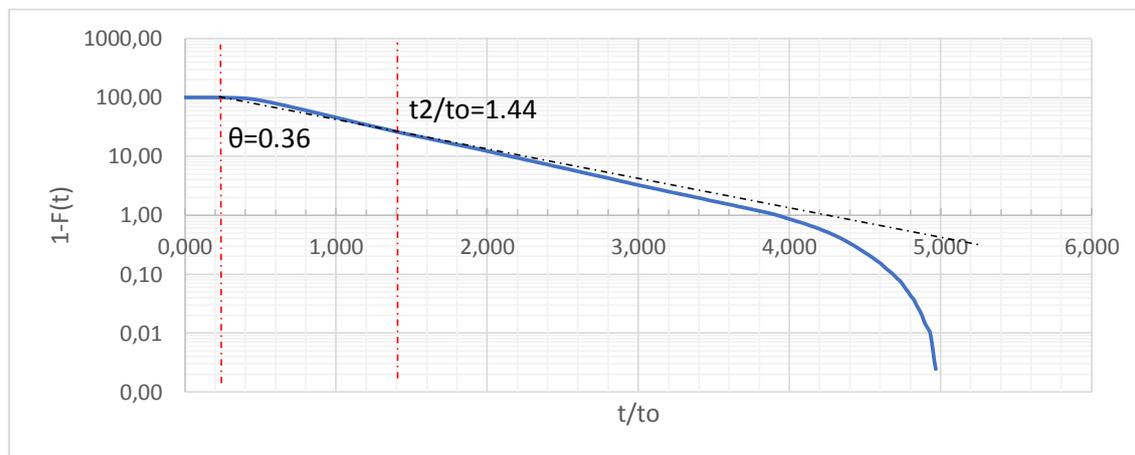
A partir de los datos presentados en las Tablas anteriores, se construyeron las Gráficas 5.38, 5.39, 5.40 y 5.41 de aplicación del método de Wolf-Resnick para cada sedimentador.

Gráfica 5.38 Método de Wolf-Resnick-Sedimentador I 2018



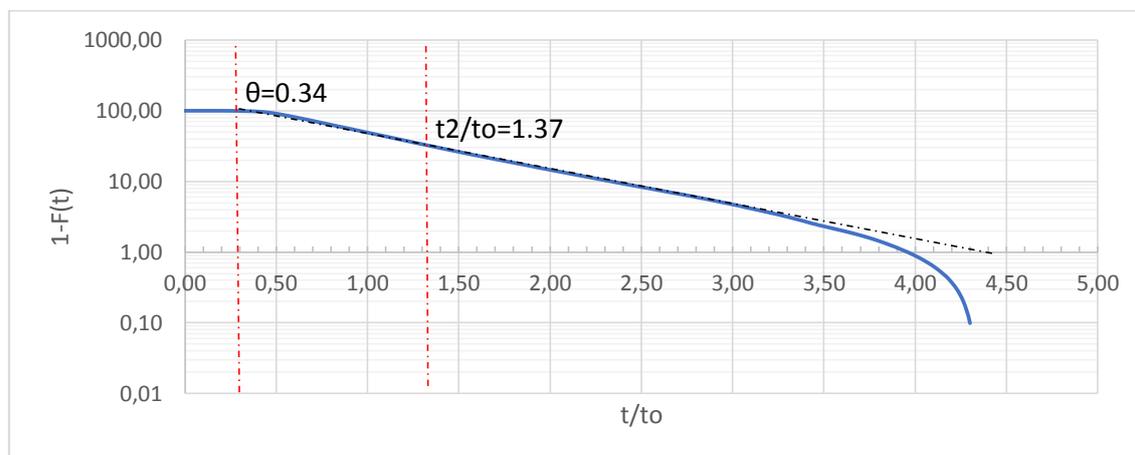
ELABORACIÓN: Toapanta & Tualombo

Gráfica 5.39 Método de Wolf-Resnick-Sedimentador II 2018



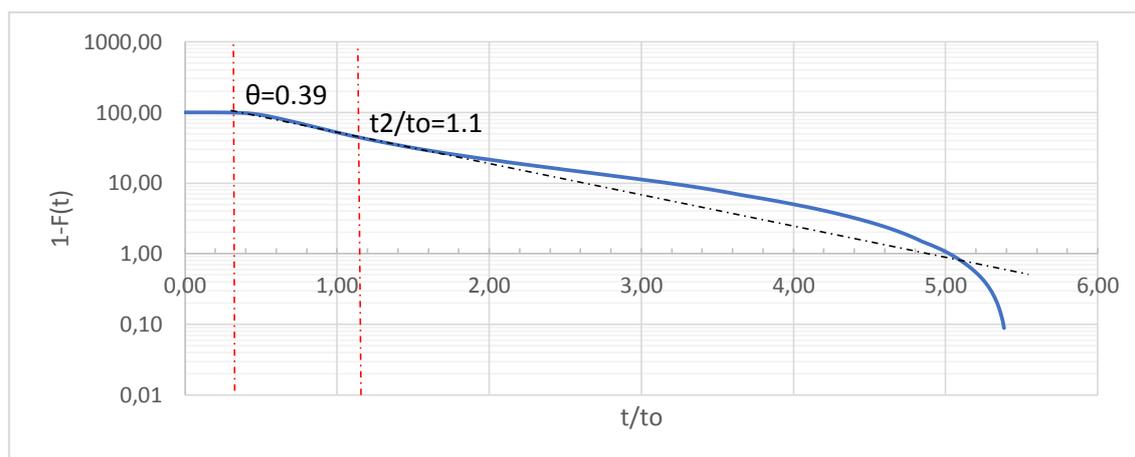
ELABORACIÓN: Toapanta & Tualombo

Gráfica 5.40 Método de Wolf-Resnick-Sedimentador III 2018



ELABORACIÓN: Toapanta & Tualombo

Gráfica 5.41 Método de Wolf-Resnick-Sedimentador VI 2018



ELABORACIÓN: Toapanta & Tualombo

A partir de los datos obtenidos y utilizando las fórmulas de aplicación del modelo de Wolf-Resnick descritas en el capítulo 2, se obtuvieron los resultados del comportamiento hidráulico del sistema de sedimentadores, mismos que se presentan en las Tablas 5.24 y 5.25.

Tabla 5.24 Resultados Método de Wolf-Resnick (Sedimentadores I y II)

Parámetro	Sedimentador 1		Sedimentador 2	
	Valor	Observaciones	Valor	Observaciones
t1	10,6		20,0	
t2	90,0		80,0	
Θ	0,192		0,361	
t2/t0	1,626		1,445	
tan α	0,697		0,922	
P	0,235	23% de flujo pistón	0,434	43% de flujo pistón
m	0,184	18% de espacios muertos	0,167	16% de espacios muertos
M	0,765	77% flujo mezclado	0,566	56% flujo mezclado

ELABORACIÓN: Toapanta & Tualombo

Tabla 5.25 Resultados Método de Wolf-Resnick (Sedimentadores III y VI)

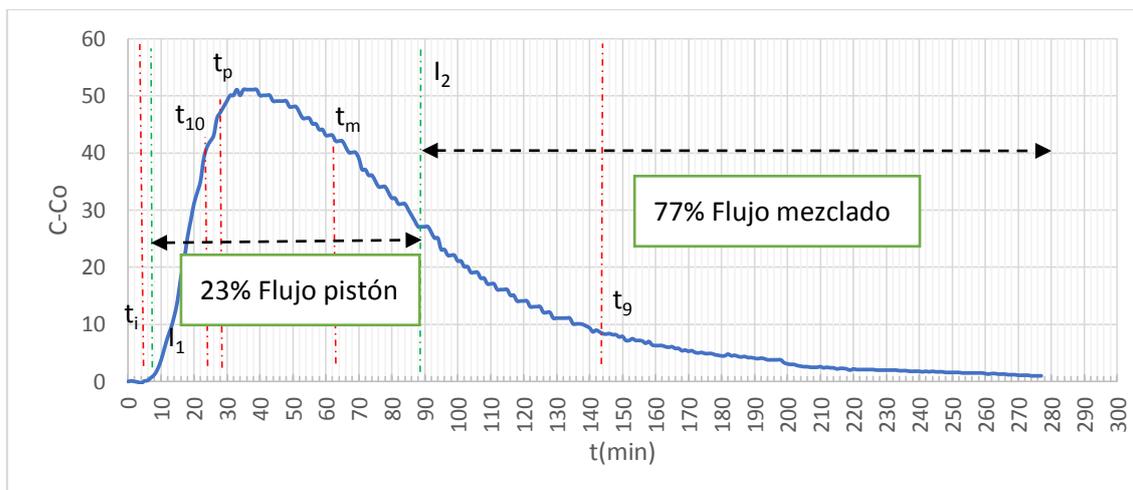
Parámetro	Sedimentador 3		Sedimentador 4	
	Valor	Observaciones	Valor	Observaciones
t1	19,0		22,0	
t2	76,0		62,0	
Θ	0,343		0,398	
t2/t0	1,373		1,120	
tan α	0,971		1,384	
P	0,434	43% de flujo pistón	0,558	56% de flujo pistón
m	0,209	20% de espacios muertos	0,288	28% de espacios muertos
M	0,566	57% flujo mezclado	0,442	44% flujo mezclado

ELABORACIÓN: Toapanta & Tualombo

5.2.2.2 ANÁLISIS DE LA CURVA DE TENDENCIA

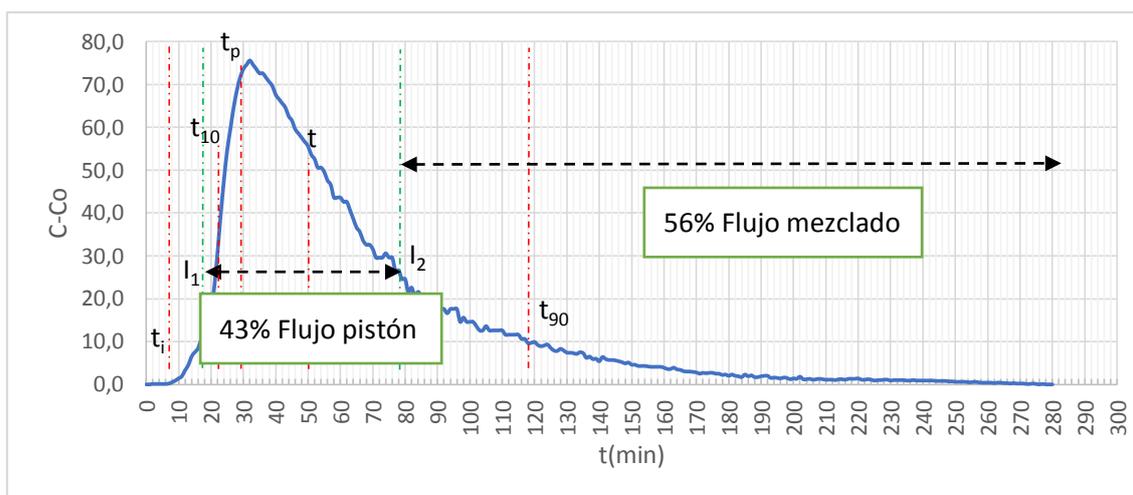
Una vez construidas las gráficas de concentración de trazador vs. Tiempo se procedió a la identificación de las condiciones de funcionamiento reales en los sedimentadores. Los resultados se muestran en las Gráficas 5.42, 5.43, 5.44 y 5.45.

Gráfica 5.42 Tiempos de retención reales-Sedimentador I 2018



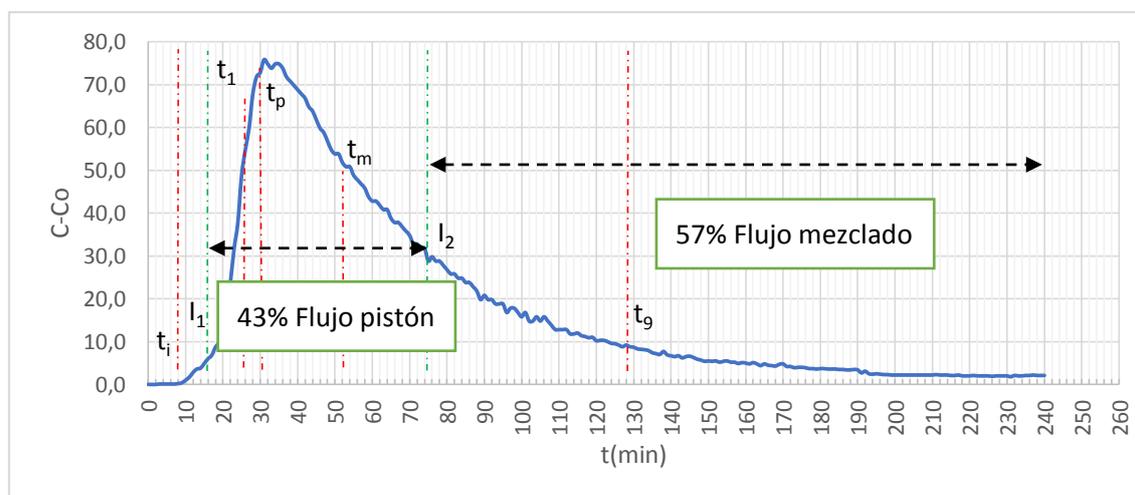
ELABORACIÓN: Toapanta & Tualombo

Gráfica 5.43 Tiempos de retención reales-Sedimentador II 2018



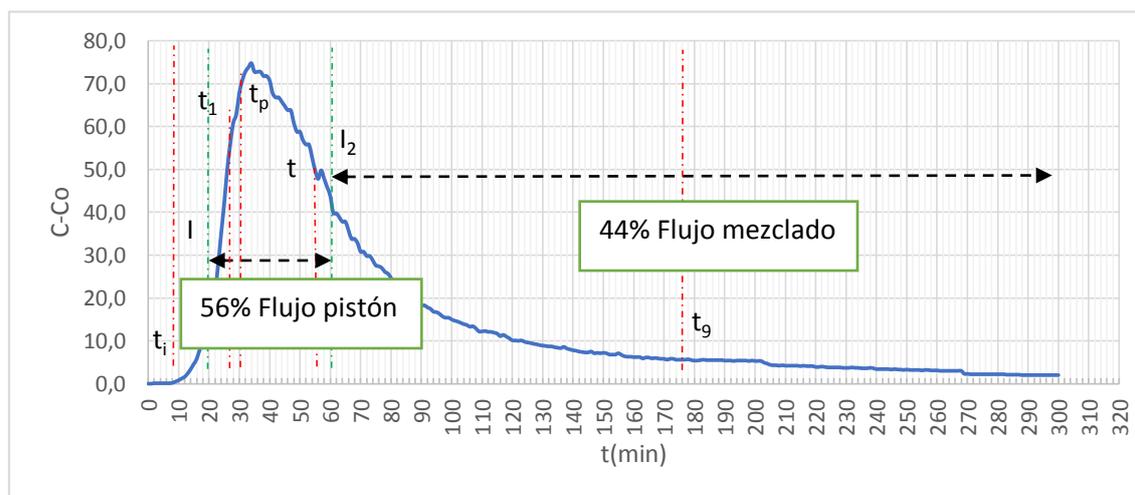
ELABORACIÓN: Toapanta & Tualombo

Gráfica 5.44 Tiempos de retención reales-Sedimentador III 2018



ELABORACIÓN: Toapanta & Tualombo

Gráfica 5.45 Tiempos de retención reales-Sedimentador VI 2018



ELABORACIÓN: Toapanta & Tualombo

Los valores numéricos de los parámetros identificados en las Gráficas anteriores se encuentran registrados en las Tablas 5.26 y 5.27.

Tabla 5.26 Parámetros reales de funcionamiento-Sedimentadores I y II

Parámetro	Sedimentador 1		Sedimentador 2	
	Valor	Observación	Valor	Observación
Ti (min)	8		10	
t10 (min)	27		27	
tp (min)	33		32	
tm (min)	64		52	
to (min)	55,345		55,345	
t90 (min)	145		120	
tf (min)	277		280	
ti/to	0,145	Existencia de cortocircuito hidráulico	0,181	Existencia de cortocircuito hidráulico
tm/to	1,156	Presencia de espacios muertos	0,940	Sin presencia de espacios muertos
tp/to	0,596	predominio de flujo mezclado	0,578	Predominio de flujo mezclado
e	3,957	predominio de flujo mezclado	4,083	Predominio de flujo mezclado

ELABORACIÓN: Toapanta & Tualombo

Tabla 5.27 Parámetros reales de funcionamiento-Sedimentadores III y IV

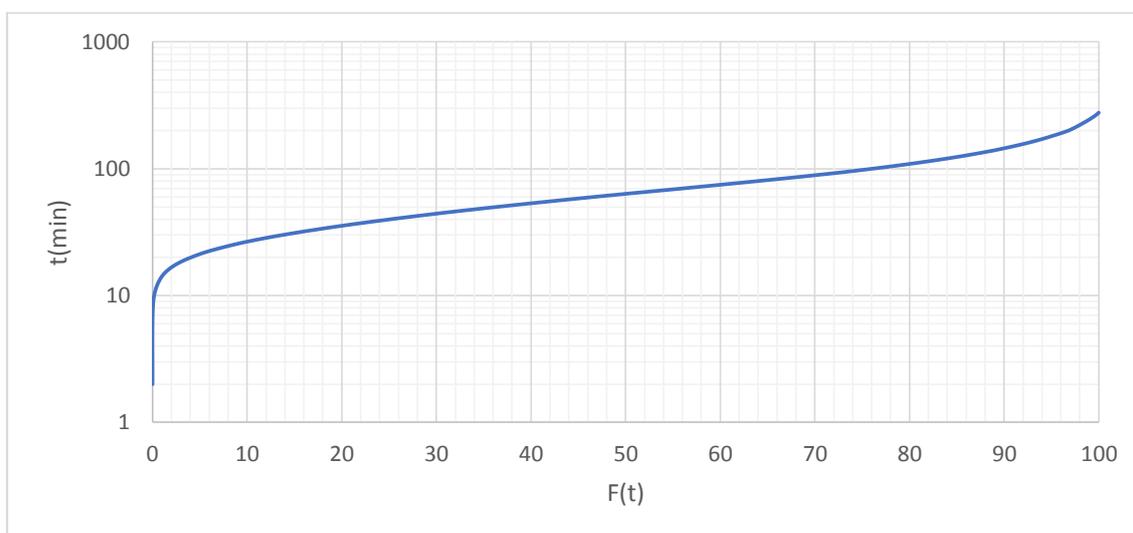
Parámetro	Sedimentador 3		Sedimentador 4	
	Valor	Observación	Valor	Observación
ti (min)	10		11	
t10 (min)	29		30	
tp (min)	31		34	
tm (min)	55		58	
to (min)	55,345		55,345	
t90 (min)	130		176	
tf (min)	240		300	
ti/to	0,181	Existencia de cortocircuito hidráulico	0,199	Existencia de cortocircuito hidráulico
tm/to	0,994	Sin presencia de espacios muertos	1,048	Presencia de espacios muertos
tp/to	0,560	Predominio de flujo mezclado	0,614	Predominio de flujo mezclado
e	3,957	predominio de flujo mezclado	4,391	Predominio de flujo mezclado

ELABORACIÓN: Toapanta & Tualombo

5.2.2.3 ÍNDICE DE MORRILL

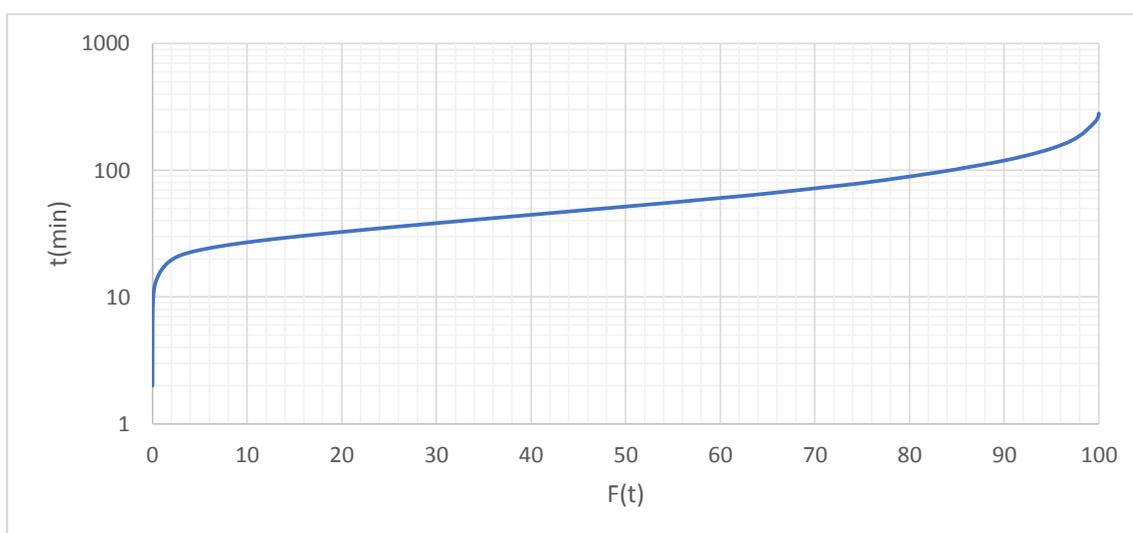
El comportamiento del flujo dentro de los sedimentadores se representa a través del cálculo del índice de Morrill, las Gráficas 5.46, 5.47, 5.48 y 5.49 presentan la relación existente entre el flujo pistón y el flujo mezclado en cada una de las unidades.

Gráfica 5.46 Índice de Morrill-Sedimentador I 2018



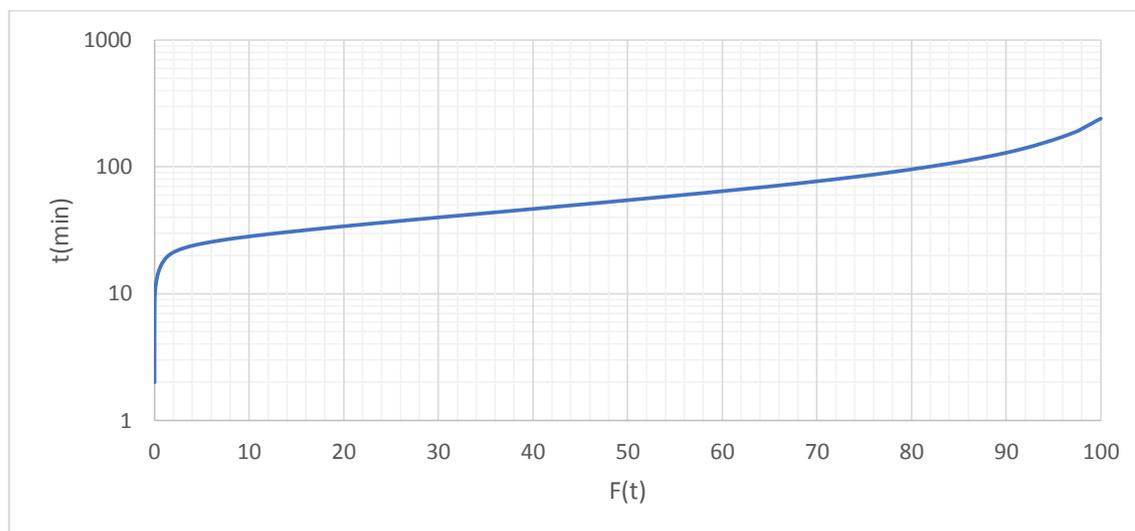
ELABORACIÓN: Toapanta & Tualombo

Gráfica 5.47 Índice de Morrill-Sedimentador II 2018



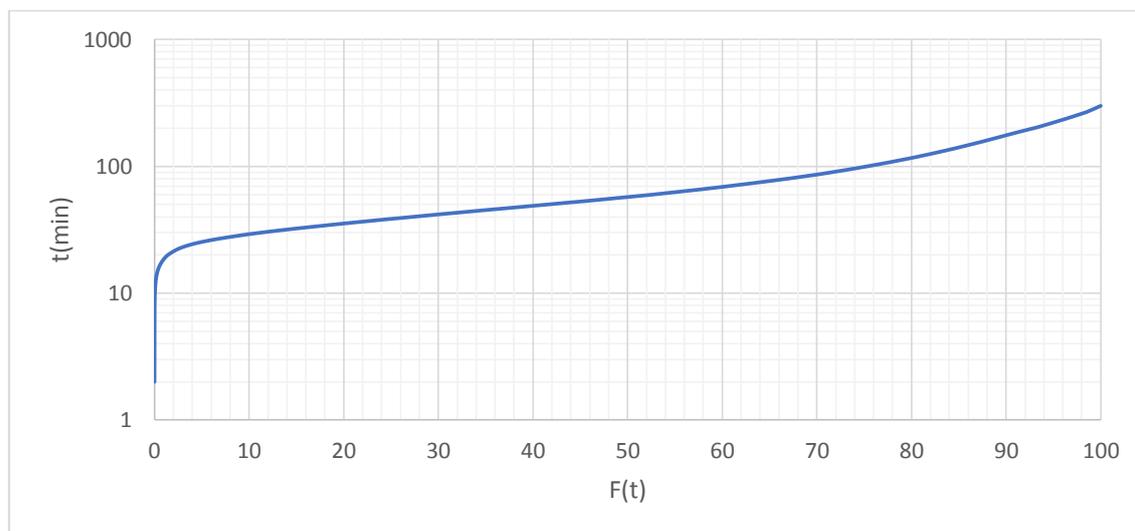
ELABORACIÓN: Toapanta & Tualombo

Gráfica 5.48 Índice de Morrill-Sedimentador III 2018



ELABORACIÓN: Toapanta & Tualombo

Gráfica 5.49 Índice de Morrill-Sedimentador IV 2018



ELABORACIÓN: Toapanta & Tualombo

La Tabla 5.28 muestra los resultados del cálculo del índice de Morrill para cada sedimentador.

Tabla 5.28 Índice de Morrill-Sedimentadores

Floculador	T ₉₀ (min)	T ₁₀ (min)	Índice de Morrill
1	145	27	5.37
2	120	27	4.44
3	130	29	4.48
4	176	30	5.86

ELABORACIÓN: Toapanta & Tualombo

5.2.3 DISTRIBUCIÓN DE CAUDALES

Se realizó la aplicación de trazador desde el canal Parshall para determinar de qué manera se reparte el caudal al ingreso de las unidades de floculación.

Las Tablas 5.29, 5.30, 5.31 y 5.32 muestran los resultados obtenidos situando las compuertas de ingreso al mismo nivel.

Tabla 5.29 Distribución de caudales- Ingreso a Floculador I

N°	t (seg)	Ingreso 1					
		C (µS/cm)	C-Co	Concentración de sal (ppm)	cantidad de sal (kg)	cantidad acumulada	%
0	0	214,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
1	10	214,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
2	20	214,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
3	30	214,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
4	40	214,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
5	50	230,0	16,0	10,2	0,0	0,0	2,1
6	60	393,0	179,0	114,6	0,2	0,2	25,2
7	70	371,0	157,0	100,5	0,2	0,4	45,5
8	80	336,0	122,0	78,1	0,1	0,5	61,3
9	90	299,0	85,0	54,4	0,1	0,6	72,3
10	100	281,0	67,0	42,9	0,1	0,7	81,0
11	110	260,0	46,0	29,4	0,1	0,8	86,9
12	120	243,0	29,0	18,6	0,0	0,8	90,7
13	130	239,0	25,0	16,0	0,0	0,8	93,9

Tabla 5.29 Distribución de caudales- Ingreso a Floculador I (Continuación)

N°	t (seg)	Ingreso 1					
		C (μS/cm)	C-Co	Concentración de sal (ppm)	cantidad de sal (kg)	cantidad acumulada	%
14	140	229,0	15,0	9,6	0,0	0,8	95,9
15	150	223,0	9,0	5,8	0,0	0,8	97,0
16	160	221,0	7,0	4,5	0,0	0,8	97,9
17	170	218,0	4,0	2,6	0,0	0,9	98,4
18	180	217,0	3,0	1,9	0,0	0,9	98,8
19	190	216,0	2,0	1,3	0,0	0,9	99,1
20	200	216,0	2,0	1,3	0,0	0,9	99,4
21	210	215,0	1,0	0,6	0,0	0,9	99,5
22	220	215,0	1,0	0,6	0,0	0,9	99,6
23	230	215,0	1,0	0,6	0,0	0,9	99,7
24	240	215,0	1,0	0,6	0,0	0,9	99,9
25	250	215,0	1,0	0,6	0,0	0,9	100,0
26	260	214,0	0,0	0,0	0,0	0,9	100,0
27	270	214,0	0,0	0,0	0,0	0,9	100,0
28	280	214,0	0,0	0,0	0,0	0,9	100,0
29	290	214,0	0,0	0,0	0,0	0,9	100,0
30	300	214,0	0,0	0,0	0,0	0,9	100,0
Cantidad de sal para toda la prueba					3 kg		
Porcentaje de sal hacia la unidad					28.86%		

ELABORACIÓN: Toapanta & Tualombo

Tabla 5.30 Distribución de caudales- Ingreso a Floculador II

N°	t (seg)	Ingreso 2					
		C (μS/cm)	C-Co	Concentración de sal (ppm)	cantidad de sal (kg)	cantidad acumulada	%
0	0	184,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
1	10	184,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
2	20	184,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
3	30	184,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
4	40	193,0	9,0	5,8	0,0	0,0	1,4
5	50	267,0	83,0	53,1	0,1	0,1	14,4

Tabla 5.30 Distribución de caudales- Ingreso a Floculador II (Continuación)

N°	t (seg)	Ingreso 2					
		C (μ S/cm)	C-Co	Concentración de sal (ppm)	cantidad de sal (kg)	cantidad acumulada	%
6	60	328,0	144,0	92,2	0,2	0,3	37,0
7	70	306,0	122,0	78,1	0,1	0,4	56,1
8	80	276,0	92,0	58,9	0,1	0,5	70,5
9	90	242,0	58,0	37,1	0,1	0,6	79,6
10	100	226,0	42,0	26,9	0,0	0,6	86,2
11	110	211,0	27,0	17,3	0,0	0,6	90,4
12	120	203,0	19,0	12,2	0,0	0,7	93,4
13	130	197,0	13,0	8,3	0,0	0,7	95,5
14	140	194,0	10,0	6,4	0,0	0,7	97,0
15	150	190,0	6,0	3,8	0,0	0,7	98,0
16	160	189,0	5,0	3,2	0,0	0,7	98,7
17	170	187,0	3,0	1,9	0,0	0,7	99,2
18	180	186,0	2,0	1,3	0,0	0,7	99,5
19	190	185,0	1,0	0,6	0,0	0,7	99,7
20	200	185,0	1,0	0,6	0,0	0,7	99,8
21	210	185,0	1,0	0,6	0,0	0,7	100,0
22	220	184,0	0,0	0,0	0,0	0,7	100,0
23	230	184,0	0,0	0,0	0,0	0,7	100,0
24	240	184,0	0,0	0,0	0,0	0,7	100,0
25	250	184,0	0,0	0,0	0,0	0,7	100,0
26	260	184,0	0,0	0,0	0,0	0,7	100,0
27	270	184,0	0,0	0,0	0,0	0,7	100,0
28	280	184,0	0,0	0,0	0,0	0,7	100,0
29	290	184,0	0,0	0,0	0,0	0,7	100,0
30	300	184,0	0,0	0,0	0,0	0,7	100,0
Cantidad de sal para toda la prueba					3 kg		
Porcentaje de sal hacia la unidad					23.82%		

ELABORACIÓN: Toapanta & Tualombo

Tabla 5.31 Distribución de caudales- Ingreso a Floculador III

N°	t (seg)	Ingreso 3					
		C ($\mu\text{S/cm}$)	C-Co	Concentración de sal (ppm)	cantidad de sal (kg)	cantidad acumulada	%
0	0	211,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
1	10	211,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
2	20	211,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
3	30	214,0	3,0	1,9	0,0	0,0	0,5
4	40	214,0	3,0	1,9	0,0	0,0	1,0
5	50	252,0	41,0	26,2	0,0	0,1	7,7
6	60	357,0	146,0	93,4	0,2	0,2	31,5
7	70	350,0	139,0	89,0	0,2	0,4	54,2
8	80	291,0	80,0	51,2	0,1	0,5	67,3
9	90	276,0	65,0	41,6	0,1	0,5	77,9
10	100	248,0	37,0	23,7	0,0	0,6	84,0
11	110	236,0	25,0	16,0	0,0	0,6	88,1
12	120	236,0	25,0	16,0	0,0	0,6	92,2
13	130	224,0	13,0	8,3	0,0	0,6	94,3
14	140	220,0	9,0	5,8	0,0	0,7	95,8
15	150	217,0	6,0	3,8	0,0	0,7	96,7
16	160	216,0	5,0	3,2	0,0	0,7	97,5
17	170	216,0	5,0	3,2	0,0	0,7	98,4
18	180	213,0	2,0	1,3	0,0	0,7	98,7
19	190	213,0	2,0	1,3	0,0	0,7	99,0
20	200	212,0	1,0	0,6	0,0	0,7	99,2
21	210	212,0	1,0	0,6	0,0	0,7	99,3
22	220	212,0	1,0	0,6	0,0	0,7	99,5
23	230	212,0	1,0	0,6	0,0	0,7	99,7
24	240	212,0	1,0	0,6	0,0	0,7	99,8
25	250	212,0	1,0	0,6	0,0	0,7	100,0
26	260	211,0	0,0	0,0	0,0	0,7	100,0
27	270	211,0	0,0	0,0	0,0	0,7	100,0
28	280	211,0	0,0	0,0	0,0	0,7	100,0
29	290	211,0	0,0	0,0	0,0	0,7	100,0
30	300	211,0	0,0	0,0	0,0	0,7	100,0
Cantidad de sal para toda la prueba					3 kg		
Porcentaje de sal hacia la unidad					22.85%		

ELABORACIÓN: Toapanta & Tualombo

Tabla 5.32 Distribución de caudales- Ingreso a Floculador IV

N°	t (seg)	Ingreso 4					
		C (μ S/cm)	C-Co	Concentración de sal (ppm)	cantidad de sal (kg)	cantidad acumulada	%
0	0	210,8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
1	10	210,8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
2	20	211,1	0,3	0,2	0,0	0,0	0,0
3	30	211,2	0,4	0,3	0,0	0,0	0,1
4	40	220,0	9,2	5,9	0,0	0,0	1,1
5	50	333,0	122,2	78,2	0,1	0,1	14,5
6	60	417,0	206,2	132,0	0,2	0,4	37,2
7	70	372,0	161,2	103,2	0,2	0,6	54,9
8	80	329,0	118,2	75,6	0,1	0,7	67,9
9	90	288,0	77,2	49,4	0,1	0,8	76,4
10	100	264,0	53,2	34,0	0,1	0,8	82,3
11	110	252,0	41,2	26,4	0,0	0,9	86,8
12	120	242,0	31,2	20,0	0,0	0,9	90,2
13	130	231,0	20,2	12,9	0,0	0,9	92,5
14	140	226,0	15,2	9,7	0,0	1,0	94,1
15	150	221,0	10,2	6,5	0,0	1,0	95,2
16	160	218,0	7,2	4,6	0,0	1,0	96,0
17	170	217,0	6,2	4,0	0,0	1,0	96,7
18	180	215,0	4,2	2,7	0,0	1,0	97,2
19	190	214,1	3,3	2,1	0,0	1,0	97,5
20	200	213,2	2,4	1,5	0,0	1,0	97,8
21	210	213,0	2,2	1,4	0,0	1,0	98,1
22	220	212,9	2,1	1,3	0,0	1,0	98,3
23	230	212,9	2,1	1,3	0,0	1,0	98,5
24	240	212,9	2,1	1,3	0,0	1,0	98,7
25	250	212,9	2,1	1,3	0,0	1,0	99,0
26	260	212,9	2,1	1,3	0,0	1,0	99,2
27	270	212,9	2,1	1,3	0,0	1,0	99,4
28	280	212,9	2,1	1,3	0,0	1,0	99,7
29	290	212,9	2,1	1,3	0,0	1,0	99,9
30	300	211,7	0,9	0,6	0,0	1,0	100,0
Cantidad de sal para toda la prueba					3 kg		
Porcentaje de sal hacia la unidad					33.95%		

ELABORACIÓN: Toapanta & Tualombo

5.3 PRUEBAS DE TRATABILIDAD

5.3.1 DETERMINACIÓN DE PARÁMETROS DE MEZCLA REALES

La determinación de los gradientes de mezcla reales se realizó a través de la medición directa de velocidades en las unidades utilizando para ello un micromolinete. La Tabla 5.33 presenta los resultados obtenidos para las piscinas de floculación. Los valores de velocidad registrados y los cálculos realizados se presentan en el Anexo 3.

Tabla 5.33 Parámetros de mezcla reales- Unidades de floculación

Piscinas	tr (min)	tr (seg)	Velocidad (m/s)	hv (m ³)	Gradiente (s ⁻¹)	RPM (vasos cuadrados)	RPM (vasos redondos)
1	1,75	105	1,684	0,144	105,16	92	155
2	8	480	0,759	0,029	22,17	31	43
3	16,25	975	0,842	0,0361	17,25	27	36

ELABORACIÓN: Toapanta & Tualombo

5.3.2 DETERMINACIÓN DE DOSIS ÓPTIMA DE COAGULANTE

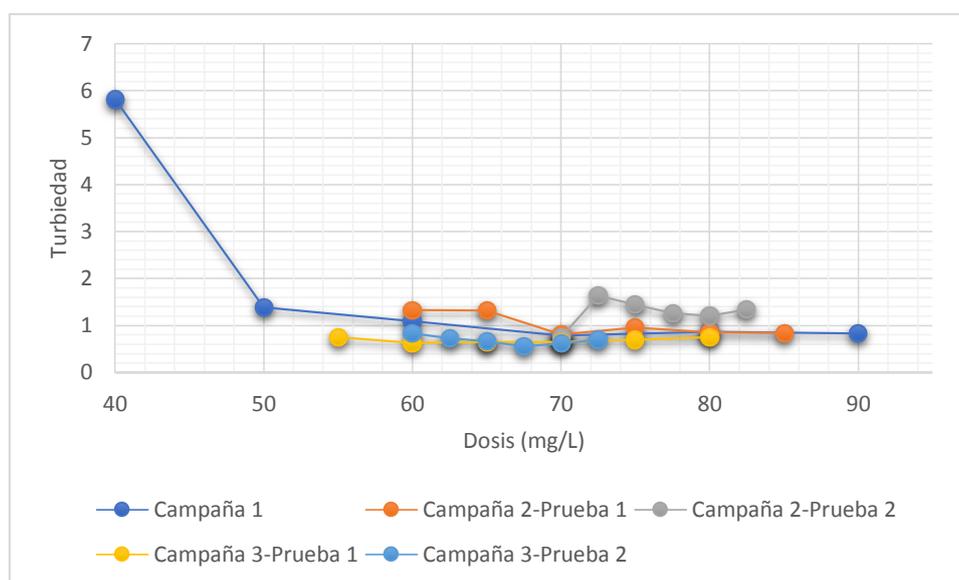
La Tabla 5.34 muestra el grado de remoción de turbiedad y color obtenido con cada dosis óptima para las campañas realizadas.

Tabla 5.34 Dosis óptima de coagulante-Remoción de turbiedad y color

Campaña	N° Prueba	Dosis óptima (mg/L)	% Remoción turbiedad	% Remoción color	índice de Willcomb
1	1	70,00	85,77	83,33	6,00
2	1	70,00	85,22	83,33	6,00
	2	70,00	86,31	83,33	6,00
3	1	60,00	88,50	75,00	4,00
	2	67,50	89,78	75,00	4,00

ELABORACIÓN: Toapanta & Tualombo

La Gráfica 5.50 muestra que la dosis óptima de Al₂(SO₄)₃ oscila entre 65 y 70 mg/L para distintos valores de turbiedad.

Gráfica 5.50 Determinación de la dosis óptima de coagulante

ELABORACIÓN: Toapanta & Tualombo

5.3.3 DETERMINACIÓN DE CONCENTRACIÓN ÓPTIMA DE COAGULANTE

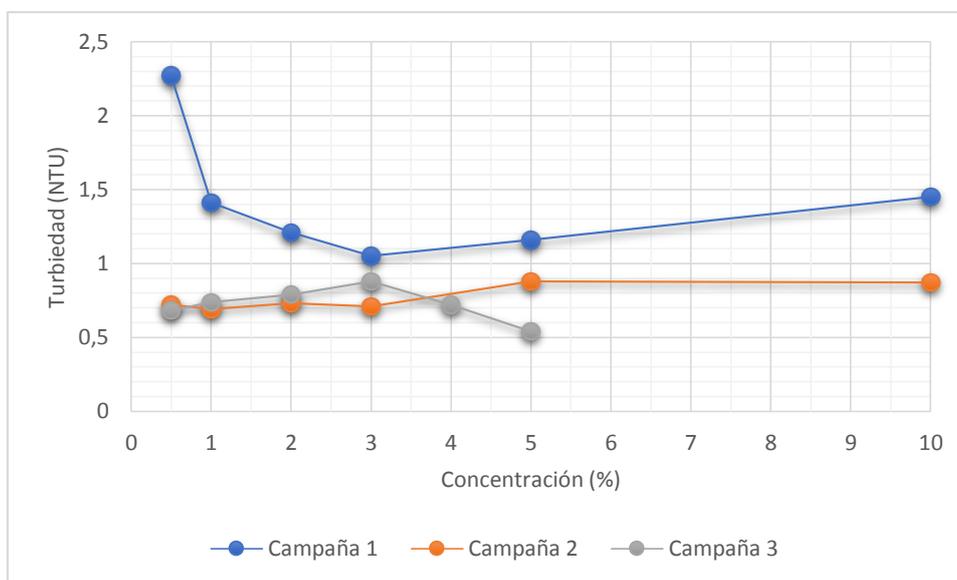
La Tabla 5.35 muestra el grado de remoción de turbiedad y color obtenido con cada dosis y concentración óptimas para las campañas realizadas.

Tabla 5.35 Concentración óptima de coagulante-Remoción de turbiedad y color

Campaña	Dosis óptima (mg/L)	Concentración óptima (%)	% Remoción turbiedad	% Remoción color	índice de Willcomb
1	70	3	80,87	75	6
2	67,5	1	80,88	75	6
3	65	5	85,04	75	4

ELABORACIÓN: Toapanta & Tualombo

La Gráfica 5.51 muestra que los resultados obtenidos en las 3 campañas de pruebas realizadas para la obtención de la concentración óptima de $Al_2(SO_4)_3$. Los valores de concentración aumentan o disminuyen en función de la calidad del agua cruda al momento de la prueba.

Gráfica 5.51 Determinación de la concentración óptima de coagulante

ELABORACIÓN: Toapanta & Tualombo

5.3.4 DETERMINACIÓN DE DOSIS ÓPTIMA DE POLÍMERO

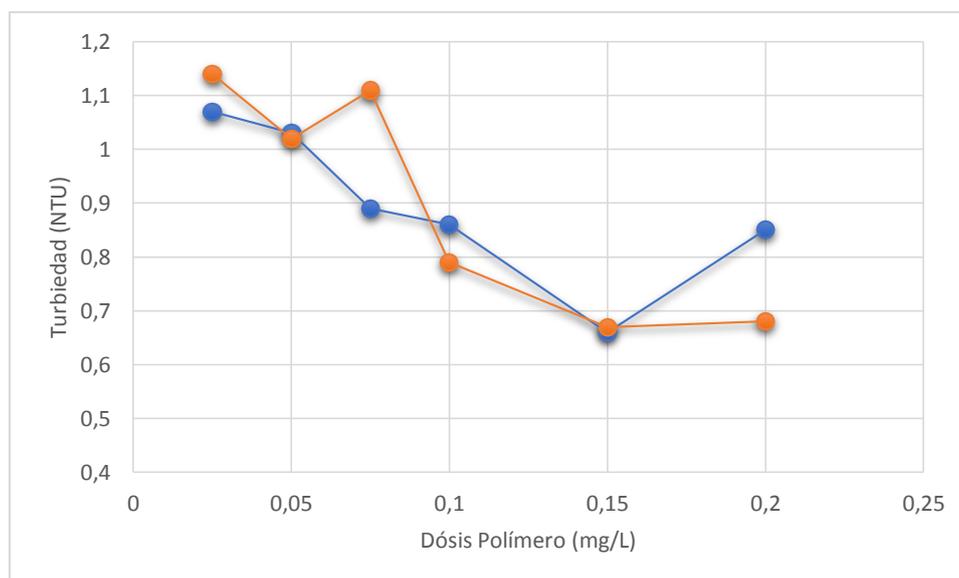
En la Tabla 5.36 se muestran los porcentajes de remoción de turbiedad y color obtenido con cada dosis óptima determinada para cada ensayo. El número de campañas realizadas fue reducido a dos debido a que se obtuvieron resultados similares en ambas.

Tabla 5.36 Dosis óptima de Polímero-Remoción de turbiedad y color

Campaña	D. óptima coagulante (mg/L)	C. óptima Coagulante (%)	D. óptima polímero (mg/L)	C. polímero (%)	% Rem. Turbiedad	% Rem. color	I.W.
1	70	3	0,15	1	88,42	75	6
2	67,5	1	0,15	1	81,44	83,3	6

ELABORACIÓN: Toapanta & Tualombo

Se presentan en la Gráfica 5.52 los resultados obtenidos en las campañas de pruebas realizadas para la obtención de la dosis óptima de ayudante de coagulación.

Gráfica 5.52 Determinación de la dosis óptima de ayudante de coagulación

ELABORACIÓN: Toapanta & Tualombo

5.3.5 DETERMINACIÓN DE pH ÓTIMO DE COAGULACIÓN

En la Tabla 5.37 se muestran los porcentajes de remoción de turbiedad y color obtenidos para cada valor de pH óptimo.

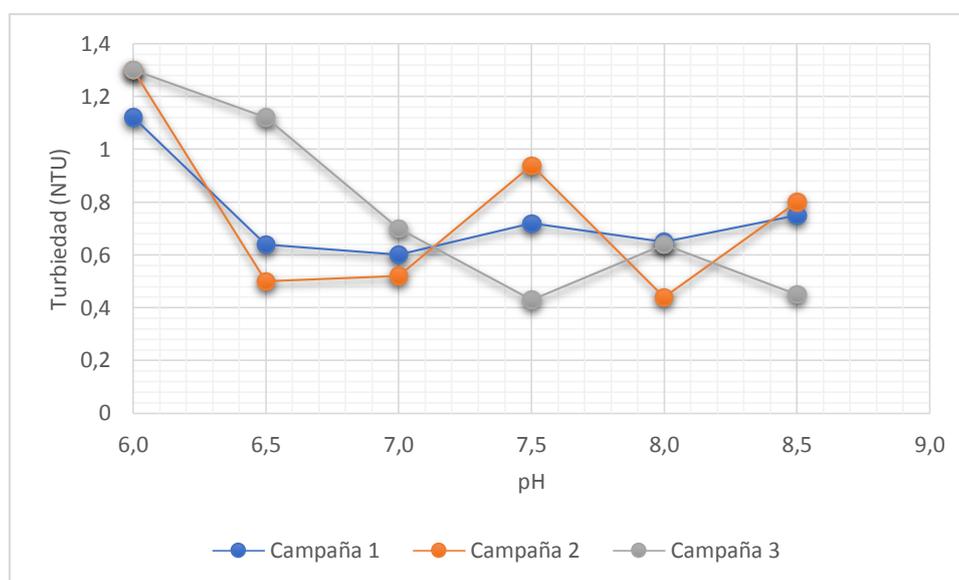
Es importante en este punto mencionar que a valores de pH diferentes al óptimo se obtuvieron flóculos de mayor tamaño, pero con una notable deficiencia al momento de sedimentar, formando pequeñas natas en la superficie del agua.

Tabla 5.37 pH óptimo-Remoción de turbiedad y color

Campaña	D. óptima coagulante (mg/L)	C. óptima coagulante (%)	D. óptima polímero (mg/L)	pH óptimo	% Rem. turbiedad	% Rem. color	I. W.
1	70	3	0,15	7,0	89,47	75	8
2	67,5	1	0,15	8,0	87,81	75	4
3	65	5	0,15	7,5	85,71	75	6

ELABORACIÓN: Toapanta & Tualombo

La Gráfica 5.53 muestra los resultados obtenidos en las distintas campañas tras someter a las muestras que contenían las dosis óptimas de coagulante y polímero a una alteración en el valor del pH.

Gráfica 5.53 Determinación del pH óptimo de coagulación

ELABORACIÓN: Toapanta & Tualombo

5.3.6 DETERMINACIÓN DE GRADIENTE ÓPTIMO DE FLOCULACIÓN

Se puede observar que para velocidades de agitación bajas se obtiene una mayor disminución de la turbiedad incrementando el tiempo de agitación, dado que se favorece a la aglomeración de las partículas presentes en el agua. Por otra parte, al trabajar con velocidades altas se presenta un punto de quiebre en la curva del tiempo de mezcla, esto indica que al exceder este tiempo el flóculo formado empezará a romperse por efecto de la turbulencia del agua.

En la Tabla 5.38 se recopilan los resultados de eficiencia remocional de turbiedad y color para cada tiempo óptimo de agitación.

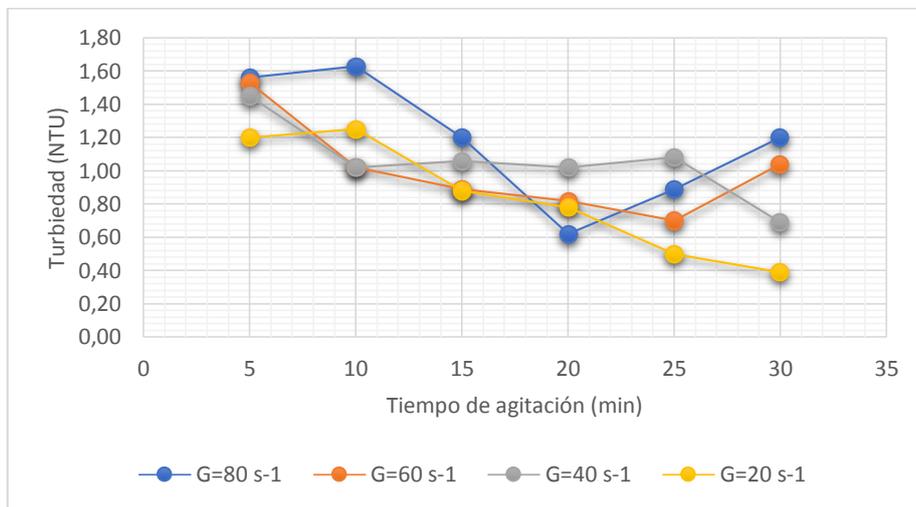
Tabla 5.38 Gradiente y tiempo óptimos-Remoción de turbiedad y color

Gradiente (s^{-1})	T. óptimo de agitación (min)	% Remoción turbiedad	% Remoción color
80	20	79,40	66,66
60	25	76,74	75
40	30	77,07	75
20	30	87,04	75

ELABORACIÓN: Toapanta & Tualombo

La Gráfica 5.54 ilustra los resultados obtenidos al aplicar diferentes valores de gradiente de velocidad y distintos tiempos de agitación simultáneamente.

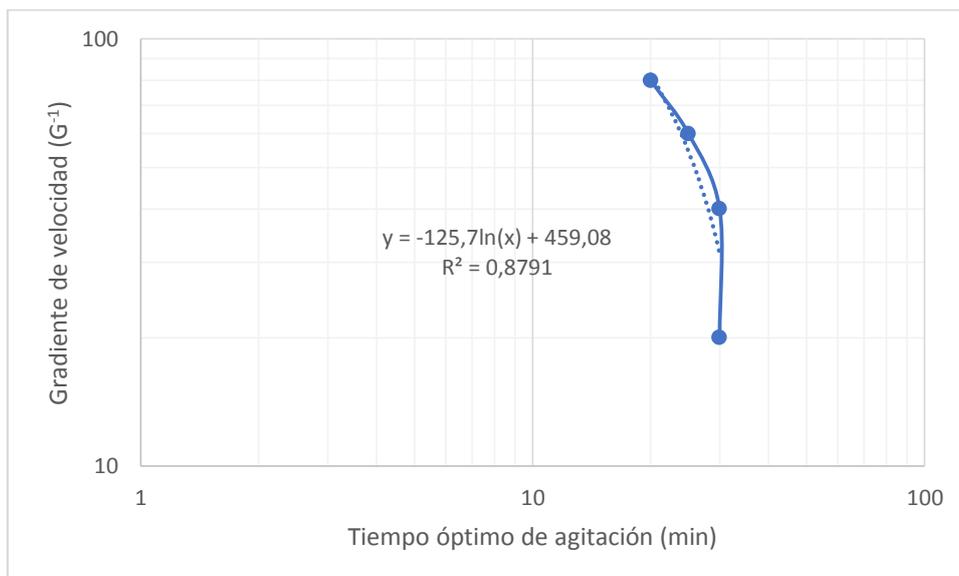
Gráfica 5.54 Determinación del Gradiente y tiempo óptimos de floculación



ELABORACIÓN: Toapanta & Tualombo

A través de los resultados obtenidos se construyó la Gráfica 5.55, en la que se indica la correlación entre gradiente y tiempo de floculación, en forma adicional se presenta la ecuación cuya aplicación permite determinar el tiempo óptimo de floculación para cualquier valor de gradiente aplicado.

Gráfica 5.55 Correlación entre Gradiente de velocidad y tiempo de floculación



ELABORACIÓN: Toapanta & Tualombo

5.3.7 DETERMINACIÓN DE VELOCIDAD ÓPTIMA DE SEDIMENTACIÓN

La determinación de la velocidad óptima de sedimentación arrojó los resultados presentados en la Tabla 5.39. Todas las muestras se tomaron a una profundidad de 6 centímetros acorde a lo descrito en el capítulo 3.

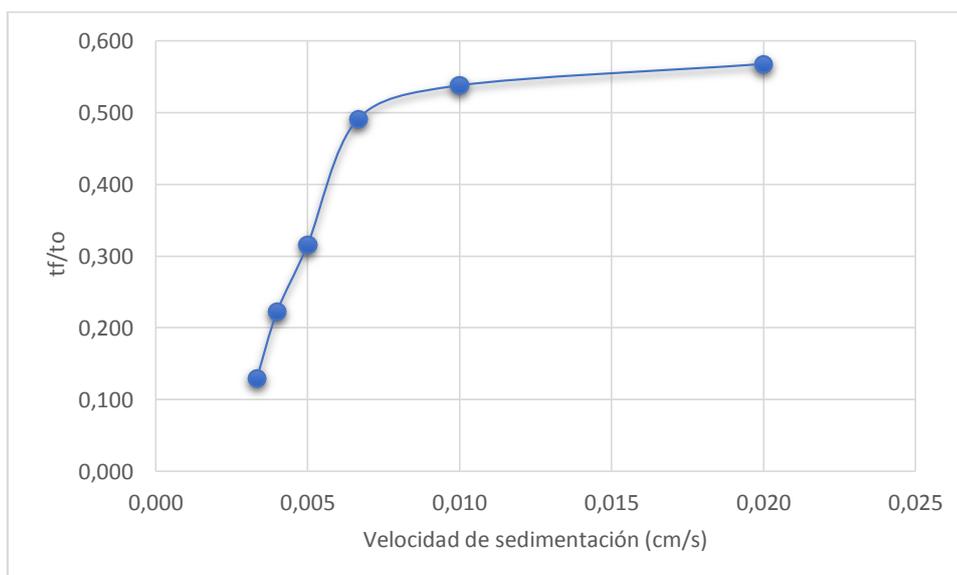
Tabla 5.39 Determinación de velocidad óptima de sedimentación

Tiempo de sedimentación (seg.)	Velocidad de sedimentación (cm/s)	Turbiedad (NTU)	Tf/to
300	0,020	1,710	0,568
600	0,010	1,620	0,538
900	0,007	1,480	0,492
1200	0,005	0,950	0,316
1500	0,004	0,670	0,223
1800	0,003	0,390	0,130

ELABORACIÓN: Toapanta & Tualombo

Como puede apreciarse en la Gráfica 5.56, la máxima eficiencia remocional se consigue a partir de los 30 minutos de sedimentación, correspondiente a un valor de $t_f/t_o=0.130$.

Gráfica 5.56 Curva de sedimentación



ELABORACIÓN: Toapanta & Tualombo

5.4 ANÁLISIS DEL SISTEMA DE FILTRACIÓN

5.4.1 CALIDAD DEL FILTRADO INICIAL

La Tabla 5.40 presenta los resultados de esta prueba, en general todos los filtros presentan una tendencia similar. Los valores de turbiedad alcanzados son aceptables luego de transcurrir 15 minutos a partir de la finalización del proceso de lavado, el filtro 2 presenta el valor más alto de turbiedad, pero no difiere en gran medida respecto al resto de unidades.

Los filtros 3, 4 y 5 presentan valores de turbiedad elevados al inicio de la prueba, esto puede significar deficiencias en el proceso de lavado o un excesivo contenido de lodo retenido en el lecho.

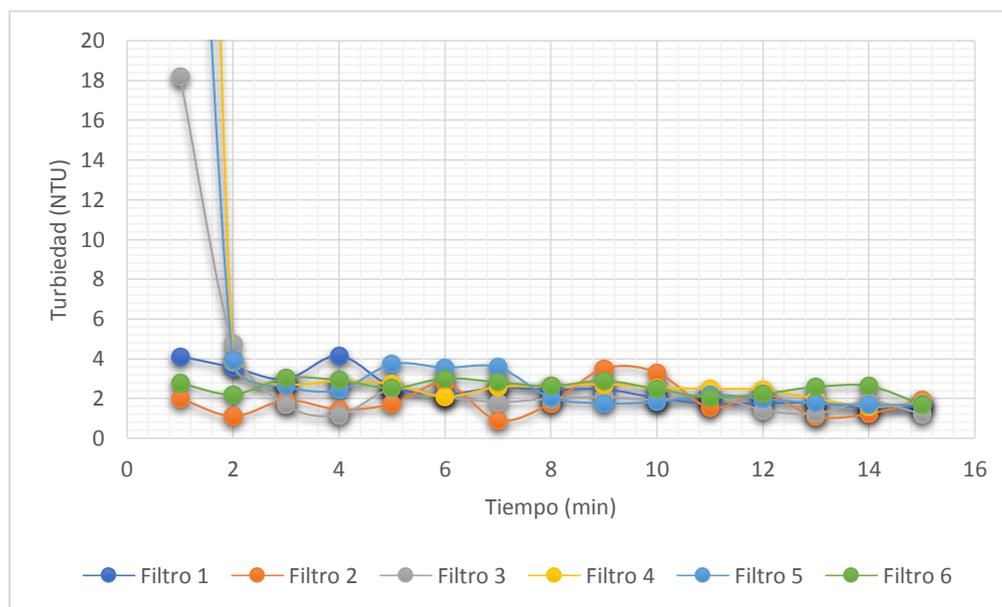
Tabla 5.40 Calidad de filtrado inicial

Filtro	1	2	3	4	5	6
Día de lavado	06/06/2018	15/05/2018	17/05/2018	23/05/2018	14/05/2018	21/05/2018
Hora del lavado	8:00	11:30	14:30	11:30	12:30	15:00
Muestra	Turbiedad (NTU)					
1	4,12	2,01	18,2	100	51,9	2,78
2	3,56	1,12	4,72	3,88	3,92	2,21
3	2,97	1,92	1,67	2,75	2,63	3,04
4	4,15	1,45	1,16	2,89	2,44	2,93
5	2,57	1,73	2,48	2,74	3,74	2,53
6	2,22	2,77	2,08	2,1	3,56	3,02
7	2,53	0,91	1,82	2,59	3,58	2,83
8	2,43	1,77	1,98	2,63	2,06	2,63
9	2,46	3,51	2,07	2,73	1,77	2,9
10	2,02	3,31	1,93	2,57	1,84	2,48
11	1,72	1,54	2,15	2,49	2,2	2,05
12	1,75	2,26	1,41	2,45	1,99	2,24
13	1,77	1,09	1,24	1,99	1,78	2,59
14	1,51	1,24	1,85	1,61	1,67	2,63
15	1,58	1,92	1,21	1,78	1,72	1,7

ELABORACIÓN: Toapanta & Tualombo

La Gráfica 5.57 muestra la recopilación del comportamiento de los filtros luego del proceso de lavado.

Gráfica 5.57 Calidad de filtrado inicial



ELABORACIÓN: Toapanta & Tualombo

5.4.2 DURACIÓN DE LA CARRERA DE FILTRACIÓN

La Tabla 5.41 indica los resultados obtenidos al evaluarse la carrera de filtración durante 48 horas seguidas. Los puntos marcados de colores indican que el filtro fue lavado en ese momento.

Al encontrarnos en la etapa de verano, la carrera de filtración disminuyó respecto a la del resto del año debido a que en estos meses la demanda de agua por parte de la población aumenta considerablemente. Se puede apreciar que en todos los filtros existe una tendencia general de disminución en el valor de la turbiedad a partir del momento de lavado, misma que se mantiene durante aproximadamente 12 horas, a partir de este punto la calidad del agua filtrada va decayendo hasta alcanzar el siguiente lavado.

Tabla 5.41 Evaluación de la carrera de filtración

Duración (h)	Día	Hora	Filtros					
			1	2	3	4	5	6
0	20-jun	12:00	1,06	0,75	6,99	33,90	23,80	1,53
2	20-jun	14:00	0,97	0,64	0,94	21,90	14,70	1,82
4	20-jun	16:00	1,27	0,33	1,10	11,99	3,16	1,84
6	20-jun	18:00	1,27	0,47	1,33	12,90	1,30	1,10
8	20-jun	20:00	0,81	0,25	0,82	10,20	1,22	0,63
10	20-jun	22:00	0,93	0,31	0,84	7,93	1,17	0,72
12	21-jun	0:00	1,32	0,24	0,97	4,80	1,42	0,59
14	21-jun	2:00	0,46	0,33	0,93	2,86	1,36	0,54
16	21-jun	4:00	0,60	0,22	0,62	4,08	0,72	0,95
18	21-jun	6:00	1,45	0,30	0,65	3,11	1,83	1,27
20	21-jun	8:00	1,39	0,49	1,19	3,65	1,09	3,81
22	21-jun	10:00	1,35	0,75	1,54	3,41	4,35	2,70
24	21-jun	12:00	1,93	0,85	1,19	2,56	1,80	1,97
26	21-jun	14:00	1,10	0,73	1,75	4,48	4,22	2,33
28	21-jun	16:00	1,50	0,71	1,02	4,63	1,98	1,42
30	21-jun	18:00	2,42	1,18	1,58	6,29	2,63	2,46
32	21-jun	20:00	1,81	0,84	1,34	4,42	2,89	2,02
34	21-jun	22:00	2,36	0,92	1,45	4,33	2,69	2,04
36	22-jun	0:00	3,82	1,57	2,20	3,78	3,68	2,69
38	22-jun	2:00	3,00	1,41	3,11	6,18	3,82	3,29
40	22-jun	4:00	2,04	1,25	2,87	5,32	2,97	2,56
42	22-jun	6:00	1,87	0,93	1,71	4,75	2,85	1,33
44	22-jun	8:00	2,10	0,86	1,88	4,54	2,28	1,61
46	22-jun	10:00	2,79	1,83	1,64	4,86	1,68	2,31
48	22-jun	12:00	3,40	1,94	2,99	5,56	4,14	2,56

ELABORACIÓN: Toapanta & Tualombo

La Tabla 5.42 muestra el resultado de la carrera de filtración individual durante los días evaluados y el promedio mensual obtenido durante el primer semestre del año 2018.

Tabla 5.42 Carrera de filtración individual, mensual y semestral

Filtro	Carrera filtración (20, 21 y 22 de junio)	Promedio mensual (junio 2018)	Promedio semestral (enero-junio 2018)
1	39,5	41,58	45,88
2	40,5	41,85	45,92

Tabla 5.42 Carrera de filtración individual, mensual y semestral (Continuación)

Filtro	Carrera filtración (20, 21 y 22 de junio)	Promedio mensual (junio 2018)	Promedio semestral (enero-junio 2018)
3	36,5	41,38	46,39
4	34,5	41,82	46,43
5	35,5	41,58	46,12
6	42	41,44	46,07

ELABORACIÓN: Toapanta & Tualombo

5.4.3 DETERMINACIÓN DE LA EFICIENCIA DEL PROCESO DE FILTRACIÓN

Utilizando los promedios diarios de turbiedad de agua sedimentada y filtrada del año 2017 se construyeron las Tablas de 5.43 y 5.44, en las que se pudo analizar la eficiencia de remoción de partículas del sistema.

Tabla 5.43 Frecuencia acumulada-Agua sedimentada (2017)

Límite inferior	Límite superior	Marca de clase	fi	Fi	Hi	f%
0,52	1,00	0,760	31	31	0,09	8,52
1,01	1,49	1,249	88	119	0,33	32,69
1,50	1,98	1,738	75	194	0,53	53,30
1,99	2,47	2,227	86	280	0,77	76,92
2,48	2,96	2,717	62	342	0,94	93,96
2,97	3,45	3,206	14	356	0,98	97,80
3,46	3,93	3,695	4	360	0,99	98,90
3,94	4,42	4,184	3	363	1,00	99,73
4,43	4,91	4,674	1	364	1	100

ELABORACIÓN: Toapanta & Tualombo

Se puede apreciar, que el sistema de sedimentación es capaz de producir agua con una turbiedad menor a 2 NTU el 53% del tiempo, haciendo que el sistema de filtración trabaje en exceso.

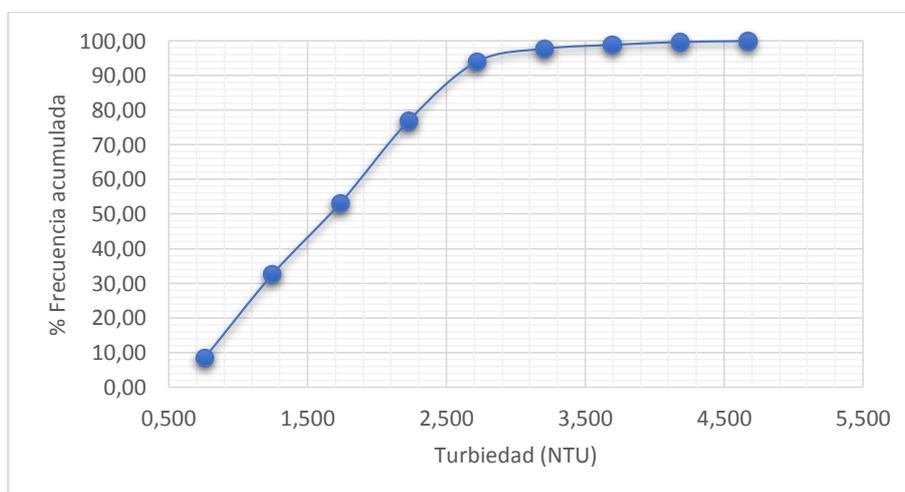
Tabla 5.44 Frecuencia acumulada-Agua filtrada (2017)

Límite inferior	Límite superior	Marca de clase	fi	Fi	Hi	f%
0,52	0,73	0,626	61	61	0,17	16,71
0,74	0,96	0,849	57	118	0,32	32,33
0,97	1,18	1,072	102	220	0,60	60,27
1,19	1,40	1,294	82	302	0,83	82,74
1,41	1,62	1,517	43	345	0,95	94,52
1,63	1,85	1,740	13	358	0,98	98,08
1,86	2,07	1,962	4	362	0,99	99,18
2,08	2,29	2,185	2	364	1,00	99,73
2,30	2,51	2,408	1	365	1	100

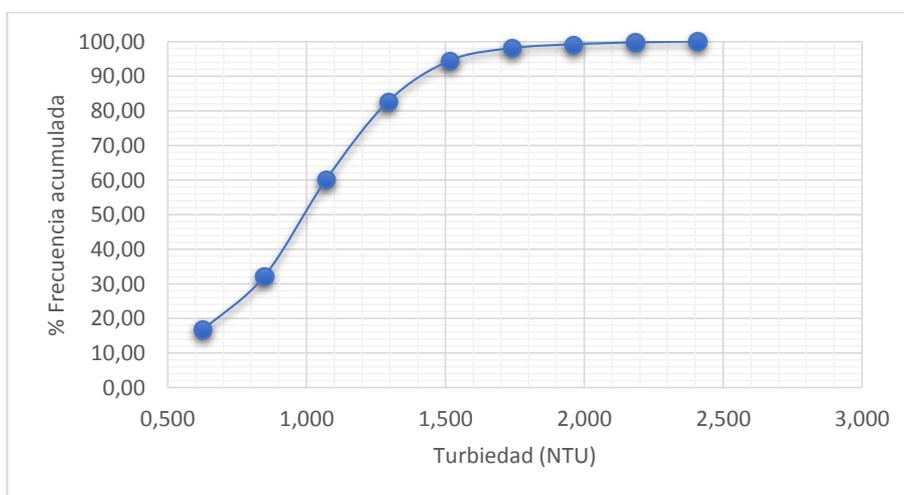
ELABORACIÓN: Toapanta & Tualombo

A pesar de recibir agua con turbiedades altas, el sistema de filtración es capaz de producir una turbiedad residual menor a 1 el 60% del tiempo, garantizando que el proceso de desinfección sea óptimo.

Las Gráficas 5.58 y 5.59 ilustran los resultados del cálculo de frecuencia.

Gráfica 5.58 Frecuencia acumulada-Turbiedad Agua sedimentada 2017

ELABORACIÓN: Toapanta & Tualombo

Gráfica 5.59 Frecuencia acumulada-Turbiedad Agua Filtrada 2017

ELABORACIÓN: Toapanta & Tualombo

5.4.4 GRANULOMETRÍA DEL LECHO FILTRANTE

La Tabla 5.45 muestra los resultados obtenidos tras la realización de la granulometría del lecho filtrante, tanto para las muestras de arena como para antracita de cada uno de los filtros.

Tabla 5.45 Granulometría-Resultados obtenidos

Filtro	Tamaño efectivo (mm)		Coef. uniformidad		Grado de intermezcla
	Arena	Antracita	Arena	Antracita	
1	0,87	0,86	1,28	1,70	1,96
2	0,62	0,61	1,66	2,20	2,76
3	0,66	0,43	1,46	2,76	2,58
4	0,76	0,82	1,37	1,66	2,25
5	0,86	0,86	1,31	1,66	1,98
6	0,82	0,83	1,34	1,63	2,07

ELABORACIÓN: Toapanta & Tualombo

La Tabla 5.46 presenta los parámetros de diseño del lecho filtrante, necesarios para poder establecer una comparación entre los valores actuales.

Tabla 5.46 Granulometría-Parámetros de diseño

Tamaño efectivo		Coef. uniformidad	
Arena	Antracita	Arena	Antracita
0,65	0,72	1,43	2,14

Fuente: Torres (2005)

Los datos utilizados para la obtención del tamaño efectivo y el coeficiente de uniformidad de cada filtro se encuentran en el Anexo 3.

5.4.5 ESTADO DEL MEDIO FILTRANTE (CONTENIDO DE BOLAS DE LODO)

La Tabla 5.47 presenta los resultados obtenidos tras la determinación del contenido de bolas de barro en las muestras obtenidas de cada filtro.

Tabla 5.47 Porcentaje de bolas de lodo

Filtro	Volumen de agua usado (cm ³)	Volumen total (cm ³)	Volumen bolas de lodo (cm ³)	% Bolas de lodo
1	650	819,5	169,5	0,86
2	100	133	33	0,14
3	200	249	49	0,24
4	150	170	20	0,09
5	700	906	206	0,65
6	300	425	125	0,38

ELABORACIÓN: Toapanta & Tualombo

5.4.6 ESPESOR DEL MEDIO FILTRANTE

La Tabla 5.48 muestra los resultados obtenidos en la determinación del espesor del lecho filtrante de cada uno de los filtros.

Tabla 5.48 Espesor del medio filtrante-Resultados

Altura del lecho (m)	Filtro 1	Filtro 2	Filtro 3	Filtro 4	Filtro 5	Filtro 6
Antracita-arena (norte)	1,06	0,91	0,85	1,01	1,00	1,08
Antracita-arena (sur)	0,75	0,99	0,91	1,01	0,94	1,06

ELABORACIÓN: Toapanta & Tualombo

5.4.7 EXPANSIÓN DEL LECHO FILTRANTE

La Tabla 5.49 presenta los resultados de la evaluación de la expansión en ambos lados del lecho filtrante durante las operaciones de lavado de filtros.

Tabla 5.49 Expansión del lecho filtrante-Resultados

Parámetro	Filtro 1	Filtro 2	Filtro 3	Filtro 4	Filtro 5	Filtro 6
Altura antracita-arena (norte) (m)	1,06	0,91	0,85	1,01	1,00	1,08
Altura antracita-arena (sur) (m)	0,75	0,99	0,91	1,01	0,94	1,06
Altura capa de grava (m)	0,45	0,45	0,45	0,45	0,45	0,45
Altura del lecho en lavado (norte) (m)	0,17	0,35	0,40	0,33	0,30	0,26
Altura del lecho en lavado (sur) (m)	0,37	0,32	0,36	0,30	0,34	0,23
Altura total del lecho (norte) (m)	1,51	1,36	1,30	1,46	1,45	1,53
Altura total del lecho (sur) (m)	1,20	1,44	1,36	1,46	1,39	1,51
Expansión (norte) (%)	11,3	25,7	30,8	22,6	20,7	17,0
Expansión (sur) (%)	30,8	22,2	26,5	20,5	24,5	15,2

ELABORACIÓN: Toapanta & Tualombo

5.4.8 DURACIÓN DEL PROCESO DE LAVADO

La Tabla 5.50 presenta los resultados obtenidos al evaluar la duración del proceso de lavado de cada filtro. Es importante mencionar que el tiempo destinado al lavado de cada unidad en la PTAET es de 7 minutos y medio, por lo que las muestras debieron tomarse cada 30 segundos para cumplir con el número establecido de las mismas y evitar el consumo excesivo de agua en el proceso.

Tabla 5.50 Duración del proceso de lavado

Filtro	1	2	3	4	5	6
Día de lavado	10/07/2018	15/05/2018	17/05/2018	11/05/2018	11/05/2018	21/05/2018
Hora del lavado	14:03	11:30	14:30	07:30	10:00	15:00
Muestra	Turbiedad (NTU)					
1	15,60	35,00	131,00	57,10	191,00	51,60
2	104,00	174,00	205,00	310,00	224,00	302,00
3	160,00	192,00	225,00	131,00	93,40	436,00
4	143,00	141,00	158,00	69,80	52,10	408,00
5	133,00	104,00	106,00	29,80	26,30	267,00

Tabla 5.50 Duración del proceso de lavado (Continuación)

Filtro	1	2	3	4	5	6
Día de lavado	10/07/2018	15/05/2018	17/05/2018	11/05/2018	11/05/2018	21/05/2018
Hora del lavado	14:03	11:30	14:30	07:30	10:00	15:00
Muestra	Turbiedad (NTU)					
6	71,00	60,40	51,80	25,10	14,00	206,00
7	52,00	36,80	26,30	17,50	12,00	124,00
8	46,50	24,40	18,50	14,00	9,54	66,80
9	28,00	10,90	10,90	11,40	7,26	44,50
10	20,80	10,70	9,77	10,00	7,60	27,80
11	17,90	10,70	8,82	10,00	6,87	19,30
12	14,80	8,75	8,49	7,69	5,73	15,10
13	14,00	7,46	7,69	6,94	4,76	14,60
14	12,20	7,54	5,54	6,46	6,32	9,58
15	7,80	4,96	5,65	6,77	4,36	9,74

ELABORACIÓN: Toapanta & Tualombo

5.5 ANÁLISIS DEL PROCESO DE CLORACIÓN

5.5.1 DETERMINACIÓN DE CLORO RESIDUAL

La Tabla 5.51 muestra los resultados obtenidos luego de realizar el muestreo en los puntos más lejanos a la planta dentro de la red de distribución. La toma de muestras se realizó en hidrantes y domicilios cercanos a los mismos.

Tabla 5.51 Determinación de cloro residual-Red de distribución El Troje

Código de punto	Tanque de Abastecimiento	Barrio	Dirección	Cloro residual (mg/L)
SC327	Ferrovial Baja	Aida León	Calle E8D y Chura	0,91
SC252	Argelia Alto	El Mirador	E5A y Río Prieto	0,79
SC239	Guajaló Baja	San Cristóbal	Escalinata S26 y E4	0,72
SC187	Guajaló Medio	San Cristóbal	Ana de Peralta	0,85
SC101	Guajaló Alto	Pueblo Unido	S35D	0,67
LC006	Chillogallo Alto 1	Panamericana Sur	E13F	0,92
LB206	Chillogallo Alto 2	Muyullacta	Guayanayñan y Otoyañan	0,91

Tabla 5.51 Determinación de cloro residual-Red de distribución El Troje (Continuación)

Código de punto	Tanque de Abastecimiento	Barrio	Dirección	Cloro residual (mg/L)
LA141	Chillogallo Alto 3	Las Cuadras	Av. Mariscal Sucre diagonal Tanque Solanda 2	1,31
LA 176	Turubamba Medio #2	Turubamba Monjas 2	Calle Oe14B	0,59
LA 436	Mirador de Chillogallo	Santa Clara 3	Calle Oe15J	0,61
LA330	Turubamba Alto 2	San Francisco	S44B y Oe10	1,04
LA087	Guamaní Bajo 1	Los Cóndores	S48 y Oe10H	1
LA 040	San Fernando	Manuela Sáenz	Calle Oe13A	1,07
LB014	Guamaní Alto	Plan Victoria	S62 y Oe6A	0,96
LB004	Guamaní Medio	Victoria Central	Patricio Barberis S64	0,83
LC244	Turubamba Alto 1	S/N	S64E	0,83
LC090	Troje Alto Planta	Zona Industrial	E9 y S62J	0,79
LC040	Turubamba Medio 1	San Juan de Turubamba	S59 y E36	1,04
LC142	Turubamba Bajo 1	Argentina	S48F y Oe10H	0,88
LA146	Chillogallo alto 3	Las Cuadras	Av. Mariscal Sucre y Nicolás Cevallos	0,89
SC211	Guajaló Alto	San Cristóbal	S29 y E5B	0,71

ELABORACIÓN: Toapanta & Tualombo

5.5.2 DETERMINACIÓN DE LA DEMANDA DE CLORO

La Tabla 5.52 muestra los resultados de la determinación de la demanda de cloro, para calcular este valor se determinó el punto de muestreo más alejado respecto a la planta.

Tabla 5.52 Determinación de la demanda de cloro

Código de punto	Distancia desde la planta (km)	Dosis de cloro del día (mg/L)	Demanda de cloro
LA 176	13.65	1.12	0.53

ELABORACIÓN: Toapanta & Tualombo

5.5.3 TIEMPO REAL DE CONTACTO

A partir de la realización de la prueba de trazadores, se determinó que el tiempo real que una masa de agua entra en contacto con el cloro gas dentro de la cámara de dosificación es de 13 minutos, es decir, 3 minutos más de lo que teóricamente se tenía establecido.

5.6 DIAGNÓSTICO FINAL DE LA PTAET.

5.6.1 COMPARACIÓN DE DATOS OBTENIDOS CON LA NORMATIVA CORRESPONDIENTE

Las Tablas 5.53 y 5.54 muestran los resultados de los análisis fisicoquímicos y microbiológicos llevados a cabo durante la evaluación. Los valores correspondientes a los límites máximos permisibles para cada parámetro evaluado fueron extraídos de la NTE INEN 1108.

Tabla 5.53 Análisis fisicoquímicos-Resultados

Parámetro	Unidad	Límite máximo permisible	Valor		
			Agua cruda	Agua sedimentada	Agua tratada
Alcalinidad	mg/L CaCO ₃	-	10,35	8,45	8,33
Aluminio	mg/L Al ⁺³	0,2	0,029	0,218	0,174
Cloro libre residual	mg/L Cl ⁻	0,3-1,5	-	-	1,12
Color	Pt-Co	15	30	7,5	2,5
Calcio	mg/L CaCO ₃	-	2,7	2,54	2,36
Dureza total	mg/L CaCO ₃	500	4,57	3,72	3,56
Flúor	mg/L F ⁻	1,5	-	-	0,41
Hierro	mg/L Fe ⁺²	1	-	-	0,09
Nitritos	mg/L NO ₂ ⁻	3	-	-	0,01
Nitratos	mg/L NO ₃ ⁻	50	-	-	0,1
Sulfatos	mg/L SO ₄ ⁻²	500	-	-	24
Turbiedad	NTU	5	3,16	1,6	0,52

ELABORACIÓN: Toapanta & Tualombo

Tabla 5.54 Análisis microbiológico-Resultados

Muestra	Número de tubos sembrados	Volumen (mL)	Número de tubos positivos	NMP	Número de colonias observadas	C. fecales
Agua cruda	5	10	4	33	203	No
	5	1	3			No
	5	0,1	1			No
Agua sedimentada	5	10	0	<2	5	No
	5	1	0			No
	5	0,1	0			No
Agua tratada	5	10	0	<2	0	No
	5	10	0			No

ELABORACIÓN: Toapanta & Tualombo

5.6.2 DIAGNÓSTICO FINAL DE LAS UNIDADES EVALUADAS.

5.6.2.1 MEZCLA RÁPIDA Y CANAL DE DISTRIBUCIÓN

A partir de la adición del $Al_2(SO_4)_3$, el trayecto hasta llegar a la zona de distribución toma alrededor de 40 segundos, dicho periodo se encuentra por debajo del tiempo recomendado por el proveedor del coagulante para que la desestabilización de las partículas sea efectiva, adicionalmente; previo al ingreso a los canales de distribución, la conducción atraviesa un vértice, lo que genera turbulencia adicional a la creada en el resalto hidráulico del canal Parshall, haciendo que la aglomeración de las partículas se retrase.

Los canales de distribución presentan un defecto de diseño, dado que la repartición de caudales es desigual para las unidades de floculación cuando las compuertas se encuentran a un mismo nivel. Los ingresos 1 y 4 reciben el 28.86% y 33.95% respectivamente, haciendo que las unidades del centro reciban una menor cantidad de agua.

La estructura de hormigón destinada a homogenizar el caudal y disminuir la velocidad de ingreso del flujo hacia las unidades de floculación ocasiona un incremento en la turbulencia en esta zona, en otras palabras, no cumple con el objetivo para el cual fue implementada. Los valores de velocidad obtenidos se presentan en el Anexo 3.

5.6.2.2 FLOCULADORES

El diseño actual del sistema de floculadores no cumple con los tiempos de retención teóricos establecidos para cada etapa, en las piscinas 1 y 2 los tiempos son menores, en cambio en las piscinas 3 el agua se retiene por un periodo más largo. Sin embargo, el tiempo total de floculación del sistema se acerca a los 30 minutos.

La Tabla 5.55 muestra los valores de gradientes de velocidad y tiempos de retención reales en comparación con los teóricos establecidos por el diseñador del sistema.

Tabla 5.55 Comparación-Gradientes de velocidad

Piscinas	Tr. Real (min)	Tr. Teórico (min)	Gradiente real (s ⁻¹)	Gradiente teórico (s ⁻¹)
1	2	8	105,16	20-40
2	8	10	22,17	15-20
3	16	12	17,25	10-15

ELABORACION: Toapanta & Tualombo

Los ingresos de agua a cada piscina se realizan a través de secciones de diámetro reducido, lo que provoca que el flujo se comprima para luego expandirse de manera brusca, como se observa en la figura 5.1, se incrementa el gradiente de velocidad con el fin de lograr que el flujo choque con la pantalla deflectora, pero se interrumpe el proceso de formación del flóculo. Al final del proceso, el floc no se ha formado completamente por lo que la floculación se extiende al área de sedimentación.

Figura 5.1 Ingresos de agua hacia las unidades de floculación



La salida de agua en cada piscina se efectúa por los extremos de las pantallas deflectoras como se observa en la figura 5.2. Parte del caudal que ingresa a la unidad fluye directamente por estos puntos hacia la piscina siguiente sin completar su proceso de mezcla lenta y floculación, lo que se ve reflejado como un alto porcentaje de cortocircuitos hidráulicos en todo el sistema.

Figura 5.2 Salida de agua entre piscinas de floculación



Las pantallas deflectoras localizadas en las esquinas de las piscinas no fueron selladas completamente al momento de su implementación, por lo que parte del flujo se filtra y retiene dentro de las mismas, como se puede observar en la figura 5.3, lo que incrementa el porcentaje de puntos muertos dentro del sistema.

Figura 5.3 Flujo retenido dentro de pantallas deflectoras



Debido a que se tiene una mezcla rápida muy corta, la solubilización del $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ en el agua cruda es ineficiente, efecto que se visualiza con la formación de espuma (figura 5.4), principalmente en la superficie de las piscinas 1, y de forma más escasa en las piscinas 2.

Figura 5.4 Formación de espumas de sulfato



5.6.2.3 SEDIMENTADORES

El pH al cual normalmente se encuentra el agua cruda hace que el flóculo formado pierda consistencia al llegar al sedimentador, por lo que no sedimenta de manera adecuada y permanece suspendido, formando una película de lodo sobre la superficie. Este efecto se visualiza en la figura 5.5. Al encontrarse suspendida, esta capa se desplaza muy fácilmente hacia los filtros.

Figura 5.5 Formación de película de lodo



Debido a que la estructura superior de los seditubos se encuentra deteriorada, las partículas más ligeras no tienen una superficie de contacto suficiente como para quedar atrapadas en estos (figura 5.6), por lo que se mantienen suspendidas y logran atravesar el sistema hacia los filtros.

Figura 5.6 Seditubos deteriorados



El diseño actual del sedimentador no permite una adecuada recolección y purga de los lodos generados, los cuales, por el efecto del polímero utilizado se compactan y se retienen en el fondo del sistema, tal como se observa en la figura 5.7, y solo pueden ser evacuados al vaciar completamente la unidad.

Figura 5.7 Lodos retenidos en el fondo del sedimentador



5.6.2.4 FILTROS

El grado de intermezcla de las partículas de los lechos filtrantes no se encuentra dentro del rango considerado aceptable, siendo el filtro 2 el que se encuentra en mejores condiciones y el filtro 1 el más deteriorado.

Los resultados indican que las antracitas se encuentran fraccionadas, presentando diámetros cercanos e incluso inferiores a los de las partículas de arena. Este efecto favorece la mezcla entre ambas capas del lecho, haciendo que este pierda su configuración establecida.

Debido a que una parte del flujo que llega a los filtros conserva un alto contenido de $Al_2(SO_4)_3$ no disuelto, flóculos en proceso de formación y material suspendido, las partículas del lecho quedan impregnadas de estas sustancias, acelerando el proceso de colmatación del filtro y favoreciendo a la formación de bolas de barro.

En operaciones de lavado, parte de las antracitas escurren por el canal de evacuación, reduciendo el espesor de la capa filtrante, lo que evidencia una expansión irregular del lecho, la mayor afectación se observa en el filtro 1 ya que es el que ha experimentado una mayor pérdida de material filtrante. Adicionalmente, en el tiempo destinado al retrolavado, no se alcanza el óptimo de turbiedad recomendado de 5 NTU, lo que revela ineficiencia en el proceso de remoción de lodo impregnado y hace clara la necesidad de prolongar la duración de la operación.

La PTAET cuenta con un sistema de turbidímetros en línea para el monitoreo individual y constante de la calidad del agua filtrada, sin embargo, se constató que actualmente no registran la turbiedad en ninguno de los casos.

5.6.2.5 DESINFECCIÓN

El tiempo de contacto, la dosis de cloro y el sistema de dosificación de la planta son adecuados para producir un residual acorde a lo establecido dentro de la norma, garantizando la calidad del producto final a lo largo de toda la red de distribución.

CAPÍTULO 6

PROPUESTA DE OPTIMIZACIÓN Y MEJORAS

Las adecuaciones tanto estructurales como operacionales descritas en este capítulo han sido seleccionadas y jerarquizadas en función de su aplicabilidad, con el fin de garantizar el adecuado funcionamiento de la PTAET.

6.1 PROPUESTA DE MEJORAS MODULARES

En base a los resultados y al diagnóstico final obtenidos, se plantea la aplicación de propuestas de optimización y mejora de los procesos evaluados en la PTAET descritas en la Tabla 6.1.

Tabla 6.1 Descripción de alternativas-Mejoras modulares

Unidad/ proceso	Problema	Consecuencia	Propuesta de solución	Objetivo
Canal distribuidor de agua	Turbulencia excesiva en cambio de dirección de flujo de agua antes del canal distribuidor de caudales	Afectación directa en la formación inicial de flóculos	Instalación de una estructura con peralte en el vértice externo del cambio de dirección	Reducir el efecto del cambio brusco de dirección del flujo en la formación de flóculos
	Flujo turbulento en canal distribuidor de caudales	Distribución no uniforme de caudales hacia las unidades de floculación	Instalación de vertedero reductor de velocidad	Lograr una repartición más equitativa de caudales
Floculadores	Pasos comunicantes de sección reducida	Gradientes de velocidad elevados en piscinas iniciales	Evaluar la factibilidad del rediseño del sistema de floculación	Reducir el gradiente de velocidad al inicio del proceso y mejorar la floculación
	Pantallas deflectoras sin aislamientos laterales	Estancamientos de agua en las esquinas de las unidades	Sellado de pantallas deflectoras	Evitar la formación de estancamientos que favorezcan el crecimiento de algas y la acumulación de espumas

Tabla 6.1 Descripción de alternativas-Mejoras estructurales y de diseño Módulo I
(Continuación)

Unidad/proceso	Problema	Consecuencia	Propuesta de solución	Objetivo
Sedimentadores	Canales de recolección de agua sedimentada en mal estado	Presencia de óxido y corrosión de los canales	Restauración de canales	Evitar afectaciones en la calidad del agua por presencia de óxidos de hierro
Filtros	Alteración del tamaño de partículas que conforman los lechos filtrantes	Disminución en la capacidad filtrante del sistema	Restitución de lechos filtrantes	Recuperar la configuración inicial e incrementar la eficiencia del sistema

ELABORACIÓN: Toapanta & Tualombo

6.2 PROPUESTA DE MEJORAS DE OPERACIÓN

La Tabla 6.2 muestra las alternativas destinadas a optimizar las actividades de operación de la PTAET.

Tabla 6.2 Descripción de alternativas-Mejoras de operación

Unidad/proceso	Problema	Propuesta de solución	Objetivo
Canal distribuidor de agua	Repartición de caudales inequitativa para unidades de floculación	Trabajar con compuertas totalmente levantadas	Obtener una repartición de caudales más uniforme
Floculadores	Formación excesiva de espuma de sulfato en piscinas 1	Verificar la dosis de sulfato respecto a la turbiedad del día	Disminuir el uso excesivo de coagulante

ELABORACIÓN: Toapanta & Tualombo

CAPÍTULO 7

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

7.1 CONCLUSIONES

7.1.1 CANAL DISTRIBUIDOR DE AGUA

La formación de flóculos a partir de la adición de $Al_2(SO_4)_3$ se retrasa debido al exceso de turbulencia generado por el cambio brusco de dirección que sufre el flujo en su paso por el canal de distribución y su encuentro con la rejilla de hormigón previo a su llegada a la zona de distribución.

Las compuertas ubicadas al final del canal de distribución ocasionan una mala repartición de flujo hacia las piscinas de floculación, enviando mayor cantidad de agua a las unidades de los extremos o el centro en función de la posición a la cual se las mantenga.

La velocidad del flujo entre las compuertas y los ingresos hacia las unidades de floculación inmediatamente después de su paso a través de la rejilla de hormigón presenta valores muy elevados, generando un exceso de turbulencia en el agua, causando un efecto negativo en la formación inicial del flóculo.

7.1.2 FLOCULADORES

Los tiempos de retención determinados para las piscinas 1 y 2, tras la realización de las pruebas de trazadores, fueron inferiores a los establecidos por el diseñador del sistema, siendo esta la principal causa de la mala formación de flóculos.

Los gradientes de velocidad en las piscinas iniciales exceden a los recomendados por el CEPIS para este tipo de plantas. Esto se debe a que el diseño de los pasos comunicantes entre piscinas ocasiona el aumento abrupto de la velocidad del flujo, causando una desestabilización de la formación de flóculos en la etapa inicial del sistema y la ruptura de los que han logrado formarse.

A través del análisis de los datos obtenidos en las pruebas de trazadores mediante el método de Wolf-Resnick, se determinó el predominio de flujo mezclado sobre el porcentaje de flujo pistón.

La ubicación de los pasos comunicantes dentro del sistema direcciona parte del flujo hacia los extremos de las unidades, evitando el contacto con las pantallas deflectoras horizontales, haciendo que este fluya directamente hacia los sedimentadores, sin recibir el tratamiento adecuado.

Se evidencia la presencia de estancamiento de agua detrás de las pantallas deflectoras verticales localizadas en las esquinas de las piscinas 2 y 3 debido a que éstas no fueron aisladas al momento de su instalación, permitiendo la acumulación de flujo y favoreciendo al crecimiento de algas y espuma.

Debido a la mezcla irregular entre el $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ y el agua, parte del coagulante no reacciona en el proceso, y se libera hacia la superficie del flujo en forma de espuma.

7.1.3 SEDIMENTADORES

Se determinó que los tiempos de retención reales de las 4 unidades concuerdan con los establecidos por el diseñador, adicionalmente se comprobó el predominio de flujo pistón en la mayor parte del proceso.

Debido al mal funcionamiento de los floculadores, el proceso de formación de flóculos se reanuda en los sedimentadores, lo que incrementa la cantidad de partículas que logran atravesar al sistema de filtrado, disminuyendo la eficiencia del proceso de sedimentación.

El pH del agua cruda influye directamente en la calidad del flóculo formado, lo que puede evidenciarse con la acumulación de partículas coloidales en forma de películas de lodo en la superficie de los sedimentadores cuando se trabaja en condiciones alcalinas. Estas partículas no logran sedimentar y pasan directamente hacia el sistema de filtración.

El tipo de polímero utilizado ocasiona que parte del lodo formado sea mucho más denso y compacto, el cual se mantiene acumulado en el fondo de las unidades y solo puede ser expulsado mediante el vaciado y posterior lavado completo de la unidad.

7.1.4 FILTROS

Los lechos filtrantes han perdido sus características iniciales debido a que han operado continuamente por 18 años, actualmente las capas de arena y antracita se encuentran mayormente mezcladas y desgastadas, el roce continuo entre partículas ha ocasionado el fraccionamiento de gran parte de las antracitas, disminuyendo su tamaño efectivo.

Los lechos presentan una expansión irregular en las operaciones de lavado, lo que se evidencia con la pérdida considerable de material filtrante en cada ciclo. El filtro 1 presenta una mayor afectación, debido a que su expansión es menor al 30% recomendado y el nivel de la capa de antracita es la más baja en comparación al resto de baterías.

Se evidenció una importante presencia de bolas de barro en las muestras de lecho obtenidas, sin embargo, el porcentaje de estas aún se mantiene dentro del rango considerado como aceptable para el funcionamiento de las unidades.

7.1.5 DESINFECCIÓN

Las instalaciones de dosificación de cloro gas se encuentran en buen estado, completamente señalizadas y el manejo de contenedores es adecuado. Adicionalmente, se constató que la planta cuenta con el equipo de protección necesario y el personal operativo maneja correctamente el protocolo de actuación en caso de emergencias generadas por fugas.

Se tiene una concentración de cloro residual adecuada dentro de la red de distribución.

7.1.6 CALIDAD DEL AGUA

Se determinó que el producto final entregado por la PTAET cumple con los parámetros de calidad fisicoquímicos y microbiológicos establecidos en la norma INEN 1108 para el agua de consumo.

7.2 RECOMENDACIONES

La construcción de un sistema de homogenización de caudales de tipo vertedero o embalse puede contribuir a la reducción en las velocidades de ingreso a la zona de floculación y prevenir la mala repartición de caudales.

Debido a los resultados obtenidos acerca del funcionamiento del proceso de floculación, se recomienda la contratación de una consultoría externa para determinar la factibilidad del rediseño de las unidades o las adecuaciones necesarias para que el diseño actual cumpla con las especificaciones técnicas necesarias para garantizar el adecuado funcionamiento del sistema.

Actualmente los seditubos se encuentran deteriorados, por lo que se debería considerar dentro del plan operativo de la PTAET, la posibilidad de reemplazarlos.

Debido a que la evacuación de lodos sedimentados es ineficiente, se recomienda la construcción de una estructura tipo tolva para la recolección de éstos en el sistema de sedimentadores.

La naturaleza del agua cruda cumple con las características de color y turbiedad necesarias para ser considerada como agua clara, por lo que se recomienda la evaluación de la factibilidad de la implementación de un sistema de filtración directa, orientado a la disminución del consumo de sustancias químicas en los procesos de potabilización.

Debido al estado actual de sus componentes y a que el sistema ha excedido su tiempo de operación recomendado, se sugiere la restitución total de lechos filtrantes y del sistema de lavado de las baterías de filtración.

Rehabilitar el sistema de turbidímetros en línea para retomar el control de calidad automático del agua filtrada.

Para evitar la pérdida innecesaria de agua sedimentada, evacuada en cada proceso de lavado, se recomienda la implementación de un sistema de recirculación que reduzca el desperdicio de agua e incremente la producción de la planta, reintegrando este caudal a la etapa de filtración.

Un manejo adecuado de los lodos generados disminuiría la carga contaminante del efluente residual de la PTAET, por lo que se recomienda la construcción de un sistema clarificador y espesador de lodos complementario a la estructura de equalización existente, logrando una operación ambientalmente responsable.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AWWA. (2012). *Diseño de Plantas de Tratamiento de Agua. Segunda Edición. Capítulo 5: Coagulación y Floculación, USA.*
- Castillo, N. (2004). *Evaluación de la planta de tratamiento de agua Potable del Municipio Valle de San Juan (Tolima) (Tesis de Pregrado). Departamento de Ingeniería Química de la Universidad Nacional de Colombia. Manizales, Colombia.*
- CEPIS, OPS (2004). *Tratamiento de agua para consumo humano. Plantas de Filtración Rápida. Manual I: Teoría. Lima, Perú.*
- CEPIS, OPS (2005). *Tratamiento de agua para consumo humano. Manual III: Evaluación de plantas de tecnología apropiada, Plantas de Filtración Rápida. Lima, Perú.*
- CONAGUA. (2016). *Manual de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento. Evaluación rápida de plantas potabilizadoras. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, México.*
- CONAGUA. (2016). *Manual de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento. Desinfección para sistemas de agua potable y saneamiento. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, México.*
- EPMAPS (2017). *Descripción general Planta Potabilizadora El Troje. Recuperado de <https://www.aguaquito.gob.ec/tratamiento/>*
- EPMAPS. (2018). *Sistema de distribución de Agua potable de Quito. Recuperado de <https://www.aguaquito.gob.ec/sistema-de-distribucion/>*
- Galvis, N. (2014) *Ensayos de tratabilidad del agua, una herramienta concluyente para el diseño de plantas de potabilización. Estudio de caso Acueducto Regional de Occidente, Anserma (Caldas). (Tesis de Maestría). Facultad de*

Ciencias Contables, Económicas y Administrativas de la Universidad de Manizales. Colombia.

Guimaraens, M. Da Silva, S. Gamazo, J. L., Failache, C., Camponogara, I. & Bessouat, P. (2008). Determinación de flujo mediante ensayo de trazador de pozo único en sistema acuífero Guaraní en la zona de Artigas. Universidade Federal Santa Maria (Brasil). Universidad de la República (Uruguay).

HACH Co. (2000). Manual de análisis de agua. Procedimientos fotométricos, de titulación y microbiológicos. Segunda Edición en español. Loveland, Colorado. EEUU.

Hurtado, G. (2016). Evaluación de los procesos de operación de la planta de tratamiento para potabilización de agua Villasantana ubicada en la ciudad de Pereira, Risaralda (Tesis de Pregrado). Departamento de Ingeniería Química de la Universidad Nacional de Colombia. Manizales, Colombia.

Ibarguen, M. Bernal, L. (2008). Demanda de cloro en el acueducto Tribunas Córcega de la ciudad de Pereira. Escuela de Química. Universidad tecnológica de Pereira. Colombia.

IDEAM. (2007). Determinación de Coliformes totales y E. Coli de aguas mediante la técnica de sustrato definido, colilert por el método de Numero Más Probable. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial de la República de Colombia.

Idrovo, C. (2010). Optimización de la planta de tratamiento de Uchupucun (Tesis de Pregrado). Facultad de Ciencias Químicas, Escuela de Bioquímica y Farmacia de la Universidad de Cuenca.

INEN. (2014). Norma Técnica Ecuatoriana 1108:2014 (Quinta revisión): Agua potable, requisitos. Subcomité técnico de Agua Potable. Registro Oficial N° 168.

- INEN. (2012). *Norma Técnica Ecuatoriana 2655:2012: Implementación de plantas potabilizadoras prefabricadas en sistemas públicos de agua potable. Primera edición.*
- Lorenzo-Acosta, Y. (2006). *Estado del arte del tratamiento de aguas por coagulación-floculación. ICIDCA. Sobre los Derivados de la Caña de Azúcar, 40(2), 10-17.*
- Martínez, D., Chávez, M., Díaz, A., Chacín, E., & Fernández, N. (2003). *Eficiencia del Cactus lefaria para su uso como coagulante en la clarificación de aguas. Revista Técnica de la facultad de ingeniería Universidad del Zulia, 26(1), 27-33.*
- Martínez, G. Betancourth L. (2003). *Evaluación de la planta de potabilización de agua Empresas Públicas de Armenia-Quindío (Tesis de Pregrado). Departamento de Ingeniería Química de la Universidad Nacional de Colombia. Manizales, Colombia.*
- Muñoz, M. (2012). *Diseños Definitivos para la Reingeniería de la Mezcla Rápida, Floculación y Sedimentación. Optimización de la Planta de Tratamiento de Agua Potable "El Troje". CDC-EMPAPS-64-2011. Consultoría.*
- Ojeda, F. (2013). *Evaluación del sistema de filtración de la planta de tratamiento de Puengasí-EPMAPS-Quito, e investigación en columna de filtración piloto (Tesis de Maestría). Facultad de Ingeniería Civil y Ambiental de la Escuela Politécnica Nacional. Quito.*
- Orellana, J. (2005). *Instructivo de Ingeniería Sanitaria. Capítulo N°6: Tratamiento de aguas. Facultad de Ingeniería Sanitaria. UTN. Argentina.*
- RENALOA. (2014). *Análisis Microbiológico de Alimentos. Microorganismos Indicadores. Administración Nacional de Medicamentos, Alimentos y Tecnología Médica. Ministerio de salud de Argentina.*
- Reyes, X. Silva, M. (2012). *Diagnóstico ambiental y criterios para el diseño de la Red Metropolitana de Calidad del Recurso Hídrico en el Distrito*

Metropolitano de Quito (Tesis de pregrado). Facultad de Ingeniería Civil y Ambiental de la Escuela Politécnica Nacional. Quito.

SUIA. (2018). Sistema de Captación Mica Quito-Sur. Ministerio del Ambiente. Recuperado de <http://suia.ambiente.gob.ec/web/humedales/laguna-micacocha>

Torres, A. (2005). Evaluación del Módulo I y diseño definitivo del Módulo II de la Planta de Tratamiento de agua potable El Troje. Informe de Evaluación y diagnóstico del Módulo I.

Vásquez, D. (2013). Reducción del nivel de sólidos suspendidos del agua de retrolavado en la etapa de filtración (Tesis de Pregrado). Facultad de Ingeniería Química. Universidad Central del Ecuador.

Zerbatto, M. (2012). Coagulación optimizada en el tratamiento de agua: Su efecto en la remoción de enteroparásitos. Facultad de Bioquímica y Ciencias Biológicas. Universidad Nacional del Litoral. Provincia de Santa Fe. Argentina.

ANEXOS

ANEXO 1
FICHAS DE INSPECCIÓN INICIAL

Ficha técnica para la inspección inicial

Fecha: 20 de febrero de 2018

A. Ubicación

1. Nombre de la planta: PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE “EL TROJE”

2. Localidades abastecidas:

- El Troje
- Turubamba
- Chillogallo
- Guamaní
- San Fernando
- Ferroviaria
- Guajaló
- La Victoria
- La Esperanza

3. Localización:

Provincia: Pichincha

Ciudad: Quito D.M.

Administración zonal:

Quitumbe

4. Dirección de la planta: Av. Simón Bolívar y Camino del Inca. Entrada este a Caupicho

Distancia de la capital: 17 km desde el centro de la ciudad. Altitud: 3150 m.s.n.m

5. Institución propietaria o administradora

Empresa Pública Metropolitana de Agua Potable y Saneamiento EPMAPS

B. Fuente de abastecimiento, captación, conducción y acondicionamiento previo

6. Fuente de abastecimiento:

- a. Quebrada
- b. Río
- c. **Lago o embalse:** Embalse La Mica, Laguna Micacochoa.

6.1. Tipo de toma.....

6.2. Conducción de agua cruda:

- a. Por gravedad
 - b. Por bombeo
- 6.3. Desarenador: NA
- 6.4. Pre sedimentador: NA
- a. Largo m
 - b. Ancho m
 - c. Área m²
 - d. Carga superficial..... $\frac{m^3}{m^2} \times d$

C. Calidad de la fuente

Se presentan los datos de turbiedad diarios registrados durante el periodo de operación 2017

D. Características de la planta

7. Caudal de la planta

- 7.1. Caudal de proyecto: 850 L/s
- 7.2. Caudal máximo con el que opera la planta: 850 L/s

Indicar los meses del año o situaciones en las que se da esta condición:

Marzo, agosto, septiembre. Las condiciones de caudal máximo se dan entre las 06:00 y las 18:00 horas, principalmente en horas de la mañana.

- 7.3. Caudal mínimo con el que opera la planta: 230 L/s

Indicar los meses del año o situaciones en las que se da esta condición:

Marzo. Las condiciones de caudal mínimo se presentan generalmente en horas de la madrugada.

8. Tipo de planta

- a. Filtración rápida:
- b. Patente:
- c. Convencional clásica: con floculadores de pantallas sumergidas
- d. Tipo CEPIS/OPS:

Año en que se diseñó: 2000

Año en que se remodeló/amplió/optimizó: 2012

9. Descripción

- 9.1. Medidor de caudal: Registrador o indicador gráfico Tipo: Automático
EUROTHERM

9.2. Mezcla rápida: Tipo: Canaleta tipo Parshall Punto de aplicación: Resalto hidráulico

9.3. Floculadores:

- a. Tipo: Hidráulicos de flujo horizontal
- b. Número de unidades: 4
- c. Número de tramos: 3 por cada unidad
- d. Profundidad útil: Tramo 1: 1,98 m; Tramo 2: 2,53 m; Tramo 3: 3,08 m
- e. Largo: 16,45 m
- f. Ancho: 11,44 m

9.4. Sedimentadores:

- a. Tipo: Por gravedad con seditubos
- b. Número de unidades: 8
- c. Área de cada unidad: 85,015 m²
- d. Tiempo de retención del proyecto: 30 min
- e. Tiempo de retención de operación:

9.5. Filtros:

- a. Tipo de filtro: Unidades de tasa declinante y lavado mutuo
- b. Número de unidades: 6
- c. Tipo de lecho filtrante: Doble lecho (Antracita-arena)
- d. Área de cada filtro: 46,88 m²
- e. Tasa de filtración promedio de diseño: m³/m²/d
- f. Tasa de filtración promedio de operación: 260 m³/m²/d

9.6. Dosificación:

- a. Coagulante: Sulfato de aluminio Tipo de dosificador: Tornillo micrométrico,
por bombeo Número: 2
- b. Polímero: LIPESA 1560 PWG Tipo de dosificador: Bombas dosificadoras
Número: 2
- c. Modificador de pH: Cal Tipo de dosificador: Tornillo micrométrico
Número: 2 (1 Instalado y 1 de reserva)
- d. Desinfección: Cloro gas Tipo de dosificador: Difusores
Número: 2

ANEXO 2
EVIDENCIA FOTOGRÁFICA

ANEXO 2.1 Inspección preliminar PTAET

		
<p>Foto 1. Reservorio de agua cruda</p>	<p>Foto 2. Ingreso de agua cruda</p>	<p>Foto 3. Canal Parshall</p>
		
<p>Foto 4. Floculadores</p>	<p>Foto 5. Sedimentadores</p>	<p>Foto 6. Filtros en lavado</p>
		
<p>Foto 7. Caseta de cloración</p>	<p>Foto 8. Tanque elevado</p>	<p>Foto 9. Tanque de reserva agua tratada</p>

ANEXO 2.1 Inspección preliminar PTAET (Continuación)



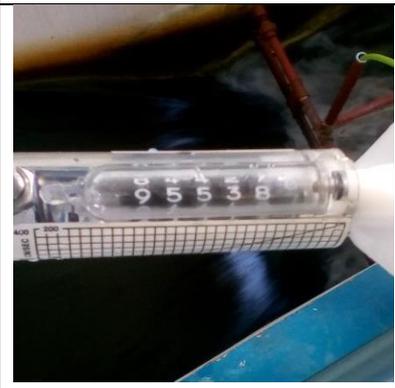
Elaboración: Toapanta & Tualombo

ANEXO 2.2 Dimensionamiento de unidades



Elaboración: Toapanta & Tualombo

ANEXO 2.3 Ensayo de trazadores

		
<p>Foto 1. Pesado de la sal</p>	<p>Foto 2. Preparación de la solución de trazador</p>	<p>Foto 3. Inyección de la solución</p>
		
<p>Foto 4. Conductivímetro de campo</p>	<p>Foto 5. Medición de conductividad Sedimentadores</p>	<p>Foto 6. Medición de conductividad en floculadores</p>
		
<p>Foto 7. Micromolinete</p>	<p>Foto 8. Medición de velocidad en canal distribuidor de caudales</p>	<p>Foto 9. Medición de velocidad en floculadores</p>

Elaboración: Toapanta & Tualombo

ANEXO 2.4 Pruebas de tratabilidad

		
Foto 1. Obtención de sulfato de aluminio	Foto 2. Preparación de solución madre al 10%	Foto 3. Toma de agua cruda
		
Foto 4. Soluciones de concentración conocida	Foto 5. Polímero LIPESA	Foto 6. Preparación de solución de polímero
		
Foto 7. Soluciones preparadas	Foto 8. Equipo de prueba de jarras	Foto 9. Modificación del pH

ANEXO 2.4 Pruebas de tratabilidad (continuación)

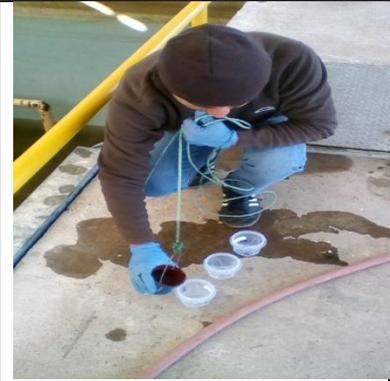
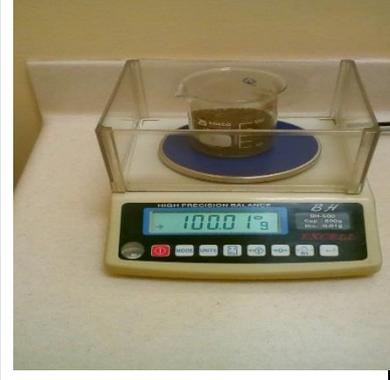
		
<p>Foto 10. Formación de flóculos</p>	<p>Foto 11. Jarras en sedimentación</p>	<p>Foto 12. Determinación de turbiedad residual</p>

Elaboración: Toapanta & Tualombo

ANEXO 2.5 Evaluación de filtros

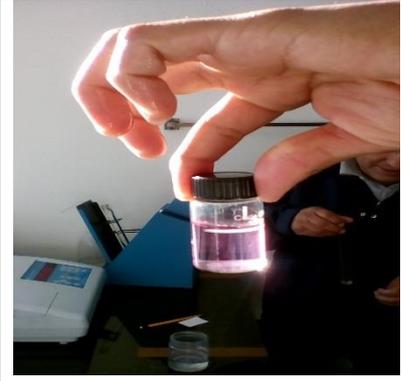
		
<p>Foto 1. Obtención de muestras del lecho</p>	<p>Foto 2. Determinación de espesor</p>	<p>Foto 3. Muestras del lecho</p>
		
<p>Foto 4. Separación de bolas de barro</p>	<p>Foto 5. Bolas de barro formadas y secas</p>	<p>Foto 6. Determinación del volumen de bolas de barro</p>

ANEXO 2.5 Evaluación de filtros (Continuación)

		
<p>Foto 7. Toma de muestras en lavado</p>	<p>Foto 8. Muestras de agua de lavado</p>	<p>Foto 9. Determinación de turbiedad</p>
		
<p>Foto 10. Descarga de agua de lavado</p>	<p>Foto 11. Toma de muestras de filtrado inicial</p>	<p>Foto 12. Evaluación de la expansión del lecho</p>
		
<p>Foto 13. Pesado de muestras de lecho</p>	<p>Foto 14. Equipo de agitación</p>	<p>Foto 15. Ensayo de Granulometría</p>

Elaboración: Toapanta & Tualombo

ANEXO 2.6 Evaluación del sistema de desinfección

		
<p>Foto 1. Contenedores de cloro gas</p>	<p>Foto 2. Dosificadores de cloro</p>	<p>Foto 3. Equipo para manejo de fugas de cloro</p>
		
<p>Foto 4. Traje de protección para fugas de cloro</p>	<p>Foto 5. Capacitación Manejo de cloro gas</p>	<p>Foto 6. Determinación del cloro residual en planta</p>
		
<p>Foto 7. Celda con agua tratada y DPD</p>	<p>Foto 8. Muestreo de cloro residual en la red de distribución</p>	<p>Foto 9. Muestreo de cloro residual en la red de distribución</p>

ANEXO 2.6 Evaluación del sistema de desinfección (Continuación)

		
<p>Foto 10. Muestreo de cloro residual en la red de distribución</p>	<p>Foto 11. Muestreo de cloro residual en la red de distribución</p>	<p>Foto 12. Muestreo de cloro residual en la red de distribución</p>

Elaboración: Toapanta & Tualombo

ANEXO 2.7 Análisis fisicoquímicos

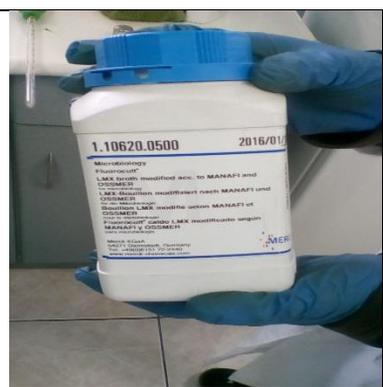
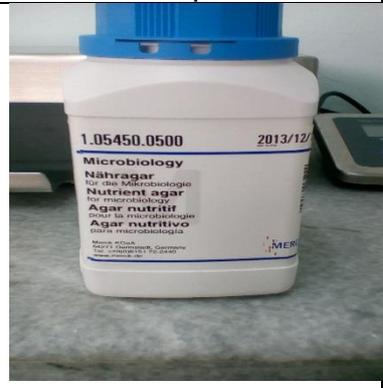
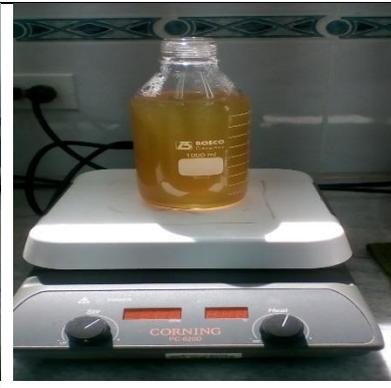
		
<p>Foto 1. Toma de muestras para análisis</p>	<p>Foto 2. Muestras recolectadas</p>	<p>Foto 3. Titulación con EDTA 0.01M</p>
		
<p>Foto 4. Determinación de Dureza total</p>	<p>Foto 5. Muestras tituladas</p>	<p>Foto 6. Adición de reactivo ECR</p>

ANEXO 2.7 Análisis fisicoquímicos (Continuación)

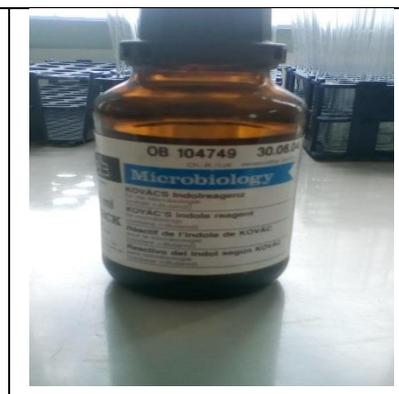
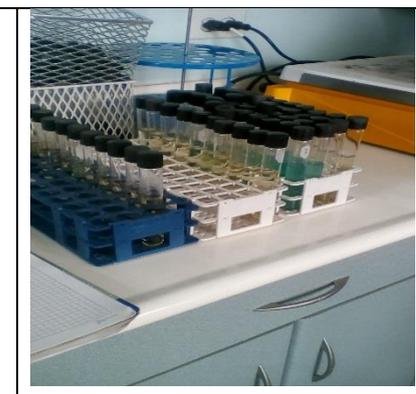
		
<p>Foto 7. Adición de exametilen tetramina</p>	<p>Foto 8. Muestras activadas para determinación de Aluminio</p>	<p>Foto 9. Determinación de fluoruros</p>

Elaboración: Toapanta & Tualombo

ANEXO 2.8 Análisis microbiológicos

		
<p>Foto 1. Toma de muestras para análisis</p>	<p>Foto 2. Medio de cultivo Fluorocult para tubos múltiples</p>	<p>Foto 3. Pesado de Fluorocult</p>
		
<p>Foto 4. Preparación de medios de cultivo</p>	<p>Foto 5. Agar nutritivo para microbiología</p>	<p>Foto 6. Preparación del Agar</p>

ANEXO 2.8 Análisis microbiológicos (Continuación)

		
<p>Foto 7. Autoclave</p>	<p>Foto 8. Reactivo de Indol para falsos positivos</p>	<p>Foto 9. Obtención de tubos cultivados</p>
		
<p>Foto 10. Determinación de falsos positivos</p>	<p>Foto 11. Conteo de colonias en agar</p>	<p>Foto 12. Determinación de coliformes fecales</p>

Elaboración: Toapanta & Tualombo

ANEXO 3
TRATAMIENTO DE DATOS

ANEXO 3.1 Promedios diarios de turbiedad-2017

Tabla A3.1 Turbiedad 2017-Promedios diarios agua cruda

Día	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
1	6,34	5,94	2,24	5,54	2,55	3,55	2,47	1,73	2,56	4,74	4,34	6,85
2	7,32	6,38	5,22	5,54	2,58	3,85	2,17	4,05	1,70	6,10	4,93	8,07
3	6,52	6,77	4,45	5,00	2,54	3,80	2,53	4,34	5,15	5,69	3,64	7,94
4	8,23	5,90	3,21	2,45	2,41	3,96	2,75	4,57	2,29	5,64	3,96	10,42
5	14,26	9,34	2,43	2,41	2,15	4,38	4,79	3,85	2,55	5,11	4,12	9,18
6	8,21	17,00	2,30	2,26	2,14	3,87	6,25	3,04	3,31	6,77	4,46	9,01
7	7,29	3,76	2,23	2,20	2,03	3,87	6,23	4,42	2,79	6,42	5,19	12,22
8	5,78	3,33	2,68	2,76	2,37	8,86	2,66	4,10	3,38	4,65	4,24	11,73
9	6,24	13,55	5,30	5,56	2,80	6,33	2,96	2,84	3,57	5,38	6,54	7,49
10	6,09	4,51	6,80	6,73	3,20	7,12	4,66	4,15	3,78	6,10	7,39	6,43
11	5,47	4,23	6,25	6,25	2,31	4,79	5,89	3,63	4,30	6,65	7,12	8,23
12	5,50	4,98	4,22	4,22	2,04	3,27	4,30	4,43	5,86	6,47	6,80	8,38
13	4,92	3,57	8,41	8,22	1,74	4,01	4,60	5,20	4,40	6,25	8,10	7,35
14	4,52	3,88	8,25	8,44	1,60	3,34	4,35	6,16	3,74	7,57	7,34	6,54
15	3,28	4,51	5,52	5,37	1,74	1,89	3,73	6,84	4,98	7,76	6,98	7,37
16	4,54	8,89	3,39	3,47	1,75	1,74	3,93	5,88	4,09	9,17	7,54	6,05
17	5,00	5,47	3,12	3,08	1,99	1,53	4,51	7,15	5,10	4,69	6,12	7,10
18	7,70	4,26	3,48	3,35	2,06	1,52	5,14	5,55	5,37	41,63	4,72	11,49
19	5,47	4,54	3,15	3,47	2,26	1,67	3,45	5,40	3,90	4,38	6,40	8,17
20	6,65	5,93	3,11	2,95	4,51	1,85	3,38	6,93	5,39	9,15	7,72	8,14
21	3,74	5,91	2,70	2,87	6,91	1,66	2,75	7,81	7,60	7,95	9,34	7,59
22	3,26	6,56	2,28	2,53	4,02	1,69	5,02	4,90	9,10	10,55	2,47	7,72
23	2,86	6,62	2,01	2,04	2,47	1,75	3,52	5,59	5,79	7,94	4,27	7,28
24	2,95	5,89	2,87	2,46	2,56	2,56	3,40	6,00	6,25	7,70	6,00	7,47
25	3,75	5,14	8,04	6,95	2,96	4,32	5,36	4,46	7,61	6,86	5,54	7,19
26	7,74	6,86	9,12	9,18	2,17	5,59	6,26	1,85	7,44	6,60	6,24	8,17
27	7,45	6,34	8,68	8,57	1,97	5,57	3,02	1,79	9,03	8,20	8,14	7,11
28	5,24	6,61	8,92	8,98	2,86	6,39	2,03	3,60	5,43	7,20	9,63	6,07
29	5,81		2,06	4,22	3,01	5,58	1,51	3,38	5,74	7,06	12,81	5,40
30	7,59		3,54	1,96	2,70	2,65	1,58	1,83	5,59	6,68	10,30	5,84
31	12,15		2,44		2,71		1,74	2,06		5,30		6,59

Elaboración: Toapanta & Tualombo

Tabla A3.2 Turbiedad 2017-Promedios diarios agua sedimentada

Día	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
1	2,34	1,64	0,90	1,27	1,37	2,26	1,12	1,13	1,34	1,69	1,47	2,15
2	2,08	1,49	1,15	1,17	0,94	2,50	0,95	2,21	1,21	2,15	1,74	2,20
3	2,48	2,68	1,22	1,29	1,02	2,31	1,19	2,42	3,70	1,83	1,33	1,85
4	2,29	1,62	1,05	0,96	0,92	2,14	1,32	2,00	1,08	1,81	1,69	2,49
5	2,82	2,71	0,91	0,90	1,10	2,51	2,50	1,57	1,10	1,96	2,03	3,06
6	2,56	4,43	0,82	0,78	1,02	2,13	2,48	1,21	1,56	2,96	1,72	2,29
7	2,67	1,15	0,90	0,89	0,87	2,13	2,75	1,75	1,51	1,85	1,68	4,31
8	1,96	1,03	1,06	1,10	0,85	3,86	1,17	1,63	1,73	1,74	1,61	3,32
9	2,00	2,48	1,86	1,91	0,96	2,95	1,35	1,73	1,83	2,51	2,33	1,93
10	1,99	1,63	2,80	2,77	1,19	2,70	2,06	2,35	2,48	1,99	2,65	2,01
11	2,60	1,23	1,69	1,69	1,10	1,78	1,65	1,95	2,51	2,06	2,22	2,39
12	2,25	1,44	1,28	1,28	0,96	1,27	1,88	2,32	2,95	2,10	2,48	2,44
13	1,66	1,26	2,48	2,43	0,86	1,55	2,02	2,52	1,97	2,14	2,45	2,51
14	1,76	1,35	2,02	2,14	0,90	1,50	2,08	3,01	1,60	2,59	2,30	2,58
15	1,44	1,83	1,71	1,58	0,98	0,91	1,54	2,69	2,73	2,64	2,22	2,49
16	1,87	3,12	1,30	1,29	0,71	1,08	1,75	2,07	1,84	3,39	2,30	2,62
17	1,88	2,28	1,34	1,34	0,83	0,95	1,69	2,32	1,95	1,46	2,66	2,35
18	2,51	1,65	1,25	1,22	0,84	1,01	2,13	2,27	2,01	5,51	2,10	2,86
19	2,64	1,42	1,24	1,31	1,27	0,96	1,64	1,97	1,74	1,90	2,06	2,62
20	2,13	1,32	1,49	1,36	2,32	0,82	1,38	2,69	1,79	2,84	2,81	2,28
21	1,16	1,30	1,22	1,27	2,48	0,90	1,27	2,96	3,54	2,12	2,64	2,28
22	1,24	1,87	1,01	1,17	1,96	0,92	2,90	1,54	2,59	2,10	1,33	2,68
23	1,08	2,02	1,21	1,15	1,40	0,92	1,76	2,65	2,55	2,46	2,13	2,16
24	1,16	1,92	1,21	1,20	2,57	0,96	1,74	2,53	2,35	2,17	2,32	2,26
25	1,48	2,04	3,25	2,90	1,19	2,17	3,03	1,84	2,94	2,15	2,06	2,16
26	2,98	1,91	4,07	4,00	1,25	2,26	1,99	1,03	2,82	2,27	2,22	2,35
27	2,38	2,15	2,24	2,23	1,19	2,31	1,28	0,97	2,76	3,01	2,52	2,79
28	1,79	2,21	2,56	2,56	1,81	3,04	1,17	2,41	1,98	1,85	2,86	2,18
29	1,91		0,88	1,47	1,79	3,13	1,06	1,55	2,42	2,06	3,56	2,10
30	2,18		1,00	1,08	1,29	1,31	1,09	1,02	1,71	2,04	2,75	2,47
31	1,94		1,12		1,29		1,17	1,02		1,88		3,09

Elaboración: Toapanta & Tualombo

Tabla A3.3 Turbiedad 2017-Promedios diarios agua tratada

Día	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
1	1,36	1,14	0,97	0,76	0,81	1,01	0,68	0,61	0,78	1,21	1,12	1,09
2	1,19	1,32	0,66	0,67	0,60	1,40	0,59	1,05	0,70	1,25	0,85	1,04
3	1,37	1,31	1,03	0,96	0,67	1,03	0,73	1,12	2,45	1,27	0,93	1,07
4	1,60	1,11	0,66	0,66	0,64	1,08	0,82	1,19	0,86	1,34	0,93	1,41
5	1,10	1,69	0,60	0,58	0,83	1,59	1,06	1,16	0,72	1,28	1,09	1,41
6	1,09	1,94	0,59	0,59	0,62	1,41	1,16	0,98	0,80	1,68	1,29	1,20
7	1,11	0,95	1,06	0,99	0,59	1,41	1,19	1,05	0,84	1,28	1,28	1,99
8	1,01	0,76	0,63	0,65	0,60	1,39	0,66	1,03	1,02	1,09	1,01	2,17
9	1,24	1,14	0,91	0,93	0,62	1,33	0,55	1,18	1,01	1,36	1,19	1,35
10	1,07	1,44	1,07	1,07	0,86	1,44	0,81	1,26	1,19	1,28	1,62	1,33
11	1,16	0,76	1,07	1,07	0,90	1,18	1,07	1,06	1,30	1,17	1,35	1,48
12	1,28	0,78	0,85	0,85	0,73	0,95	1,08	1,20	1,58	1,27	1,72	1,32
13	1,07	1,02	1,16	1,14	0,66	0,82	1,26	1,41	1,05	1,38	1,42	1,48
14	1,01	1,09	1,16	1,17	0,62	0,94	1,09	1,48	0,97	1,47	1,22	1,22
15	1,03	1,01	1,03	1,08	0,67	0,71	0,95	1,45	1,45	1,45	1,09	1,40
16	1,07	1,61	0,91	0,88	0,82	0,68	1,02	1,25	1,06	1,23	1,10	1,46
17	1,03	1,69	0,81	0,84	0,74	0,68	0,87	1,27	1,25	1,50	1,50	1,19
18	1,28	1,06	0,83	0,82	0,68	0,66	1,00	1,25	1,23	2,08	1,19	1,37
19	1,43	1,02	0,80	0,80	0,85	0,63	1,08	1,05	0,99	1,22	1,16	1,44
20	1,50	0,94	1,12	1,06	1,02	0,56	0,85	1,25	1,10	1,96	1,26	1,19
21	0,91	0,88	0,73	0,80	1,10	0,53	0,68	1,91	1,56	1,17	1,59	1,31
22	0,79	1,26	0,77	0,80	1,28	0,62	1,24	1,20	1,38	1,31	0,73	1,16
23	0,76	1,33	0,60	0,60	1,17	0,63	1,06	1,44	1,36	1,17	0,68	1,21
24	0,72	1,10	0,61	0,57	1,64	0,63	0,74	1,49	1,47	1,15	1,09	1,12
25	0,85	1,13	1,06	0,97	0,91	1,01	1,12	1,35	1,65	1,16	1,18	1,29
26	1,36	1,17	1,56	1,56	0,86	1,61	1,03	0,79	1,81	1,11	1,01	1,21
27	1,58	1,25	1,29	1,27	0,78	1,34	0,67	0,69	1,79	1,50	1,53	1,36
28	0,97	1,22	1,68	1,73	0,96	1,69	0,73	1,06	1,34	1,25	1,20	1,43
29	1,11		0,58	0,71	0,92	1,57	0,68	0,99	1,54	1,15	1,55	1,18
30	1,27		0,59	0,58	0,85	1,72	0,65	0,70	1,23	1,25	1,73	1,20
31	1,32		0,69		0,86		0,68	0,68		1,17		1,45

Elaboración: Toapanta & Tualombo

Tabla A3.4 Prueba de trazadores-Conductividad Floculador I

t (min)	Piscina 1		Piscina 2		Piscina 3	
	C ($\mu\text{S/cm}$)	C-Co	C ($\mu\text{S/cm}$)	C-Co	C ($\mu\text{S/cm}$)	C-Co
19	190,0	17,5	233,0	60,8	247,0	75,2
20	190,0	17,5	225,0	52,8	245,0	73,2
21	186,0	13,5	221,0	48,8	243,0	71,2
22	182,0	9,5	216,0	43,8	242,0	70,2
23	183,0	10,5	212,0	39,8	241,0	69,2
24	180,0	7,5	212,0	39,8	241,0	69,2
25	181,0	8,5	208,0	35,8	238,0	66,2
26	180,0	7,5	205,0	32,8	236,0	64,2
27	180,0	7,5	203,0	30,8	231,0	59,2
28	177,0	4,5	200,0	27,8	230,0	58,2
29	176,0	3,5	198,0	25,8	224,0	52,2
30	175,0	2,5	196,0	23,8	226,0	54,2
31	176,0	3,5	192,0	19,8	221,0	49,2
32	177,0	4,5	191,0	18,8	220,0	48,2
33	176,0	3,5	190,0	17,8	218,0	46,2
34	175,0	2,5	189,0	16,8	216,0	44,2
35	174,0	1,5	187,0	14,8	213,0	41,2
36	174,0	1,5	186,0	13,8	213,0	41,2
37	175,0	2,5	184,0	11,8	210,0	38,2
38	174,0	1,5	183,0	10,8	207,0	35,2
39	174,0	1,5	183,0	10,8	207,0	35,2
40	174,0	1,5	182,0	9,8	204,0	32,2
41	175,0	2,5	180,0	7,8	204,0	32,2
42	174,0	1,5	179,0	6,8	201,0	29,2
43	174,0	1,5	179,0	6,8	200,0	28,2
44	174,0	1,5	178,0	5,8	197,0	25,2
45	174,0	1,5	177,0	4,8	198,0	26,2
46	174,0	1,5	177,0	4,8	196,0	24,2
47	173,4	0,9	176,6	4,4	194,8	23,0
48	173,2	0,7	176,3	4,1	193,5	21,7
49	174,0	1,5	175,7	3,5	192,1	20,3
50	173,1	0,6	175,9	3,7	191,7	19,9
51	173,3	0,8	175,3	3,1	189,0	17,2
52	173,8	1,3	175,2	3,0	187,9	16,1
53	173,5	1,0	174,7	2,5	188,1	16,3
54	173,7	1,2	174,6	2,4	186,6	14,8
55	173,4	0,9	174,3	2,1	185,4	13,6
56	173,7	1,2	174,2	2,0	185,3	13,5
57	173,6	1,1	174,1	1,9	183,3	11,5
58	173,5	1,0	174,0	1,8	182,7	10,9

Tabla A3.4 Prueba de trazadores-Conductividad Floculador I (continuación)

t (min)	Piscina 1		Piscina 2		Piscina 3	
	C ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	C-Co	C ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	C-Co	C ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	C-Co
59	173,0	0,5	174,0	1,8	182,3	10,5
60	172,9	0,4	173,8	1,6	182,1	10,3
61	173,6	1,1	173,7	1,5	181,8	10,0
62	173,3	0,8	173,5	1,3	180,5	8,7
63	173,3	0,8	173,4	1,2	180,5	8,7
64	173,2	0,7	173,4	1,2	179,6	7,8
65	172,8	0,3	173,4	1,2	179,3	7,5
66	173,1	0,6	173,3	1,1	178,5	6,7
67	172,9	0,4	173,2	1,0	178,1	6,3
68	172,8	0,3	173,0	0,8	177,4	5,6
69	172,7	0,2	173,0	0,8	177,1	5,3
70	172,9	0,4	173,0	0,8	177,0	5,2
71	172,9	0,4	172,8	0,6	177,0	5,2
72	172,8	0,3	172,9	0,7	176,3	4,5
73	173,3	0,8	172,8	0,6	175,9	4,1
74	173,2	0,7	172,8	0,6	176,1	4,3
75	173,3	0,8	172,7	0,5	175,7	3,9
76	173,0	0,5	172,7	0,5	175,4	3,6
77	173,0	0,5	172,7	0,5	175,3	3,5
78	172,9	0,4	172,8	0,6	174,8	3,0
79	173,6	1,1	172,7	0,5	174,8	3,0
80	172,7	0,2	172,8	0,6	174,6	2,8
81	172,8	0,3	172,8	0,6	174,5	2,7
82	173,0	0,5	172,9	0,7	174,3	2,5
83	172,7	0,2	172,7	0,5	174,3	2,5
84	173,0	0,5	172,7	0,5	174,2	2,4
85	173,0	0,5	172,9	0,7	174,1	2,3
86	173,0	0,5	172,9	0,7	173,9	2,1
87	173,0	0,5	172,9	0,7	173,8	2,0
88	173,0	0,5	172,9	0,7	173,7	1,9
89	173,0	0,5	172,9	0,7	173,5	1,7
90	173,0	0,5	172,9	0,7	173,6	1,8
91	173,0	0,5	172,9	0,7	173,5	1,7
92	173,0	0,5	172,9	0,7	173,1	1,3
93	173,0	0,5	172,9	0,7	172,8	1,0
94	173,0	0,5	172,9	0,7	173,3	1,5
95	173,0	0,5	172,9	0,7	173,2	1,4
96	173,0	0,5	172,9	0,7	173,2	1,4
97	173,0	0,5	172,9	0,7	173,1	1,3
98	173,0	0,5	172,9	0,7	173,1	1,3

Tabla A3.4 Prueba de trazadores-Conductividad Floculador I (continuación)

t (min)	Piscina 1		Piscina 2		Piscina 3	
	C ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	C-Co	C ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	C-Co	C ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	C-Co
99	173,0	0,5	172,9	0,7	173,0	1,2
100	173,0	0,5	172,9	0,7	172,9	1,1
101	172,9	0,4	172,8	0,6	172,9	1,1
102	172,9	0,4	172,8	0,6	172,9	1,1
103	172,9	0,4	172,8	0,6	172,8	1,0
104	172,9	0,4	172,8	0,6	172,8	1,0
105	172,9	0,4	172,8	0,6	172,9	1,1
106	172,9	0,4	172,8	0,6	172,8	1,0
107	172,9	0,4	172,8	0,6	172,8	1,0
108	172,9	0,4	172,8	0,6	172,8	1,0
109	172,7	0,2	172,8	0,6	172,8	1,0
110	172,7	0,2	172,8	0,6	172,8	1,0
111	172,7	0,2	172,8	0,6	172,7	0,9
112	172,7	0,2	172,8	0,6	172,8	1,0
113	172,7	0,2	172,8	0,6	172,7	0,9
114	172,7	0,2	172,8	0,6	172,7	0,9
115	172,7	0,2	172,8	0,6	172,7	0,9
116	172,7	0,2	172,8	0,6	172,7	0,9
117	172,7	0,2	172,8	0,6	172,6	0,8
118	172,7	0,2	172,8	0,6	172,6	0,8
119	172,7	0,2	172,8	0,6	172,6	0,8
120	172,7	0,2	172,8	0,6	172,6	0,8

Elaboración: Toapanta & Tualombo

Tabla A3.5 Prueba de trazadores-Conductividad Floculador II

t (min)	Piscina 1		Piscina 2		Piscina 3	
	C ($\mu\text{S/cm}$)	C-Co	C ($\mu\text{S/cm}$)	C-Co	C ($\mu\text{S/cm}$)	C-Co
0	152,1	0,0	152,5	0,0	152,5	0,0
1	470,0	317,9	153,0	0,5	153,0	0,5
2	554,0	401,9	233,0	80,5	153,0	0,5
3	391,0	238,9	250,0	97,5	155,0	2,5
4	352,0	199,9	276,0	123,5	164,0	11,5
5	304,0	151,9	274,0	121,5	168,0	15,5
6	283,0	130,9	280,0	127,5	175,0	22,5
7	267,0	114,9	282,0	129,5	181,0	28,5
8	246,0	93,9	278,0	125,5	189,0	36,5
9	224,0	71,9	275,0	122,5	191,0	38,5
10	217,0	64,9	270,0	117,5	202,0	49,5
11	210,0	57,9	264,0	111,5	204,0	51,5
12	203,0	50,9	258,0	105,5	209,0	56,5
13	192,0	39,9	252,0	99,5	213,0	60,5
14	187,0	34,9	245,0	92,5	221,0	68,5
15	182,0	29,9	239,0	86,5	225,0	72,5
16	177,0	24,9	235,0	82,5	229,0	76,5
17	170,0	17,9	226,0	73,5	225,0	72,5
18	168,0	15,9	220,0	67,5	227,0	74,5
19	166,0	13,9	216,0	63,5	226,0	73,5
20	164,0	11,9	208,0	55,5	226,0	73,5
21	163,0	10,9	205,0	52,5	225,0	72,5
22	162,0	9,9	199,0	46,5	224,0	71,5
23	160,0	7,9	195,0	42,5	222,0	69,5
24	160,0	7,9	189,0	36,5	222,0	69,5
25	158,0	5,9	188,0	35,5	219,0	66,5
26	158,0	5,9	184,0	31,5	217,0	64,5
27	158,0	5,9	181,0	28,5	216,0	63,5
28	157,0	4,9	177,0	24,5	212,0	59,5
29	156,0	3,9	175,0	22,5	210,0	57,5
30	156,0	3,9	173,0	20,5	208,0	55,5
31	156,0	3,9	171,0	18,5	206,0	53,5
32	155,0	2,9	169,0	16,5	200,0	47,5
33	156,0	3,9	169,0	16,5	201,0	48,5
34	156,0	3,9	166,0	13,5	196,0	43,5
35	155,0	2,9	166,0	13,5	196,0	43,5
36	155,0	2,9	164,0	11,5	192,0	39,5
37	155,0	2,9	164,0	11,5	191,0	38,5
38	155,0	2,9	163,0	10,5	188,0	35,5
39	155,0	2,9	162,0	9,5	185,0	32,5

Tabla A3.5 Prueba de trazadores-Conductividad Floculador II (Continuación)

t (min)	Piscina 1		Piscina 2		Piscina 3	
	C ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	C-Co	C ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	C-Co	C ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	C-Co
40	155,0	2,9	162,0	9,5	185,0	32,5
41	155,0	2,9	161,3	8,8	182,0	29,5
42	155,2	3,1	159,8	7,3	177,7	25,2
43	154,8	2,7	158,3	5,8	177,1	24,6
44	155,0	2,9	158,0	5,5	176,4	23,9
45	154,3	2,2	157,7	5,2	174,3	21,8
46	154,6	2,5	157,5	5,0	174,6	22,1
47	154,5	2,4	157,0	4,5	173,2	20,7
48	154,4	2,3	157,2	4,7	171,7	19,2
49	154,7	2,6	156,5	4,0	171,3	18,8
50	154,4	2,3	156,5	4,0	169,0	16,5
51	154,8	2,7	156,1	3,6	169,0	16,5
52	154,5	2,4	155,9	3,4	167,0	14,5
53	154,8	2,7	155,7	3,2	165,9	13,4
54	154,4	2,3	155,6	3,1	166,1	13,6
55	154,9	2,8	155,4	2,9	165,2	12,7
56	154,8	2,7	155,3	2,8	163,7	11,2
57	154,7	2,6	155,1	2,6	162,9	10,4
58	155,1	3,0	155,1	2,6	162,8	10,3
59	155,1	3,0	155,1	2,6	162,0	9,5
60	154,6	2,5	154,9	2,4	162,1	9,6
61	154,9	2,8	154,9	2,4	161,1	8,6
62	154,8	2,7	154,8	2,3	160,5	8,0
63	154,5	2,4	154,7	2,2	160,1	7,6
64	155,3	3,2	154,7	2,2	159,3	6,8
65	155,0	2,9	154,6	2,1	158,8	6,3
66	155,4	3,3	154,6	2,1	158,7	6,2
67	155,0	2,9	154,5	2,0	158,4	5,9
68	154,6	2,5	154,5	2,0	158,5	6,0
69	154,9	2,8	154,5	2,0	157,6	5,1
70	154,8	2,7	154,4	1,9	157,8	5,3
71	154,6	2,5	154,5	2,0	157,5	5,0
72	154,8	2,7	154,4	1,9	157,2	4,7
73	154,9	2,8	154,4	1,9	157,0	4,5
74	154,6	2,5	154,5	2,0	156,9	4,4
75	154,1	2,0	154,4	1,9	156,3	3,8
76	154,8	2,7	154,3	1,8	156,2	3,7
77	154,6	2,5	154,3	1,8	156,0	3,5
78	155,0	2,9	154,3	1,8	155,9	3,4
79	154,8	2,7	154,3	1,8	155,8	3,3

Tabla A3.5 Prueba de trazadores-Conductividad Floculador II (Continuación)

t (min)	Piscina 1		Piscina 2		Piscina 3	
	C ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	C-Co	C ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	C-Co	C ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	C-Co
80	154,8	2,7	154,6	2,1	155,6	3,1
81	154,8	2,7	154,6	2,1	155,5	3,0
82	154,8	2,7	154,6	2,1	154,9	2,4
83	155,0	2,9	154,6	2,1	154,9	2,4
84	155,0	2,9	154,6	2,1	155,3	2,8
85	155,0	2,9	154,6	2,1	155,2	2,7
86	156,7	4,6	154,6	2,1	155,2	2,7
87	156,4	4,3	154,6	2,1	155,1	2,6
88	156,4	4,3	154,6	2,1	155,1	2,6
89	156,4	4,3	154,6	2,1	155,1	2,6
90	157,8	5,7	154,6	2,1	154,9	2,4
91	157,8	5,7	154,6	2,1	154,9	2,4
92	157,8	5,7	154,6	2,1	154,9	2,4
93	157,8	5,7	154,6	2,1	154,8	2,3
94	157,8	5,7	154,4	1,9	154,9	2,4
95	157,8	5,7	154,4	1,9	154,7	2,2
96	157,8	5,7	154,4	1,9	154,7	2,2
97	157,8	5,7	154,4	1,9	154,7	2,2
98	157,8	5,7	154,4	1,9	154,7	2,2
99	157,8	5,7	154,4	1,9	154,7	2,2
100	156,4	4,3	154,3	1,8	154,7	2,2
101	156,4	4,3	154,3	1,8	154,7	2,2
102	156,4	4,3	154,3	1,8	154,7	2,2
103	156,4	4,3	154,3	1,8	154,7	2,2
104	156,4	4,3	154,3	1,8	154,7	2,2
105	156,4	4,3	154,3	1,8	154,7	2,2
106	156,4	4,3	154,3	1,8	154,7	2,2
107	156,4	4,3	154,3	1,8	154,7	2,2
108	156,4	4,3	154,3	1,8	154,7	2,2
109	156,4	4,3	154,3	1,8	154,7	2,2
110	158,0	5,9	154,3	1,8	154,7	2,2
111	158,0	5,9	155,0	2,5	154,7	2,2
112	158,0	5,9	155,0	2,5	154,7	2,2
113	158,0	5,9	155,0	2,5	154,7	2,2
114	158,0	5,9	155,0	2,5	154,7	2,2
115	158,0	5,9	155,0	2,5	154,7	2,2
116	158,0	5,9	155,0	2,5	154,7	2,2
117	158,0	5,9	155,0	2,5	154,7	2,2
118	158,0	5,9	155,0	2,5	154,7	2,2
119	158,0	5,9	155,0	2,5	154,7	2,2

Elaboración: Toapanta & Tualombo

Tabla A3.6 Prueba de trazadores-Conductividad Floculador III

t (min)	Piscina 1		Piscina 2		Piscina 3	
	C ($\mu\text{S/cm}$)	C-Co	C ($\mu\text{S/cm}$)	C-Co	C ($\mu\text{S/cm}$)	C-Co
0	157,1	0,0	156,1	0,0	155,2	0,0
1	204,0	46,9	159,0	2,9	156,0	0,8
2	574,0	416,9	176,0	19,9	163,0	7,8
3	567,0	409,9	213,0	56,9	164,0	8,8
4	420,0	262,9	226,0	69,9	174,0	18,8
5	360,0	202,9	228,0	71,9	184,0	28,8
6	298,0	140,9	262,0	105,9	185,0	29,8
7	289,0	131,9	267,0	110,9	195,0	39,8
8	271,0	113,9	270,0	113,9	201,0	45,8
9	254,0	96,9	274,0	117,9	203,0	47,8
10	239,0	81,9	272,0	115,9	205,0	49,8
11	228,0	70,9	271,0	114,9	213,0	57,8
12	213,0	55,9	267,0	110,9	219,0	63,8
13	207,0	49,9	262,0	105,9	222,0	66,8
14	202,0	44,9	256,0	99,9	225,0	69,8
15	193,0	35,9	251,0	94,9	224,0	68,8
16	187,0	29,9	245,0	88,9	228,0	72,8
17	183,0	25,9	241,0	84,9	227,0	71,8
18	180,0	22,9	236,0	79,9	227,0	71,8
19	177,0	19,9	232,0	75,9	227,0	71,8
20	174,0	16,9	226,0	69,9	227,0	71,8
21	172,0	14,9	219,0	62,9	226,0	70,8
22	169,0	11,9	217,0	60,9	225,0	69,8
23	166,0	8,9	213,0	56,9	224,0	68,8
24	164,0	6,9	209,0	52,9	224,0	68,8
25	163,0	5,9	207,0	50,9	220,0	64,8
26	162,0	4,9	199,0	42,9	218,0	62,8
27	161,0	3,9	197,0	40,9	218,0	62,8
28	161,0	3,9	195,0	38,9	214,0	58,8
29	160,0	2,9	192,0	35,9	213,0	57,8
30	160,0	2,9	189,0	32,9	211,0	55,8
31	159,0	1,9	185,0	28,9	208,0	52,8
32	159,0	1,9	184,0	27,9	205,0	49,8
33	159,0	1,9	182,0	25,9	205,0	49,8
34	158,8	1,7	178,0	21,9	205,0	49,8
35	158,8	1,7	177,0	20,9	202,0	46,8
36	158,8	1,7	174,0	17,9	197,0	41,8
37	158,8	1,7	173,0	16,9	195,0	39,8
38	158,8	1,7	171,0	14,9	194,0	38,8
39	158,8	1,7	170,0	13,9	193,0	37,8

Tabla A3.6 Prueba de trazadores-Conductividad Floculador III (continuación)

t (min)	Piscina 1		Piscina 2		Piscina 3	
	C ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	C-Co	C ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	C-Co	C ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	C-Co
40	158,8	1,7	169,0	12,9	190,0	34,8
41	158,8	1,7	167,0	10,9	188,0	32,8
42	158,8	1,7	166,0	9,9	186,0	30,8
43	158,3	1,2	165,0	8,9	183,1	27,9
44	158,5	1,4	164,2	8,1	179,6	24,4
45	158,5	1,4	161,7	5,6	178,7	23,5
46	158,5	1,4	161,4	5,3	177,7	22,5
47	158,5	1,4	160,6	4,5	176,0	20,8
48	158,5	1,4	160,5	4,4	175,0	19,8
49	158,5	1,4	159,8	3,7	172,0	16,8
50	158,5	1,4	159,5	3,4	170,0	14,8
51	158,5	1,4	159,9	3,8	168,0	12,8
52	158,5	1,4	159,9	3,8	168,0	12,8
53	158,3	1,2	159,9	3,8	168,0	12,8
54	158,3	1,2	159,9	3,8	168,0	12,8
55	158,3	1,2	159,9	3,8	168,0	12,8
56	158,3	1,2	159,9	3,8	168,0	12,8
57	158,3	1,2	159,9	3,8	168,0	12,8
58	158,3	1,2	159,9	3,8	168,0	12,8
59	158,3	1,2	159,9	3,8	168,0	12,8
60	158,3	1,2	158,3	2,2	163,7	8,5
61	158,3	1,2	158,3	2,2	163,7	8,5
62	158,3	1,2	158,3	2,2	163,5	8,3
63	158,3	1,2	158,3	2,2	162,1	6,9
64	158,3	1,2	158,3	2,2	161,7	6,5
65	158,3	1,2	158,3	2,2	161,3	6,1
66	158,3	1,2	158,3	2,2	161,3	6,1
67	158,3	1,2	158,3	2,2	161,3	6,1
68	157,9	0,8	158,3	2,2	161,3	6,1
69	157,9	0,8	158,3	2,2	161,3	6,1
70	157,9	0,8	157,9	1,8	160,0	4,8
71	157,9	0,8	157,9	1,8	159,7	4,5
72	157,9	0,8	157,9	1,8	159,3	4,1
73	157,9	0,8	157,9	1,8	158,9	3,7
74	157,9	0,8	157,9	1,8	159,4	4,2
75	157,9	0,8	157,9	1,8	158,7	3,5
76	157,9	0,8	157,9	1,8	158,1	2,9
77	157,9	0,8	157,9	1,8	157,9	2,7
78	157,9	0,8	157,9	1,8	157,3	2,1
79	157,9	0,8	157,9	1,8	157,3	2,1

Tabla A3.6 Prueba de trazadores-Conductividad Floculador III (continuación)

t (min)	Piscina 1		Piscina 2		Piscina 3	
	C ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	C-Co	C ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	C-Co	C ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	C-Co
80	157,6	0,5	156,8	0,7	157,3	2,1
81	157,6	0,5	156,8	0,7	157,3	2,1
82	157,6	0,5	156,8	0,7	157,3	2,1
83	157,6	0,5	156,8	0,7	157,3	2,1
84	157,6	0,5	156,8	0,7	157,2	2,0
85	157,6	0,5	156,2	0,1	157,2	2,0
86	157,6	0,5	156,2	0,1	157,1	1,9
87	157,6	0,5	156,2	0,1	156,8	1,6
88	157,6	0,5	156,2	0,1	156,8	1,6
89	157,6	0,5	156,2	0,1	156,7	1,5
90	157,6	0,5	156,1	0,0	156,5	1,3
91	157,8	0,7	156,1	0,0	156,4	1,2
92	157,8	0,7	156,1	0,0	156,3	1,1
93	157,8	0,7	156,1	0,0	156,0	0,8
94	157,8	0,7	156,1	0,0	156,0	0,8
95	157,8	0,7	155,9	-0,2	156,0	0,8
96	157,8	0,7	155,9	-0,2	156,1	0,9
97	157,8	0,7	155,9	-0,2	156,2	1,0
98	157,8	0,7	155,9	-0,2	156,1	0,9
99	157,8	0,7	155,9	-0,2	156,2	1,0
100	157,8	0,7	156,2	0,1	155,9	0,7
101	157,4	0,3	156,2	0,1	155,5	0,3
102	157,4	0,3	156,2	0,1	155,4	0,2
103	157,4	0,3	156,2	0,1	155,6	0,4
104	157,4	0,3	156,2	0,1	155,3	0,1
105	157,4	0,3	156,2	0,1	155,3	0,1
106	157,4	0,3	156,2	0,1	155,3	0,1
107	157,4	0,3	156,2	0,1	155,3	0,1
108	157,4	0,3	156,2	0,1	155,3	0,1
109	157,4	0,3	156,2	0,1	155,3	0,1
110	157,4	0,3	156,1	0,0	155,3	0,1
111	157,2	0,1	156,1	0,0	155,3	0,1
112	157,2	0,1	156,1	0,0	155,3	0,1
113	157,2	0,1	156,1	0,0	155,3	0,1
114	157,2	0,1	156,1	0,0	155,3	0,1
115	157,2	0,1	156,1	0,0	155,3	0,1
116	157,2	0,1	156,1	0,0	155,3	0,1
117	157,2	0,1	156,1	0,0	155,3	0,1
118	157,2	0,1	156,1	0,0	155,3	0,1
119	157,2	0,1	156,1	0,0	155,3	0,1

Elaboración: Toapanta & Tualombo

Tabla A3.7 Prueba de trazadores-Conductividad Floculador IV

t (min)	Piscina 1		Piscina 2		Piscina 3	
	C ($\mu\text{S/cm}$)	C-Co	C ($\mu\text{S/cm}$)	C-Co	C ($\mu\text{S/cm}$)	C-Co
0	186,6	0,0	186,6	0,0	186,8	0,0
1	743,0	556,4	192,0	5,4	187,0	0,2
2	619,0	432,4	265,0	78,4	194,0	7,2
3	520,0	333,4	271,0	84,4	196,0	9,2
4	441,0	254,4	279,0	92,4	200,0	13,2
5	387,0	200,4	302,0	115,4	206,0	19,2
6	352,0	165,4	301,0	114,4	214,0	27,2
7	341,0	154,4	305,0	118,4	217,0	30,2
8	307,0	120,4	307,0	120,4	223,0	36,2
9	296,0	109,4	317,0	130,4	229,0	42,2
10	267,0	80,4	310,0	123,4	233,0	46,2
11	252,0	65,4	309,0	122,4	239,0	52,2
12	242,0	55,4	305,0	118,4	248,0	61,2
13	237,0	50,4	299,0	112,4	250,0	63,2
14	231,0	44,4	294,0	107,4	252,0	65,2
15	225,0	38,4	288,0	101,4	255,0	68,2
16	218,0	31,4	282,0	95,4	259,0	72,2
17	213,0	26,4	274,0	87,4	260,0	73,2
18	210,0	23,4	269,0	82,4	264,0	77,2
19	207,0	20,4	263,0	76,4	263,0	76,2
20	204,0	17,4	259,0	72,4	261,0	74,2
21	203,0	16,4	250,0	63,4	262,0	75,2
22	201,0	14,4	255,0	68,4	262,0	75,2
23	199,0	12,4	249,0	62,4	262,0	75,2
24	198,0	11,4	243,0	56,4	261,0	74,2
25	198,0	11,4	239,0	52,4	259,0	72,2
26	196,0	9,4	234,0	47,4	258,0	71,2
27	194,0	7,4	232,0	45,4	257,0	70,2
28	193,0	6,4	230,0	43,4	255,0	68,2
29	193,0	6,4	226,0	39,4	254,0	67,2
30	193,0	6,4	221,0	34,4	251,0	64,2
31	192,0	5,4	221,0	34,4	248,0	61,2
32	191,0	4,4	216,0	29,4	248,0	61,2
33	191,0	4,4	216,0	29,4	246,0	59,2
34	190,0	3,4	213,0	26,4	243,0	56,2
35	190,0	3,4	213,0	26,4	241,0	54,2
36	190,0	3,4	210,0	23,4	239,0	52,2
37	190,0	3,4	206,0	19,4	235,0	48,2
38	190,0	3,4	205,0	18,4	234,0	47,2
39	190,0	3,4	204,0	17,4	231,0	44,2

Tabla A3.7 Prueba de trazadores-Conductividad Floculador IV (Continuación)

t (min)	Piscina 1		Piscina 2		Piscina 3	
	C ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	C-Co	C ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	C-Co	C ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	C-Co
40	189,0	2,4	202,0	15,4	231,0	44,2
41	189,0	2,4	201,0	14,4	230,0	43,2
42	189,0	2,4	199,0	12,4	226,0	39,2
43	188,0	1,4	199,0	12,4	225,0	38,2
44	184,0	-2,6	198,0	11,4	223,0	36,2
45	188,0	1,4	196,0	9,4	220,0	33,2
46	188,0	1,4	195,0	8,4	220,0	33,2
47	188,0	1,4	195,0	8,4	217,0	30,2
48	189,0	2,4	194,0	7,4	216,0	29,2
49	188,0	1,4	194,0	7,4	214,0	27,2
50	188,0	1,4	193,0	6,4	213,0	26,2
51	188,0	1,4	193,0	6,4	212,0	25,2
52	188,0	1,4	193,0	6,4	210,0	23,2
53	188,0	1,4	192,0	5,4	209,0	22,2
54	188,0	1,4	192,0	5,4	208,0	21,2
55	188,0	1,4	192,0	5,4	206,0	19,2
56	188,0	1,4	191,0	4,4	206,0	19,2
57	188,0	1,4	191,0	4,4	206,0	19,2
58	188,0	1,4	190,0	3,4	204,0	17,2
59	188,0	1,4	190,0	3,4	203,0	16,2
60	188,0	1,4	190,0	3,4	202,0	15,2
61	188,0	1,4	190,0	3,4	201,0	14,2
62	188,0	1,4	189,0	2,4	200,0	13,2
63	188,0	1,4	189,0	2,4	200,0	13,2
64	187,7	1,1	189,2	2,6	199,0	12,2
65	187,6	1,0	189,0	2,4	198,4	11,6
66	187,7	1,1	188,8	2,2	197,6	10,8
67	187,6	1,0	188,7	2,1	197,0	10,2
68	187,6	1,0	188,4	1,8	196,8	10,0
69	187,5	0,9	188,6	2,0	195,7	8,9
70	187,7	1,1	188,4	1,8	195,2	8,4
71	187,5	0,9	188,3	1,7	194,3	7,5
72	187,6	1,0	188,2	1,6	193,7	6,9
73	187,8	1,2	188,1	1,5	193,6	6,8
74	187,7	1,1	187,9	1,3	193,2	6,4
75	187,5	0,9	187,9	1,3	192,8	6,0
76	187,9	1,3	187,9	1,3	192,5	5,7
77	187,8	1,2	187,8	1,2	192,1	5,3
78	188,0	1,4	187,8	1,2	191,7	4,9
79	187,8	1,2	187,8	1,2	191,6	4,8

Tabla A3.7 Prueba de trazadores-Conductividad Floculador IV (Continuación)

t (min)	Piscina 1		Piscina 2		Piscina 3	
	C ($\mu\text{S/cm}$)	C-Co	C ($\mu\text{S/cm}$)	C-Co	C ($\mu\text{S/cm}$)	C-Co
80	187,7	1,1	187,7	1,1	191,1	4,3
81	187,6	1,0	187,5	0,9	191,0	4,2
82	188,0	1,4	187,8	1,2	190,7	3,9
83	187,6	1,0	187,6	1,0	190,4	3,6
84	187,6	1,0	187,6	1,0	190,1	3,3
85	187,5	0,9	187,6	1,0	189,7	2,9
86	187,6	1,0	187,6	1,0	189,7	2,9
87	187,7	1,1	187,5	0,9	189,6	2,8
88	187,7	1,1	187,5	0,9	189,5	2,7
89	187,7	1,1	187,5	0,9	189,1	2,3
90	187,6	1,0	187,5	0,9	189,0	2,2
91	187,6	1,0	187,5	0,9	188,9	2,1
92	187,6	1,0	187,5	0,9	188,8	2,0
93	187,6	1,0	187,5	0,9	188,8	2,0
94	187,6	1,0	187,5	0,9	188,8	2,0
95	187,6	1,0	187,5	0,9	188,6	1,8
96	187,6	1,0	187,5	0,9	188,5	1,7
97	187,6	1,0	187,5	0,9	188,4	1,6
98	187,6	1,0	187,5	0,9	188,4	1,6
99	187,6	1,0	187,5	0,9	188,2	1,4
100	187,7	1,1	187,6	1,0	188,3	1,5
101	187,9	1,3	187,6	1,0	188,1	1,3
102	187,9	1,3	187,6	1,0	188,0	1,2
103	187,9	1,3	187,6	1,0	188,0	1,2
104	187,9	1,3	187,6	1,0	187,9	1,1
105	187,9	1,3	187,6	1,0	187,8	1,0
106	187,9	1,3	187,6	1,0	187,8	1,0
107	187,9	1,3	187,6	1,0	187,8	1,0
108	187,9	1,3	187,6	1,0	187,7	0,9
109	187,9	1,3	187,6	1,0	187,7	0,9
110	187,7	1,1	187,7	1,1	187,7	0,9
111	187,7	1,1	187,7	1,1	187,6	0,8
112	187,7	1,1	187,7	1,1	187,6	0,8
113	187,7	1,1	187,7	1,1	187,6	0,8
114	187,7	1,1	187,7	1,1	187,5	0,7
115	187,7	1,1	187,7	1,1	187,5	0,7
116	187,7	1,1	187,7	1,1	187,5	0,7
117	187,7	1,1	187,7	1,1	187,5	0,7
118	187,7	1,1	187,7	1,1	187,5	0,7
119	187,7	1,1	187,7	1,1	187,5	0,7

Elaboración: Toapanta & Tualombo

Tabla A3.8 Prueba de trazadores-Conductividad Sedimentador I

t (min)	C (μS/cm)	C-Co	t (min)	C (μS/cm)	C-Co
22	223,0	35,1	63	230,0	42,1
23	227,0	39,1	64	230,0	42,1
24	229,0	41,1	65	230,0	42,1
25	230,0	42,1	66	229,0	41,1
26	231,0	43,1	67	228,0	40,1
27	234,0	46,1	68	228,0	40,1
28	235,0	47,1	69	228,0	40,1
29	236,0	48,1	70	227,0	39,1
30	237,0	49,1	71	225,0	37,1
31	238,0	50,1	72	225,0	37,1
32	238,0	50,1	73	224,0	36,1
33	239,0	51,1	74	224,0	36,1
34	238,0	50,1	75	223,0	35,1
35	239,0	51,1	76	222,0	34,1
36	239,0	51,1	77	222,0	34,1
37	239,0	51,1	78	222,0	34,1
38	239,0	51,1	79	221,0	33,1
39	239,0	51,1	80	220,0	32,1
40	238,0	50,1	81	220,0	32,1
41	238,0	50,1	82	219,0	31,1
42	238,0	50,1	83	219,0	31,1
43	238,0	50,1	84	219,0	31,1
44	237,0	49,1	85	218,0	30,1
45	237,0	49,1	86	217,0	29,1
46	237,0	49,1	87	216,0	28,1
47	237,0	49,1	88	215,0	27,1
48	237,0	49,1	89	215,0	27,1
49	236,0	48,1	90	215,0	27,1
50	236,0	48,1	91	215,0	27,1
51	236,0	48,1	92	214,0	26,1
52	235,0	47,1	93	213,0	25,1
53	234,0	46,1	94	213,0	25,1
54	234,0	46,1	95	211,0	23,1
55	234,0	46,1	96	211,0	23,1
56	233,0	45,1	97	210,0	22,1
57	233,0	45,1	98	210,0	22,1
58	232,0	44,1	99	210,0	22,1
59	232,0	44,1	100	209,0	21,1
60	231,0	43,1	101	209,0	21,1
61	231,0	43,1	102	208,0	20,1
62	231,0	43,1	103	208,0	20,1

Tabla A3.8 Prueba de trazadores-Conductividad Sedimentador I (Continuación)

t (min)	C ($\mu\text{S/cm}$)	C-Co	t (min)	C ($\mu\text{S/cm}$)	C-Co
104	207,0	19,1	145	196,2	8,3
105	207,0	19,1	146	196,3	8,4
106	207,0	19,1	147	196,1	8,2
107	206,0	18,1	148	196,1	8,2
108	206,0	18,1	149	195,7	7,8
109	205,0	17,1	150	195,8	7,9
110	205,0	17,1	151	195,1	7,2
111	205,0	17,1	152	195,1	7,2
112	204,0	16,1	153	195,4	7,5
113	204,0	16,1	154	195,1	7,2
114	204,0	16,1	155	195,1	7,2
115	204,0	16,1	156	195,0	7,1
116	203,0	15,1	157	194,6	6,7
117	203,0	15,1	158	194,9	7,0
118	202,0	14,1	159	194,3	6,4
119	202,0	14,1	160	194,2	6,3
120	202,0	14,1	161	194,2	6,3
121	202,0	14,1	162	194,2	6,3
122	201,0	13,1	163	194,0	6,1
123	201,0	13,1	164	193,9	6,0
124	201,0	13,1	165	194,0	6,1
125	201,0	13,1	166	193,7	5,8
126	200,0	12,1	167	193,7	5,8
127	200,0	12,1	168	193,3	5,4
128	200,0	12,1	169	193,4	5,5
129	199,0	11,1	170	193,2	5,3
130	199,0	11,1	171	193,3	5,4
131	199,0	11,1	172	193,0	5,1
132	199,0	11,1	173	192,9	5,0
133	199,0	11,1	174	193,0	5,1
134	199,0	11,1	175	192,8	4,9
135	198,0	10,1	176	192,8	4,9
136	198,0	10,1	177	192,8	4,9
137	198,0	10,1	178	192,6	4,7
138	197,9	10,0	179	192,5	4,6
139	197,6	9,7	180	192,4	4,5
140	197,3	9,4	181	192,4	4,5
141	196,6	8,7	182	192,7	4,8
142	196,9	9,0	183	192,4	4,5
143	196,6	8,7	184	192,5	4,6
144	196,3	8,4	185	192,3	4,4

Tabla A3.8 Prueba de trazadores-Conductividad Sedimentador I (Continuación)

t (min)	C (μS/cm)	C-Co	t (min)	C (μS/cm)	C-Co
186	192,2	4,3	226	190,0	2,1
187	192,3	4,4	227	189,9	2,0
188	192,1	4,2	228	189,9	2,0
189	192,1	4,2	229	189,9	2,0
190	192,0	4,1	230	189,9	2,0
191	191,9	4,0	231	189,9	2,0
192	192,0	4,1	232	189,9	2,0
193	191,9	4,0	233	189,9	2,0
194	191,7	3,8	234	189,8	1,9
195	191,7	3,8	235	189,8	1,9
196	191,7	3,8	236	189,8	1,9
197	191,7	3,8	237	189,7	1,8
198	191,7	3,8	238	189,7	1,8
199	191,2	3,3	239	189,7	1,8
200	191,0	3,1	240	189,7	1,8
201	190,9	3,0	241	189,6	1,7
202	190,9	3,0	242	189,7	1,8
203	190,7	2,8	243	189,6	1,7
204	190,6	2,7	244	189,7	1,8
205	190,5	2,6	245	189,6	1,7
206	190,5	2,6	246	189,6	1,7
207	190,4	2,5	247	189,6	1,7
208	190,4	2,5	248	189,5	1,6
209	190,4	2,5	249	189,5	1,6
210	190,5	2,6	250	189,5	1,6
211	190,3	2,4	251	189,5	1,6
212	190,4	2,5	252	189,5	1,6
213	190,3	2,4	253	189,4	1,5
214	190,3	2,4	254	189,4	1,5
215	190,1	2,2	255	189,4	1,5
216	190,2	2,3	256	189,4	1,5
217	190,2	2,3	257	189,4	1,5
218	190,1	2,2	258	189,4	1,5
219	189,9	2,0	259	189,4	1,5
220	190,1	2,2	260	189,3	1,4
221	190,0	2,1	261	189,2	1,3
222	190,0	2,1	262	189,3	1,4
223	190,0	2,1	263	189,3	1,4
224	190,0	2,1	264	189,2	1,3
225	190,0	2,1	265	189,2	1,3

Tabla A3.8 Prueba de trazadores-Conductividad Sedimentador I (Continuación)

t (min)	C (μS/cm)	C-Co
266	189,2	1,3
267	189,1	1,2
268	189,1	1,2
269	189,1	1,2
270	189,0	1,1
271	189,0	1,1
272	189,0	1,1
273	189,0	1,1
274	188,9	1,0
275	188,9	1,0
276	188,9	1,0
277	188,9	1,0

Elaboración: Toapanta & Tualombo

Tabla A3.9 Prueba de trazadores-Conductividad Sedimentador II

t (min)	C (μS/cm)	C-Co	t (min)	C (μS/cm)	C-Co
0	188,4	0,0	23	228,0	39,6
1	188,4	0,0	24	236,0	47,6
2	188,5	0,1	25	243,0	54,6
3	188,5	0,1	26	248,0	59,6
4	188,5	0,1	27	253,0	64,6
5	188,5	0,1	28	257,0	68,6
6	188,5	0,1	29	260,0	71,6
7	188,6	0,2	30	262,0	73,6
8	188,9	0,5	31	263,0	74,6
9	189,3	0,9	32	264,0	75,6
10	189,8	1,4	33	263,0	74,6
11	190,3	1,9	34	262,0	73,6
12	191,7	3,3	35	261,0	72,6
13	192,9	4,5	36	261,0	72,6
14	194,9	6,5	37	260,0	71,6
15	195,9	7,5	38	259,0	70,6
16	196,8	8,4	39	258,0	69,6
17	198,9	10,5	40	256,0	67,6
18	199,8	11,4	41	255,0	66,6
19	203,0	14,6	42	254,0	65,6
20	206,0	17,6	43	253,0	64,6
21	211,0	22,6	44	251,0	62,6
22	219,0	30,6	45	250,0	61,6

Tabla A3.9 Prueba de trazadores-Conductividad Sedimentador II (Continuación)

t (min)	C (μS/cm)	C-Co	t (min)	C (μS/cm)	C-Co
46	248,0	59,6	87	208,0	19,6
47	247,0	58,6	88	207,0	18,6
48	246,0	57,6	89	207,0	18,6
49	245,0	56,6	90	207,0	18,6
50	244,0	55,6	91	206,0	17,6
51	242,0	53,6	92	206,0	17,6
52	241,0	52,6	93	205,0	16,6
53	239,0	50,6	94	206,0	17,6
54	239,0	50,6	95	206,0	17,6
55	238,0	49,6	96	206,0	17,6
56	236,0	47,6	97	203,0	14,6
57	235,0	46,6	98	204,0	15,6
58	232,0	43,6	99	203,0	14,6
59	232,0	43,6	100	203,0	14,6
60	232,0	43,6	101	203,0	14,6
61	231,0	42,6	102	202,0	13,6
62	231,0	42,6	103	201,0	12,6
63	229,0	40,6	104	201,0	12,6
64	227,0	38,6	105	202,0	13,6
65	225,0	36,6	106	201,0	12,6
66	224,0	35,6	107	201,0	12,6
67	222,0	33,6	108	201,0	12,6
68	221,0	32,6	109	201,0	12,6
69	221,0	32,6	110	201,0	12,6
70	220,0	31,6	111	200,0	11,6
71	218,0	29,6	112	200,0	11,6
72	218,0	29,6	113	200,0	11,6
73	218,0	29,6	114	200,0	11,6
74	219,0	30,6	115	200,0	11,6
75	218,0	29,6	116	199,0	10,6
76	218,0	29,6	117	199,0	10,6
77	215,0	26,6	118	198,0	9,6
78	215,0	26,6	119	198,1	9,7
79	213,0	24,6	120	198,3	9,9
80	213,0	24,6	121	197,6	9,2
81	210,0	21,6	122	197,3	8,9
82	211,0	22,6	123	197,5	9,1
83	209,0	20,6	124	197,7	9,3
84	210,0	21,6	125	196,9	8,5
85	209,0	20,6	126	196,3	7,9
86	208,0	19,6	127	196,2	7,8

Tabla A3.9 Prueba de trazadores-Conductividad Sedimentador II (Continuación)

t (min)	C (μS/cm)	C-Co	t (min)	C (μS/cm)	C-Co
128	196,7	8,3	169	191,3	2,9
129	196,3	7,9	170	191,2	2,8
130	195,8	7,4	171	190,9	2,5
131	195,8	7,4	172	191,1	2,7
132	195,7	7,3	173	191,0	2,6
133	195,5	7,1	174	191,1	2,7
134	195,9	7,5	175	191,1	2,7
135	195,7	7,3	176	190,9	2,5
136	194,6	6,2	177	190,9	2,5
137	194,9	6,5	178	190,6	2,2
138	194,3	5,9	179	190,7	2,3
139	194,4	6,0	180	190,4	2,0
140	193,8	5,4	181	190,7	2,3
141	194,8	6,4	182	190,4	2,0
142	194,3	5,9	183	190,3	1,9
143	194,1	5,7	184	190,1	1,7
144	194,1	5,7	185	190,7	2,3
145	194,0	5,6	186	190,3	1,9
146	193,8	5,4	187	190,5	2,1
147	193,6	5,2	188	190,1	1,7
148	193,3	4,9	189	190,1	1,7
149	193,5	5,1	190	190,3	1,9
150	193,0	4,6	191	190,4	2,0
151	193,0	4,6	192	190,4	2,0
152	192,7	4,3	193	189,9	1,5
153	192,7	4,3	194	190,0	1,6
154	192,7	4,3	195	189,9	1,5
155	192,6	4,2	196	189,8	1,4
156	192,5	4,1	197	190,0	1,6
157	192,5	4,1	198	189,9	1,5
158	192,5	4,1	199	189,6	1,2
159	192,5	4,1	200	189,8	1,4
160	192,3	3,9	201	189,7	1,3
161	192,0	3,6	202	190,2	1,8
162	192,0	3,6	203	189,6	1,2
163	192,3	3,9	204	189,6	1,2
164	191,9	3,5	205	189,7	1,3
165	191,8	3,4	206	189,5	1,1
166	191,5	3,1	207	189,6	1,2
167	191,4	3,0	208	189,7	1,3
168	191,4	3,0	209	189,6	1,2

Tabla A3.9 Prueba de trazadores-Conductividad Sedimentador II (Continuación)

t (min)	C (μS/cm)	C-Co	t (min)	C (μS/cm)	C-Co
210	189,5	1,1	251	189,0	0,6
211	189,5	1,1	252	189,0	0,6
212	189,5	1,1	253	189,0	0,6
213	189,4	1,0	254	188,9	0,5
214	189,6	1,2	255	188,9	0,5
215	189,6	1,2	256	189,0	0,6
216	189,5	1,1	257	188,9	0,5
217	189,7	1,3	258	188,8	0,4
218	189,7	1,3	259	188,8	0,4
219	189,7	1,3	260	188,8	0,4
220	189,8	1,4	261	188,8	0,4
221	189,5	1,1	262	188,7	0,3
222	189,5	1,1	263	188,8	0,4
223	189,6	1,2	264	188,8	0,4
224	189,5	1,1	265	188,7	0,3
225	189,3	0,9	266	188,7	0,3
226	189,4	1,0	267	188,6	0,2
227	189,4	1,0	268	188,7	0,3
228	189,5	1,1	269	188,6	0,2
229	189,5	1,1	270	188,6	0,2
230	189,3	0,9	271	188,6	0,2
231	189,4	1,0	272	188,5	0,1
232	189,4	1,0	273	188,5	0,1
233	189,4	1,0	274	188,6	0,2
234	189,4	1,0	275	188,5	0,1
235	189,3	0,9	276	188,4	0,0
236	189,3	0,9	277	188,5	0,1
237	189,4	1,0	278	188,4	0,0
238	189,3	0,9	279	188,4	0,0
239	189,3	0,9	280	188,4	0,0
240	189,3	0,9			
241	189,3	0,9			
242	189,3	0,9			
243	189,3	0,9			
244	189,2	0,8			
245	189,2	0,8			
246	189,2	0,8			
247	189,2	0,8			
248	189,1	0,7			
249	189,1	0,7			
250	189,0	0,6			

Tabla A3.10 Prueba de trazadores-Conductividad Sedimentador III

t (min)	C (μS/cm)	C-Co	t (min)	C (μS/cm)	C-Co
0	186,2	0,0	41	254,0	67,8
1	186,2	0,0	42	253,0	66,8
2	186,2	0,0	43	251,0	64,8
3	186,3	0,1	44	250,0	63,8
4	186,3	0,1	45	248,0	61,8
5	186,3	0,1	46	246,0	59,8
6	186,3	0,1	47	245,0	58,8
7	186,3	0,1	48	243,0	56,8
8	186,4	0,2	49	241,0	54,8
9	186,6	0,4	50	240,0	53,8
10	187,2	1,0	51	240,0	53,8
11	187,9	1,7	52	238,0	51,8
12	189,0	2,8	53	237,0	50,8
13	189,8	3,6	54	237,0	50,8
14	190,0	3,8	55	235,0	48,8
15	191,1	4,9	56	234,0	47,8
16	192,2	6,0	57	233,0	46,8
17	193,0	6,8	58	232,0	45,8
18	194,9	8,7	59	230,0	43,8
19	196,1	9,9	60	229,0	42,8
20	199,4	13,2	61	229,0	42,8
21	204,0	17,8	62	228,0	41,8
22	210,0	23,8	63	227,0	40,8
23	218,0	31,8	64	227,0	40,8
24	224,0	37,8	65	225,0	38,8
25	235,0	48,8	66	224,0	37,8
26	241,0	54,8	67	224,0	37,8
27	246,0	59,8	68	223,0	36,8
28	254,0	67,8	69	222,0	35,8
29	258,0	71,8	70	221,0	34,8
30	259,0	72,8	71	219,0	32,8
31	262,0	75,8	72	219,0	32,8
32	261,0	74,8	73	218,0	31,8
33	260,0	73,8	74	218,0	31,8
34	261,0	74,8	75	215,0	28,8
35	261,0	74,8	76	216,0	29,8
36	260,0	73,8	77	215,0	28,8
37	258,0	71,8	78	215,0	28,8
38	257,0	70,8	79	214,0	27,8
39	256,0	69,8	80	213,0	26,8
40	255,0	68,8	81	212,0	25,8

Tabla A3.10 Prueba de trazadores-Conductividad Sedimentador III (Continuación)

t (min)	C (μS/cm)	C-Co	t (min)	C (μS/cm)	C-Co
82	212,0	25,8	123	196,2	10,0
83	211,0	24,8	124	195,8	9,6
84	211,0	24,8	125	195,7	9,5
85	210,0	23,8	126	195,4	9,2
86	210,0	23,8	127	195,0	8,8
87	209,0	22,8	128	195,4	9,2
88	208,0	21,8	129	195,0	8,8
89	206,0	19,8	130	194,9	8,7
90	207,0	20,8	131	194,5	8,3
91	206,0	19,8	132	194,4	8,2
92	206,0	19,8	133	194,3	8,1
93	205,0	18,8	134	194,1	7,9
94	205,0	18,8	135	193,6	7,4
95	205,0	18,8	136	193,4	7,2
96	203,0	16,8	137	193,2	7,0
97	204,0	17,8	138	193,9	7,7
98	204,0	17,8	139	193,1	6,9
99	203,0	16,8	140	192,9	6,7
100	202,0	15,8	141	192,7	6,5
101	203,0	16,8	142	192,9	6,7
102	201,0	14,8	143	192,4	6,2
103	201,0	14,8	144	192,7	6,5
104	202,0	15,8	145	192,8	6,6
105	201,0	14,8	146	192,5	6,3
106	202,0	15,8	147	192,1	5,9
107	201,0	14,8	148	191,9	5,7
108	200,0	13,8	149	191,6	5,4
109	199,0	12,8	150	191,7	5,5
110	199,0	12,8	151	191,6	5,4
111	199,0	12,8	152	191,7	5,5
112	199,0	12,8	153	191,4	5,2
113	198,0	11,8	154	191,6	5,4
114	198,0	11,8	155	191,7	5,5
115	198,2	12,0	156	191,4	5,2
116	197,6	11,4	157	191,4	5,2
117	197,4	11,2	158	191,1	4,9
118	197,1	10,9	159	191,3	5,1
119	197,2	11,0	160	191,2	5,0
120	196,4	10,2	161	191,0	4,8
121	196,5	10,3	162	191,3	5,1
122	196,5	10,3	163	191,0	4,8

Tabla A3.10 Prueba de trazadores-Conductividad Sedimentador III (Continuación)

t (min)	C (μS/cm)	C-Co	t (min)	C (μS/cm)	C-Co
164	190,6	4,4	205	188,4	2,2
165	191,0	4,8	206	188,4	2,2
166	190,7	4,5	207	188,4	2,2
167	190,6	4,4	208	188,4	2,2
168	190,5	4,3	209	188,4	2,2
169	190,9	4,7	210	188,4	2,2
170	191,0	4,8	211	188,5	2,3
171	190,4	4,2	212	188,4	2,2
172	190,4	4,2	213	188,4	2,2
173	190,1	3,9	214	188,4	2,2
174	190,2	4,0	215	188,3	2,1
175	190,2	4,0	216	188,3	2,1
176	190,1	3,9	217	188,4	2,2
177	189,9	3,7	218	188,2	2,0
178	189,9	3,7	219	188,2	2,0
179	189,8	3,6	220	188,2	2,0
180	189,9	3,7	221	188,3	2,1
181	189,9	3,7	222	188,2	2,0
182	189,8	3,6	223	188,2	2,0
183	189,8	3,6	224	188,2	2,0
184	189,8	3,6	225	188,2	2,0
185	189,7	3,5	226	188,1	1,9
186	189,7	3,5	227	188,2	2,0
187	189,6	3,4	228	188,2	2,0
188	189,6	3,4	229	188,2	2,0
189	189,7	3,5	230	188,2	2,0
190	189,6	3,4	231	188,0	1,8
191	188,9	2,7	232	188,3	2,1
192	189,3	3,1	233	188,2	2,0
193	188,7	2,5	234	188,2	2,0
194	188,6	2,4	235	188,3	2,1
195	188,7	2,5	236	188,3	2,1
196	188,6	2,4	237	188,4	2,2
197	188,5	2,3	238	188,3	2,1
198	188,5	2,3	239	188,3	2,1
199	188,4	2,2	240	188,3	2,1
200	188,4	2,2			
201	188,4	2,2			
202	188,4	2,2			
203	188,4	2,2			
204	188,4	2,2			

Tabla A3.11 Prueba de trazadores-Conductividad Sedimentador IV

t (min)	C (μS/cm)	C-Co	t (min)	C (μS/cm)	C-Co
0	168,2	0,0	41	236,0	67,8
1	168,2	0,0	42	235,0	66,8
2	168,3	0,1	43	235,0	66,8
3	168,3	0,1	44	234,0	65,8
4	168,3	0,1	45	233,0	64,8
5	168,3	0,1	46	232,0	63,8
6	168,3	0,1	47	232,0	63,8
7	168,3	0,1	48	229,0	60,8
8	168,4	0,2	49	227,0	58,8
9	168,7	0,5	50	227,0	58,8
10	169,0	0,8	51	225,0	56,8
11	169,4	1,2	52	224,0	55,8
12	169,8	1,6	53	224,0	55,8
13	170,6	2,4	54	221,0	52,8
14	171,6	3,4	55	218,0	49,8
15	172,8	4,6	56	216,0	47,8
16	174,0	5,8	57	218,0	49,8
17	176,2	8,0	58	216,0	47,8
18	177,5	9,3	59	214,0	45,8
19	179,5	11,3	60	212,0	43,8
20	182,3	14,1	61	208,0	39,8
21	187,7	19,5	62	208,0	39,8
22	189,5	21,3	63	207,0	38,8
23	195,8	27,6	64	206,0	37,8
24	203,0	34,8	65	206,0	37,8
25	210,0	41,8	66	204,0	35,8
26	218,0	49,8	67	202,0	33,8
27	224,0	55,8	68	202,0	33,8
28	229,0	60,8	69	201,0	32,8
29	231,0	62,8	70	199,0	30,8
30	236,0	67,8	71	199,0	30,8
31	239,0	70,8	72	198,0	29,8
32	241,0	72,8	73	198,0	29,8
33	242,0	73,8	74	197,0	28,8
34	243,0	74,8	75	195,8	27,6
35	241,0	72,8	76	195,6	27,4
36	241,0	72,8	77	195,2	27,0
37	241,0	72,8	78	194,3	26,1
38	240,0	71,8	79	193,9	25,7
39	240,0	71,8	80	192,9	24,7
40	239,0	70,8	81	192,0	23,8

Tabla A3.11 Prueba de trazadores-Conductividad Sedimentador IV (Continuación)

t (min)	C (μS/cm)	C-Co	t (min)	C (μS/cm)	C-Co
82	191,8	23,6	123	178,3	10,1
83	190,8	22,6	124	178,0	9,8
84	190,4	22,2	125	177,8	9,6
85	189,7	21,5	126	177,7	9,5
86	189,5	21,3	127	177,5	9,3
87	188,8	20,6	128	177,4	9,2
88	187,3	19,1	129	177,2	9,0
89	186,9	18,7	130	177,1	8,9
90	186,4	18,2	131	177,0	8,8
91	186,5	18,3	132	176,9	8,7
92	186,0	17,8	133	176,9	8,7
93	185,7	17,5	134	176,7	8,5
94	185,0	16,8	135	176,6	8,4
95	184,9	16,7	136	176,5	8,3
96	184,5	16,3	137	176,8	8,6
97	183,9	15,7	138	176,4	8,2
98	183,6	15,4	139	176,2	8,0
99	183,6	15,4	140	176,0	7,8
100	183,2	15,0	141	175,9	7,7
101	182,9	14,7	142	175,7	7,5
102	182,7	14,5	143	175,6	7,4
103	182,4	14,2	144	175,5	7,3
104	182,1	13,9	145	175,5	7,3
105	181,9	13,7	146	175,7	7,5
106	181,5	13,3	147	175,3	7,1
107	181,6	13,4	148	175,4	7,2
108	181,1	12,9	149	175,3	7,1
109	180,4	12,2	150	175,4	7,2
110	180,4	12,2	151	175,3	7,1
111	180,5	12,3	152	175,0	6,8
112	180,3	12,1	153	175,0	6,8
113	180,3	12,1	154	175,0	6,8
114	180,1	11,9	155	175,3	7,1
115	179,9	11,7	156	174,9	6,7
116	179,3	11,1	157	174,6	6,4
117	179,6	11,4	158	174,5	6,3
118	179,2	11,0	159	174,5	6,3
119	178,8	10,6	160	174,4	6,2
120	178,3	10,1	161	174,4	6,2
121	178,3	10,1	162	174,4	6,2
122	178,2	10,0	163	174,1	5,9

Tabla A3.11 Prueba de trazadores-Conductividad Sedimentador IV (Continuación)

t (min)	C (μS/cm)	C-Co	t (min)	C (μS/cm)	C-Co
164	174,3	6,1	205	172,6	4,4
165	174,3	6,1	206	172,5	4,3
166	174,1	5,9	207	172,5	4,3
167	174,2	6,0	208	172,4	4,2
168	174,1	5,9	209	172,5	4,3
169	174,0	5,8	210	172,4	4,2
170	174,0	5,8	211	172,4	4,2
171	173,8	5,6	212	172,4	4,2
172	174,0	5,8	213	172,4	4,2
173	174,0	5,8	214	172,4	4,2
174	173,8	5,6	215	172,3	4,1
175	173,8	5,6	216	172,4	4,2
176	173,8	5,6	217	172,3	4,1
177	173,8	5,6	218	172,3	4,1
178	173,9	5,7	219	172,3	4,1
179	173,7	5,5	220	172,1	3,9
180	173,6	5,4	221	172,1	3,9
181	173,6	5,4	222	172,2	4,0
182	173,7	5,5	223	172,1	3,9
183	173,8	5,6	224	172,0	3,8
184	173,7	5,5	225	172,0	3,8
185	173,7	5,5	226	172,0	3,8
186	173,7	5,5	227	172,0	3,8
187	173,7	5,5	228	172,0	3,8
188	173,7	5,5	229	171,9	3,7
189	173,7	5,5	230	171,9	3,7
190	173,6	5,4	231	171,9	3,7
191	173,6	5,4	232	172,0	3,8
192	173,6	5,4	233	171,9	3,7
193	173,5	5,3	234	171,9	3,7
194	173,6	5,4	235	171,8	3,6
195	173,6	5,4	236	171,8	3,6
196	173,6	5,4	237	171,8	3,6
197	173,6	5,4	238	171,9	3,7
198	173,5	5,3	239	171,8	3,6
199	173,6	5,4	240	171,6	3,4
200	173,5	5,3	241	171,6	3,4
201	173,5	5,3	242	171,6	3,4
202	173,5	5,3	243	171,6	3,4
203	173,1	4,9	244	171,6	3,4
204	172,9	4,7	245	171,5	3,3

Tabla A3.11 Prueba de trazadores-Conductividad Sedimentador IV (Continuación)

t (min)	C (μS/cm)	C-Co	t (min)	C (μS/cm)	C-Co
246	171,6	3,4	286	170,3	2,1
247	171,5	3,3	287	170,3	2,1
248	171,5	3,3	288	170,2	2,0
249	171,4	3,2	289	170,2	2,0
250	171,5	3,3	290	170,2	2,0
251	171,4	3,2	291	170,2	2,0
252	171,4	3,2	292	170,2	2,0
253	171,4	3,2	293	170,2	2,0
254	171,4	3,2	294	170,2	2,0
255	171,3	3,1	295	170,2	2,0
256	171,4	3,2	296	170,2	2,0
257	171,4	3,2	297	170,2	2,0
258	171,3	3,1	298	170,2	2,0
259	171,3	3,1	299	170,2	2,0
260	171,3	3,1	300	170,2	2,0
261	171,2	3,0			
262	171,2	3,0			
263	171,2	3,0			
264	171,2	3,0			
265	171,2	3,0			
266	171,2	3,0			
267	171,2	3,0			
268	171,2	3,0			
269	170,5	2,3			
270	170,5	2,3			
271	170,4	2,2			
272	170,4	2,2			
273	170,4	2,2			
274	170,4	2,2			
275	170,4	2,2			
276	170,4	2,2			
277	170,4	2,2			
278	170,4	2,2			
279	170,4	2,2			
280	170,4	2,2			
281	170,4	2,2			
282	170,4	2,2			
283	170,3	2,1			
284	170,3	2,1			
285	170,3	2,1			

Elaboración: Toapanta & Tualombo

ANEXO 3.2 Determinación de gradientes de velocidad reales

Tabla A3.12 Velocidades de flujo-Zona de distribución de caudales

Canales de ingreso						
Sitio de muestreo	Revoluciones	tiempo (Seg)	Counts	Velocidad (counts/seg)	Velocidad (cm/s)	Velocidad (m/s)
Ingreso unidad 1	4993	60	49930	832,17	2240	22,4
Ingreso unidad 2	4399	60	43990	733,17	1880	18,8
Ingreso unidad 3	4561	60	45610	760,17	2000	20
Ingreso unidad 4	4464	60	44640	744,00	1960	19,6

Elaboración: Toapanta & Tualombo

Tabla A3.13 Velocidades de flujo-Floculadores

Unidad 1 (Piscina 1)						
Sitio de muestreo	Revoluciones	tiempo (Seg)	Counts	Velocidad (counts/seg)	Velocidad (cm/s)	velocidad (m/s)
Norte	473	60	4730	78,83	175	1,75
centro	74	60	740	12,33	37	0,37
Sur	406	60	4060	67,67	159	1,59
Promedio						1,237
Unidad 1 (Piscina 2)						
Sitio de muestreo	Revoluciones	tiempo (Seg)	Counts	Velocidad (counts/seg)	Velocidad (cm/s)	velocidad (m/s)
Norte	152	60	1520	25,33	68	0,68
centro	94	60	940	15,67	40	0,4
Sur	177	60	1770	29,50	80	0,8
Promedio						0,627
Unidad 1 (Piscina 3)						
Sitio de muestreo	Revoluciones	tiempo (Seg)	Counts	Velocidad (counts/seg)	Velocidad (cm/s)	velocidad (m/s)
Norte	131	60	1310	21,83	60	0,6
centro	69	60	690	11,50	32	0,32
Sur	95	60	950	15,83	41	0,41
Promedio						0,443
Unidad 2 (Piscina 1)						
Sitio de muestreo	Revoluciones	tiempo (Seg)	Counts	Velocidad (counts/seg)	Velocidad (cm/s)	velocidad (m/s)
Norte	603	60	6030	100,50	270	2,7
centro	177	60	1770	29,50	80	0,8
Sur	382	60	3820	63,67	160	1,6
Promedio						1,700

Tabla A3.13 Velocidades de flujo-Floculadores (Continuación)

Unidad 2 (Piscina 2)						
Sitio de muestreo	Revoluciones	tiempo (Seg)	Counts	Velocidad (counts/seg)	Velocidad (cm/s)	velocidad (m/s)
Norte	194	60	1940	32,33	81	0,81
centro	282	60	2820	47,00	135	1,35
Sur	180	60	1800	30,00	80	0,8
Promedio						0,987
Unidad 2 (Piscina 3)						
Sitio de muestreo	Revoluciones	tiempo (Seg)	Counts	Velocidad (counts/seg)	Velocidad (cm/s)	velocidad (m/s)
Norte	296	60	2960	49,33	135	1,35
centro	75	60	750	12,50	38	0,38
Sur	250	60	2500	41,67	110	1,1
Promedio						0,943
Unidad 3 (Piscina 1)						
Sitio de muestreo	Revoluciones	tiempo (Seg)	Counts	Velocidad (counts/seg)	Velocidad (cm/s)	velocidad (m/s)
Norte	427	60	4270	71,17	187	1,87
centro	454	60	4540	75,67	200	2
Sur	562	60	5620	93,67	245	2,45
Promedio						2,107
Unidad 3 (Piscina 2)						
Sitio de muestreo	Revoluciones	tiempo (Seg)	Counts	Velocidad (counts/seg)	Velocidad (cm/s)	velocidad (m/s)
Norte	154	60	1540	25,67	68	0,68
centro	123	60	1230	20,50	56	0,56
Sur	240	60	2400	40,00	110	1,1
Promedio						0,780
Unidad 3 (Piscina 3)						
Sitio de muestreo	Revoluciones	tiempo (Seg)	Counts	Velocidad (counts/seg)	Velocidad (cm/s)	velocidad (m/s)
Norte	382	60	3820	63,67	160	1,6
centro	119	60	1190	19,83	56	0,56
Sur	246	60	2460	41,00	110	1,1
Promedio						1,087
Unidad 4 (Piscina 1)						
Sitio de muestreo	Revoluciones	tiempo (Seg)	Counts	Velocidad (counts/seg)	Velocidad (cm/s)	velocidad (m/s)
Norte	502	60	5020	83,67	220	2,2
centro	338	60	3380	56,33	150	1,5
Sur	310	60	3100	51,67	138	1,38
Promedio						1,693

Tabla A3.13 Velocidades de flujo-Floculadores (Continuación)

Unidad 4 (Piscina 2)						
Sitio de muestreo	Revoluciones	tiempo (Seg)	Counts	Velocidad (counts/seg)	Velocidad (cm/s)	velocidad (m/s)
Norte	158	60	1580	26,33	69	0,69
centro	131	60	1310	21,83	56	0,56
Sur	145	60	1450	24,17	68	0,68
Promedio						0,643
Unidad 4 (Piscina 3)						
Sitio de muestreo	Revoluciones	tiempo (Seg)	Counts	Velocidad (counts/seg)	Velocidad (cm/s)	velocidad (m/s)
Norte	216	60	2160	36,00	98	0,98
centro	92	60	920	15,33	40	0,4
Sur	289	60	2890	48,17	130	1,3
Promedio						0,893

Elaboración: Toapanta & Tualombo

Una vez determinadas las velocidades del sistema, se procedió a calcular la pérdida de carga en floculadores, a través de la ecuación establecida para flujo mezclado:

$$hv = \frac{v^2}{2g}$$

Donde:

hv= Pérdida de carga del sistema

v= Velocidad media del flujo (m/s)

g= Aceleración de la gravedad (9.81 m/s²)

Obtenida la pérdida de carga, y utilizando los tiempos de retención determinados en las pruebas de trazadores, se calculó el gradiente de velocidad para cada etapa del proceso de floculación mediante la fórmula siguiente:

$$G = \sqrt{\frac{\gamma * hv}{\mu * t}}$$

Donde:

G= Gradiente de velocidad (s⁻¹)

γ= Peso específico del fluido (1000 kg/m³)

μ = Viscosidad dinámica del fluido ($1.245 \times 10^{-4} \text{ kg} \cdot \text{s} / \text{m}^2$)

t= Tiempo de retención (s)

La Tabla A3.6 presenta los gradientes de velocidad calculados y sus equivalentes en RPM obtenidos de los ábacos de transformación para el equipo de prueba de jarras.

Tabla A3.14 Gradientes de velocidad calculados

Unidad	Piscina	tr (min)	tr (seg)	Velocidad (m/s)	hv (m ³)	Gradiente (s ⁻¹)	RPM (vasos cuadrados)	RPM (vasos redondos)
1	1	2	120	1,237	0,07794	72,23	70	110
	2	7	420	0,627	0,02001	19,56	30	42
	3	15	900	0,443	0,01001	9,46	18	25
2	1	2	120	1,700	0,14729	99,29	90	150
	2	7	420	0,987	0,0496	30,80	40	57
	3	16	960	0,943	0,04535	19,48	30	42
3	1	2	120	2,107	0,22620	123,05	100	160
	2	9	540	0,780	0,03100	21,48	31	43
	3	16	960	1,087	0,06018	22,44	31	43
4	1	1	60	1,693	0,14614	139,87	120	170
	2	9	540	0,643	0,02109	17,71	28	37
	3	18	1080	0,893	0,04067	17,39	27	36
Promedios								
Piscinas 1		1,75	105	1,684	0,14456	105,16	92	155
Piscinas 2		8	480	0,759	0,02937	22,17	31	43
Piscinas 3		16,25	975	0,842	0,03610	17,25	27	36

Elaboración: Toapanta & Tualombo

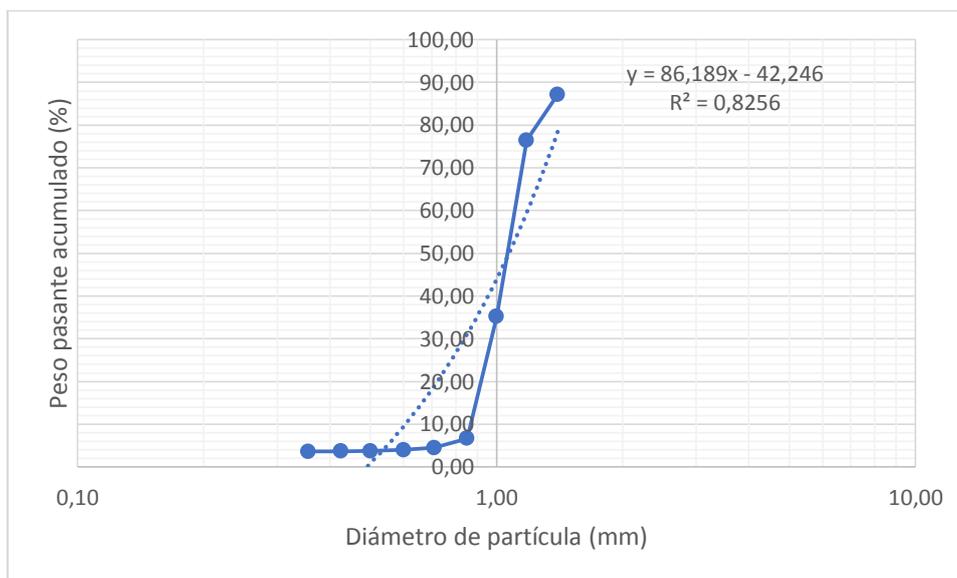
ANEXO 3.3 Granulometría de medios filtrantes

Tabla A3.15 Granulometría Filtro 1-Arena

N° malla	Diámetro (mm)	Peso retenido (g)	Peso acumulado retenido (g)	Peso retenido (%)	Peso acumulado retenido (%)	Peso pasante acumulado (%)
14	1,40	12,90	12,90	12,86	12,86	87,14
16	1,18	10,73	23,63	10,70	23,56	76,44
18	1,00	41,37	65,00	41,25	64,81	35,20
20	0,85	28,64	93,64	28,55	93,36	6,64
25	0,71	2,15	95,79	2,14	95,50	4,50
30	0,60	0,54	96,33	0,54	96,04	3,96
35	0,50	0,26	96,59	0,26	96,30	3,70
40	0,43	0,04	96,63	0,04	96,34	3,66
45	0,36	0,06	96,69	0,06	96,40	3,60
fondo		3,01	99,70	3,00	99,40	0,60

Elaboración: Toapanta & Tualombo

Gráfica A3.1 Granulometría Filtro 1-Arena



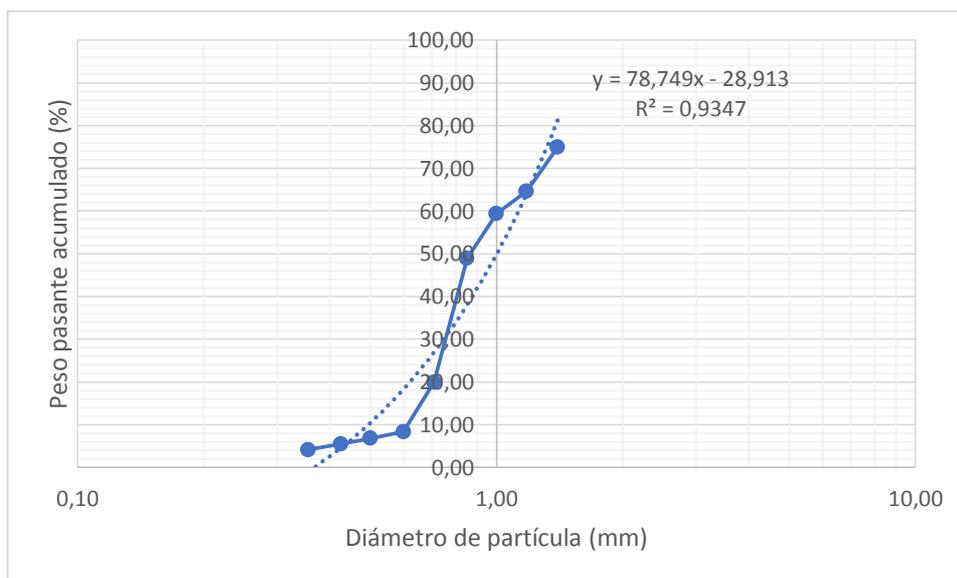
Elaboración: Toapanta & Tualombo

Tabla A3.16 Granulometría Filtro 2-Arena

N° malla	Diámetro (mm)	Peso retenido (g)	Peso acumulado retenido (g)	Peso retenido (%)	Peso acumulado retenido (%)	Peso pasante acumulado (%)
14	1,40	25,11	25,11	25,05	25,05	74,95
16	1,18	10,32	35,43	10,30	35,35	64,65
18	1,00	5,27	40,70	5,26	40,61	59,39
20	0,85	10,46	51,16	10,44	51,05	48,95
25	0,71	29,07	80,23	29,01	80,05	19,95
30	0,60	11,62	91,85	11,59	91,65	8,35
35	0,50	1,57	93,42	1,57	93,21	6,79
40	0,43	1,34	94,76	1,34	94,55	5,45
45	0,36	1,32	96,08	1,32	95,87	4,13
fondo		3,70	99,78	3,69	99,56	0,44

Elaboración: Toapanta & Tualombo

Gráfica A3.2 Granulometría Filtro 2-Arena



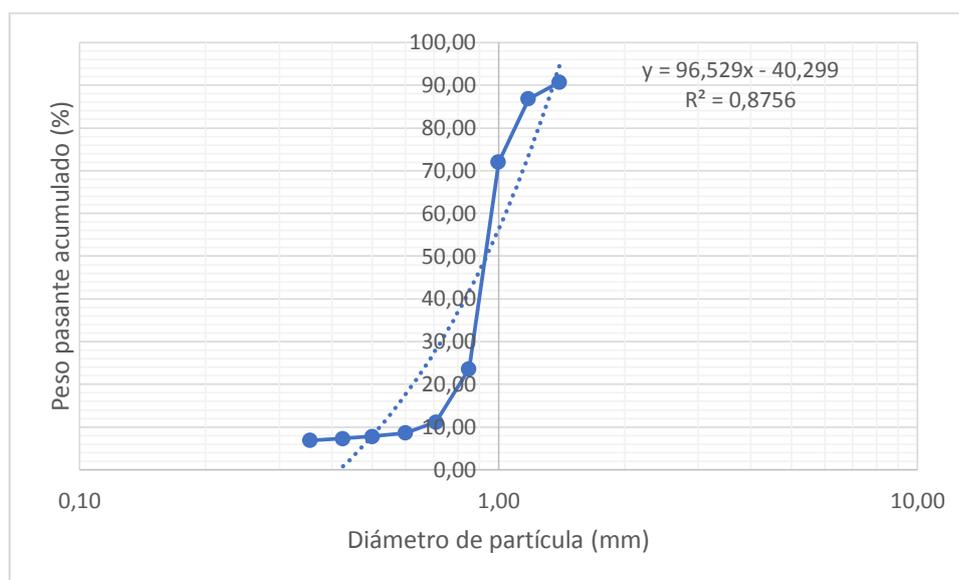
Elaboración: Toapanta & Tualombo

Tabla A3.17 Granulometría Filtro 3-Arena

N° malla	Diámetro (mm)	Peso retenido (g)	Peso acumulado retenido (g)	Peso retenido (%)	Peso acumulado retenido (%)	Peso pasante acumulado (%)
14	1,40	9,29	9,29	9,26	9,26	90,74
16	1,18	3,91	13,20	3,90	13,16	86,84
18	1,00	14,89	28,09	14,85	28,01	71,99
20	0,85	48,49	76,58	48,35	76,36	23,64
25	0,71	12,49	89,07	12,45	88,81	11,19
30	0,60	2,60	91,67	2,59	91,40	8,60
35	0,50	0,82	92,49	0,82	92,22	7,78
40	0,43	0,50	92,99	0,50	92,72	7,28
45	0,36	0,39	93,38	0,39	93,11	6,89
fondo		6,33	99,71	6,31	99,42	0,58

Elaboración: Toapanta & Tualombo

Gráfica A3.3 Granulometría Filtro 3-Arena



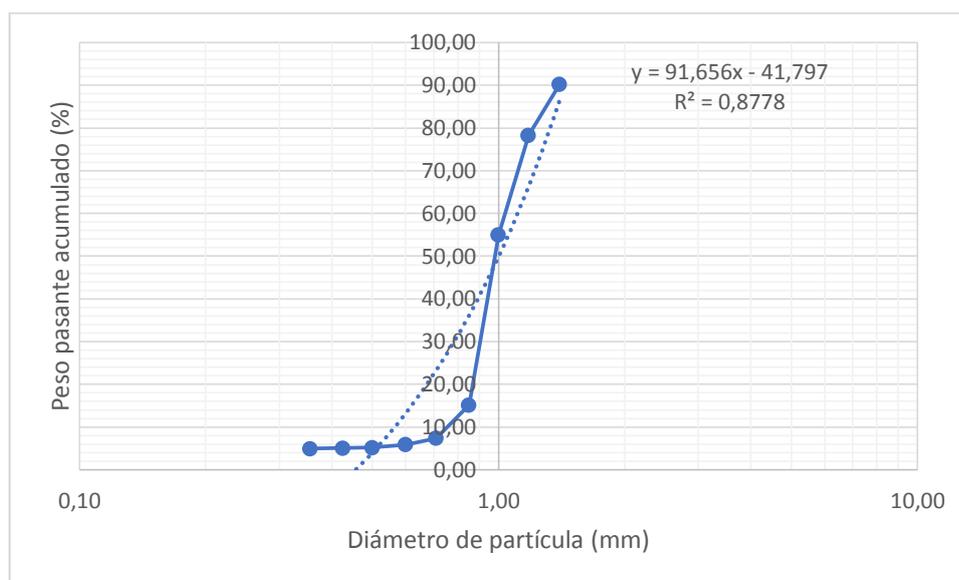
Elaboración: Toapanta & Tualombo

Tabla A3.18 Granulometría Filtro 4-Arena

N° malla	Diámetro (mm)	Peso retenido (g)	Peso acumulado retenido (g)	Peso retenido (%)	Peso acumulado retenido (%)	Peso pasante acumulado (%)
14	1,40	9,73	9,73	9,73	9,73	90,27
16	1,18	11,99	21,72	11,99	21,71	78,29
18	1,00	23,32	45,04	23,31	45,02	54,98
20	0,85	39,82	84,86	39,80	84,83	15,17
25	0,71	7,78	92,64	7,78	92,60	7,40
30	0,60	1,51	94,15	1,51	94,11	5,89
35	0,50	0,68	94,83	0,68	94,79	5,21
40	0,43	0,11	94,94	0,11	94,90	5,10
45	0,36	0,15	95,09	0,15	95,05	4,95
Fondo		4,87	99,96	4,87	99,92	0,08

Elaboración: Toapanta & Tualombo

Gráfica A3.4 Granulometría Filtro 4-Arena



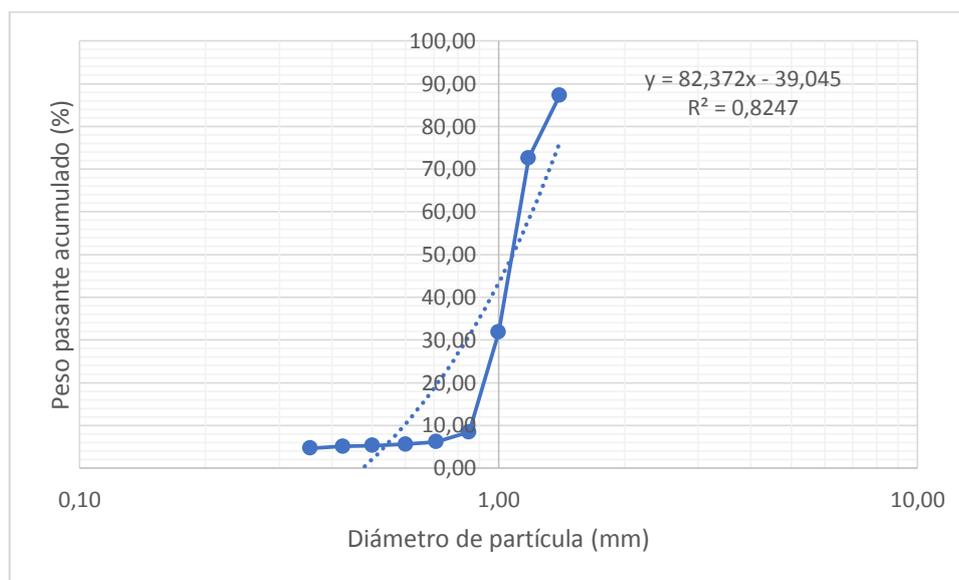
Elaboración: Toapanta & Tualombo

Tabla A3.19 Granulometría Filtro 5-Arena

N° malla	Diámetro (mm)	Peso retenido (g)	Peso acumulado retenido (g)	Peso retenido (%)	Peso acumulado retenido (%)	Peso pasante acumulado (%)
14	1,40	12,77	12,77	12,73	12,73	87,27
16	1,18	14,74	27,51	14,70	27,43	72,57
18	1,00	40,88	68,39	40,76	68,18	31,82
20	0,85	23,45	91,84	23,38	91,56	8,44
25	0,71	2,30	94,14	2,29	93,86	6,14
30	0,60	0,57	94,71	0,57	94,43	5,57
35	0,50	0,28	94,99	0,28	94,71	5,29
40	0,43	0,22	95,21	0,22	94,92	5,08
45	0,36	0,41	95,62	0,41	95,33	4,67
Fondo		4,08	99,70	4,07	99,40	0,60

Elaboración: Toapanta & Tualombo

Gráfica A3.5 Granulometría Filtro 5-Arena

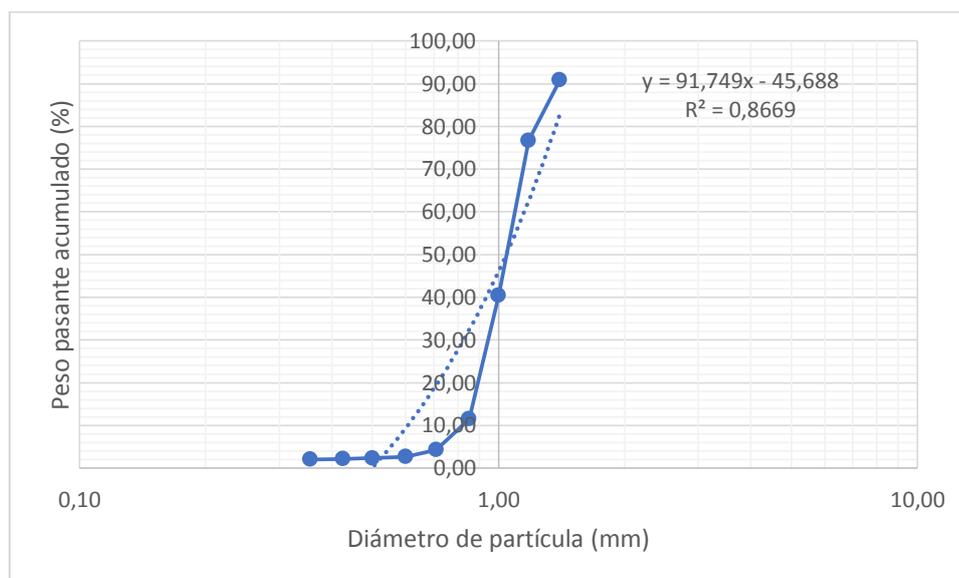


Elaboración: Toapanta & Tualombo

Tabla A3.20 Granulometría Filtro 6-Arena

N° malla	Diámetro (mm)	Peso retenido (g)	Peso acumulado retenido (g)	Peso retenido (%)	Peso acumulado retenido (%)	Peso pasante acumulado (%)
14	1,40	9,20	9,20	9,19	9,19	90,81
16	1,18	14,14	23,34	14,12	23,31	76,69
18	1,00	36,36	59,70	36,31	59,62	40,38
20	0,85	28,93	88,63	28,89	88,51	11,49
25	0,71	7,24	95,87	7,23	95,74	4,26
30	0,60	1,61	97,48	1,61	97,34	2,66
35	0,50	0,32	97,80	0,32	97,66	2,34
40	0,43	0,14	97,94	0,14	97,80	2,20
45	0,36	0,15	98,09	0,15	97,95	2,05
Fondo		1,77	99,86	1,77	99,72	0,28

Elaboración: Toapanta & Tualombo

Gráfica A3.6 Granulometría Filtro 6-Arena

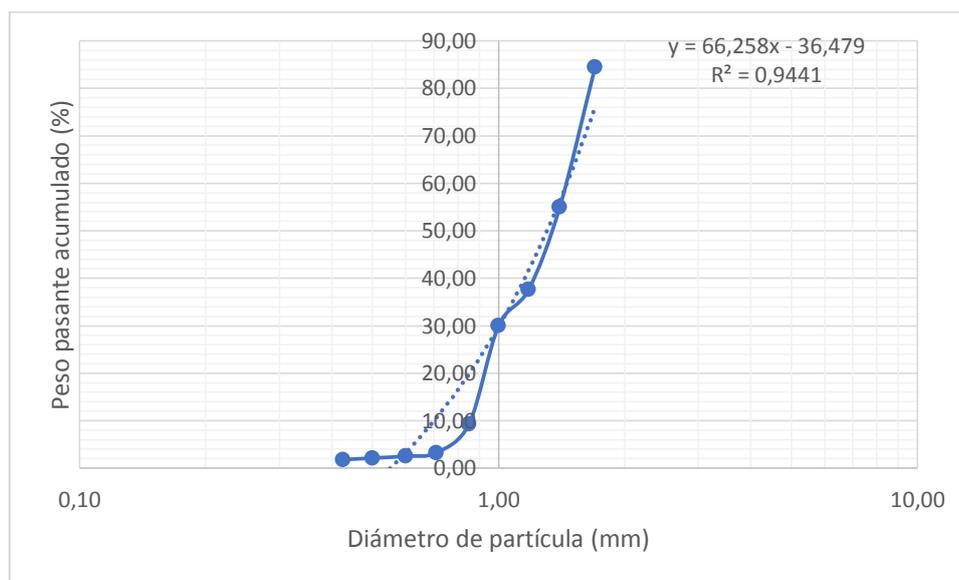
Elaboración: Toapanta & Tualombo

Tabla A3.21 Granulometría Filtro 1-Antracita

N° malla	Diámetro (mm)	Peso retenido (g)	Peso acumulado retenido (g)	Peso retenido (%)	Peso acumulado retenido (%)	Peso pasante acumulado (%)
12	1,70	15,52	15,52	15,56	15,56	84,44
14	1,40	29,39	44,91	29,46	45,01	54,99
16	1,18	17,34	62,25	17,38	62,39	37,61
18	1,00	7,63	69,88	7,65	70,04	29,96
20	0,85	20,65	90,53	20,70	90,74	9,26
25	0,71	6,01	96,54	6,02	96,76	3,24
30	0,60	0,72	97,26	0,72	97,48	2,52
35	0,50	0,38	97,64	0,38	97,86	2,14
40	0,43	0,34	97,98	0,34	98,21	1,79
Fondo		2,25	100	2,26	100	0

Elaboración: Toapanta & Tualombo

Gráfica A3.7 Granulometría Filtro 1-Antracita



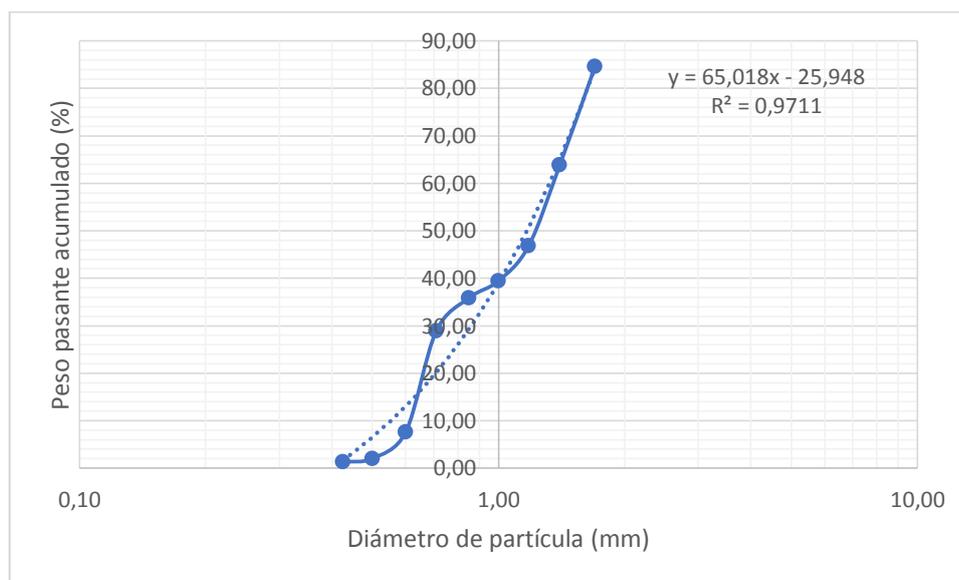
Elaboración: Toapanta & Tualombo

Tabla A3.22 Granulometría Filtro 2-Antracita

N° malla	Diámetro (mm)	Peso retenido (g)	Peso acumulado retenido (g)	Peso retenido (%)	Peso acumulado retenido (%)	Peso pasante acumulado (%)
12	1,70	15,36	15,36	15,40	15,40	84,60
14	1,40	20,72	36,08	20,77	36,16	63,84
16	1,18	16,99	53,07	17,03	53,19	46,81
18	1,00	7,34	60,41	7,36	60,55	39,45
20	0,85	3,58	63,99	3,59	64,14	35,86
25	0,71	6,95	70,94	6,97	71,10	28,90
30	0,60	21,30	92,24	21,35	92,45	7,55
35	0,50	5,50	97,74	5,51	97,96	2,04
40	0,43	0,74	98,48	0,74	98,71	1,29
Fondo		1,75	100	1,75	100	0

Elaboración: Toapanta & Tualombo

Gráfica A3.8 Granulometría Filtro 2-Antracita

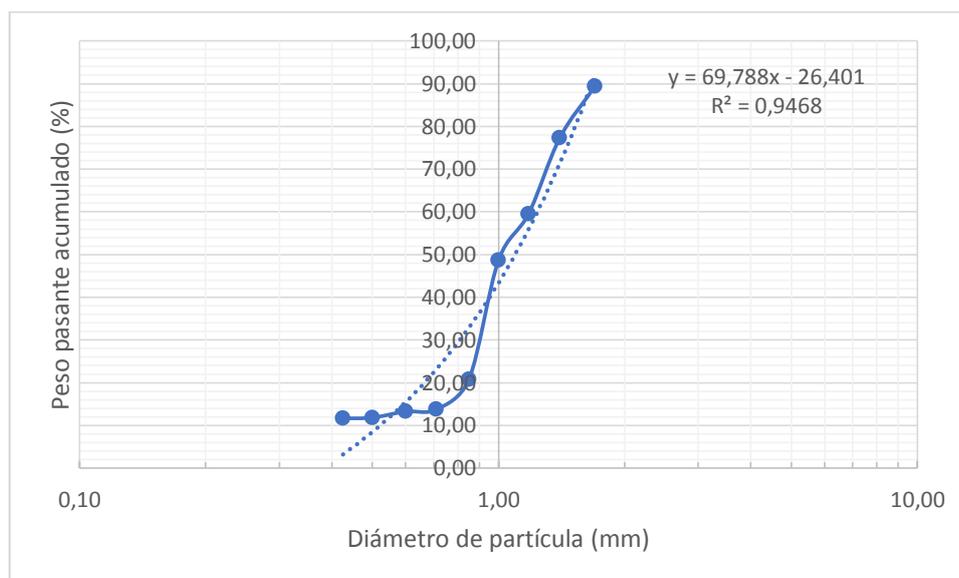


Elaboración: Toapanta & Tualombo

Tabla A3.23 Granulometría Filtro 3-Antracita

N° malla	Diámetro (mm)	Peso retenido (g)	Peso acumulado retenido (g)	Peso retenido (%)	Peso acumulado retenido (%)	Peso pasante acumulado (%)
12	1,70	11,16	11,16	10,59	10,59	89,41
14	1,40	12,78	23,94	12,13	22,72	77,28
16	1,18	18,69	42,63	17,74	40,46	59,54
18	1,00	11,47	54,10	10,89	51,34	48,66
20	0,85	29,35	83,45	27,85	79,19	20,81
25	0,71	7,46	90,91	7,08	86,27	13,73
30	0,60	0,49	91,40	0,47	86,74	13,26
35	0,50	1,51	92,91	1,43	88,17	11,83
40	0,43	0,19	93,10	0,18	88,35	11,65
Fondo		1,80	94,90	1,71	90,06	9,94

Elaboración: Toapanta & Tualombo

Gráfica A3.9 Granulometría Filtro 3-Antracita

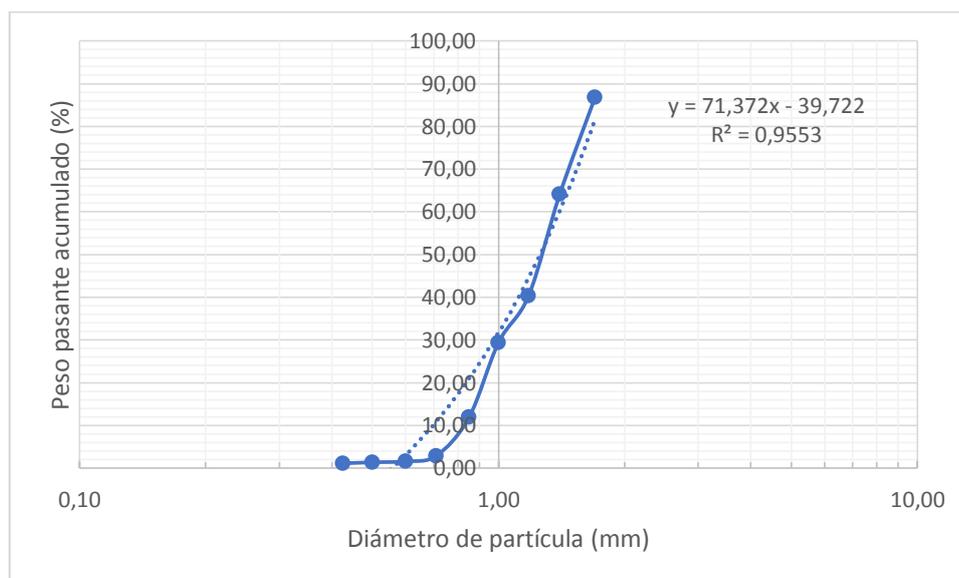
Elaboración: Toapanta & Tualombo

Tabla A3.24 Granulometría Filtro 4-Antracita

N° malla	Diámetro (mm)	Peso retenido (g)	Peso acumulado retenido (g)	Peso retenido (%)	Peso acumulado retenido (%)	Peso pasante acumulado (%)
12	1,70	13,17	13,17	13,20	13,20	86,80
14	1,40	22,65	35,82	22,70	35,90	64,10
16	1,18	23,68	59,50	23,73	59,63	40,37
18	1,00	10,94	70,44	10,96	70,59	29,41
20	0,85	17,50	87,94	17,54	88,13	11,87
25	0,71	8,96	96,90	8,98	97,11	2,89
30	0,60	1,29	98,19	1,29	98,41	1,59
35	0,50	0,22	98,41	0,22	98,63	1,37
40	0,43	0,24	98,65	0,24	98,87	1,13
Fondo		1,57	100	1,57	100	0

Elaboración: Toapanta & Tualombo

Gráfica A3.10 Granulometría Filtro 4-Antracita



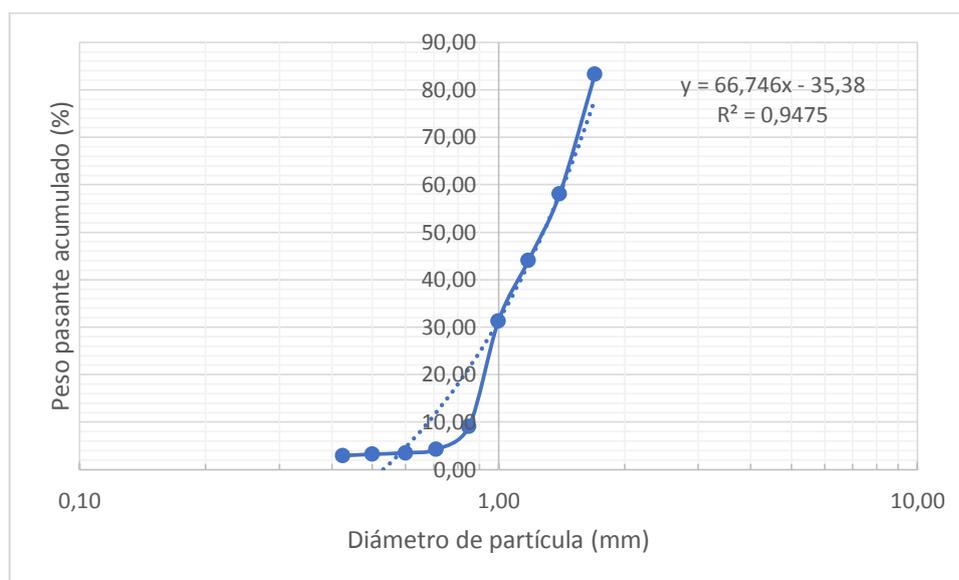
Elaboración: Toapanta & Tualombo

Tabla A3.25 Granulometría Filtro 5-Antracita

N° malla	Diámetro (mm)	Peso retenido (g)	Peso acumulado retenido (g)	Peso retenido (%)	Peso acumulado retenido (%)	Peso pasante acumulado (%)
12	1,70	16,71	16,71	16,68	16,68	83,32
14	1,40	25,27	41,98	25,23	41,91	58,09
16	1,18	14,01	55,99	13,99	55,89	44,11
18	1,00	12,78	68,77	12,76	68,65	31,35
20	0,85	22,29	91,06	22,25	90,91	9,09
25	0,71	4,86	95,92	4,85	95,76	4,24
30	0,60	0,71	96,63	0,71	96,47	3,53
35	0,50	0,30	96,93	0,30	96,77	3,23
40	0,43	0,29	97,22	0,29	97,05	2,95
Fondo		2,61	99,83	2,61	99,66	0,34

Elaboración: Toapanta & Tualombo

Gráfica A3.11 Granulometría Filtro 5-Antracita



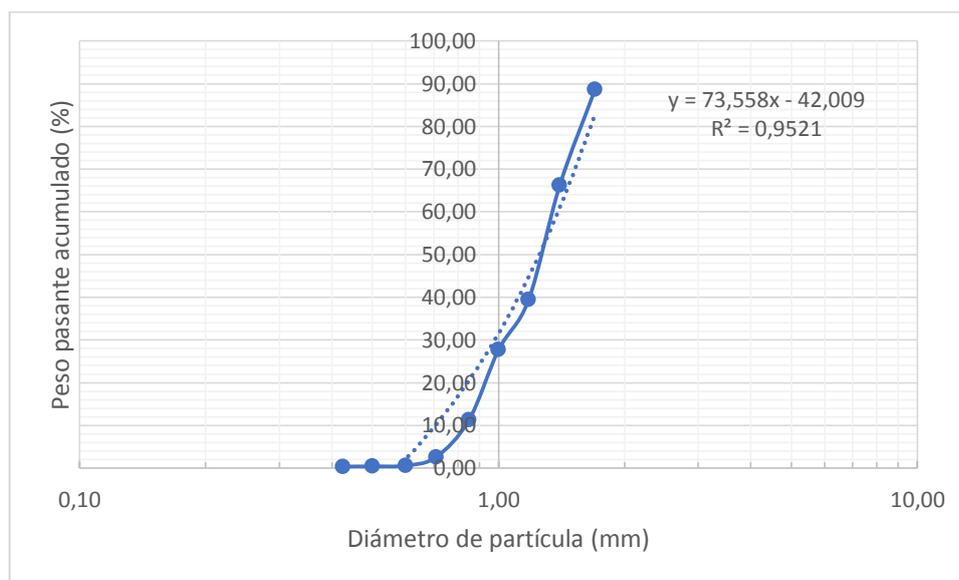
Elaboración: Toapanta & Tualombo

Tabla A3.26 Granulometría Filtro 6-Antracita

N° malla	Diámetro (mm)	Peso retenido (g)	Peso acumulado retenido (g)	Peso retenido (%)	Peso acumulado retenido (%)	Peso pasante acumulado (%)
12	1,70	11,33	11,33	11,35	11,35	88,65
14	1,40	22,41	33,74	22,46	33,81	66,19
16	1,18	26,72	60,46	26,78	60,59	39,41
18	1,00	11,71	72,17	11,74	72,33	27,67
20	0,85	16,36	88,53	16,40	88,72	11,28
25	0,71	8,64	97,17	8,66	97,38	2,62
30	0,60	2,01	99,18	2,01	99,40	0,60
35	0,50	0,16	99,34	0,16	99,56	0,44
40	0,43	0,05	99,39	0,05	99,61	0,39
Fondo		0,83	100	0,83	100	0

Elaboración: Toapanta & Tualombo

Gráfica A3.12 Granulometría Filtro 6-Antracita



Elaboración: Toapanta & Tualombo

ANEXO 3.4 Carreras de filtración (enero-junio 2018)

Tabla A3.27 Carreras de filtración enero 2018

Total días	Fecha	Carrera de filtración					
		Filtro 1	Filtro 2	Filtro 3	Filtro 4	Filtro 5	Filtro 6
1	01-ene				42	41,5	42
2	02-ene	51	44,5	42,5			
3	03-ene				53	52	40
4	04-ene	41	29,5	49,5	39		
5	05-ene	39,5				40,5	45,5
6	06-ene		44	39,5	40	40,5	
7	07-ene	43,5	45,5				41
8	08-ene			46,5	42	33,5	39
9	09-ene	38	33		32	29,5	
10	10-ene	28		54			29
11	11-ene	16	60,5		34	28,5	27,5
12	12-ene			39,5	33	36,5	
13	13-ene	41	42				39
14	14-ene	34,5		43,5	37	39	38,5
15	15-ene		33	30	27,5	26,5	
16	16-ene	41	44,5				37
17	17-ene			52,5	49,5		
18	18-ene	49		20		65,5	51,5
19	19-ene	27	50		33,5	24,5	28,5
20	20-ene		24,5	37	41,5		
21	21-ene	47	44,5			43,5	43
22	22-ene			41,5	33	33	34
23	23-ene	31	32,5	35	37,5		
24	24-ene	39,5				41	38,5
25	25-ene		40,50	43,00	41,50	40,00	
26	26-ene	45	41				41
27	27-ene			38	41,5	43,5	
28	28-ene	49					46
29	29-ene		57	61,5			
30	30-ene				65	67,5	67
31	31-ene	62,5	58,5				

Elaboración: Toapanta & Tualombo

Tabla A3.28 Carreras de filtración febrero 2018

Total días	Fecha	Carrera de filtración					
		Filtro 1	Filtro 2	Filtro 3	Filtro 4	Filtro 5	Filtro 6
32	01-feb				50,5	47,5	44
33	02-feb	44,5	47	44,5			
34	03-feb				45,5	46,5	48
35	04-feb	46	43,5	44	42,5		
36	05-feb	36,5	33			41,5	39
37	06-feb			32,5	39	40	
38	07-feb	51					47,5
39	08-feb		51,5	56,5	53		
40	09-feb					60,5	53
41	10-feb	54	59,5	56			
42	11-feb				57	50	
43	12-feb	61	58				65,5
44	13-feb			59,5	58		
45	14-feb	51,5				57,5	47
46	15-feb		52	56			
47	16-feb				60	60,5	56,5
48	17-feb	56	57,5	52,5			
49	18-feb				49	48,5	49
50	19-feb	49	50,5				
51	20-feb			56,5	52	54,5	
52	21-feb	57,5	56,5				58
53	22-feb			52	56		
54	23-feb					58,5	55,5
55	24-feb		55,5	50,5	50		
56	25-feb	46,50				43,00	44,00
57	26-feb		45	49	49		
58	27-feb	48				52	50,5
59	28-feb		47,5	43	41		

Elaboración: Toapanta & Tualombo

Tabla A3.29 Carreras de filtración marzo 2018

Total días	Fecha	Carrera de filtración					
		Filtro 1	Filtro 2	Filtro 3	Filtro 4	Filtro 5	Filtro 6
60	01-mar	44				46,5	43
61	02-mar		44	49,5	47,5		
62	03-mar	48				47	47
63	04-mar		46	41,5	42,5	33	34
64	05-mar	36,5	36	36,5			
65	06-mar						
66	07-mar		46	41,5	42,5	33	34
67	08-mar						
68	09-mar	36,5	36	36,5			
69	10-mar						
70	11-mar				42,5	44	46
71	12-mar						
72	13-mar	49	47	48			
73	14-mar						
74	15-mar				46	47,5	
75	16-mar						
76	17-mar	54	57,5				59,5
77	18-mar						
78	19-mar			58	57,5		
79	20-mar						
80	21-mar	56,5				59,5	53,5
81	22-mar						
82	23-mar		59,5	63			
83	24-mar						
84	25-mar				62,5	62	
85	26-mar						
86	27-mar	64					68
87	28-mar						
88	29-mar		62	62			
89	30-mar						
90	31-mar				69,5	69,5	57

Elaboración: Toapanta & Tualombo

Tabla A3.30 Carreras de filtración abril 2018

Total días	Fecha	Carrera de filtración					
		Filtro 1	Filtro 2	Filtro 3	Filtro 4	Filtro 5	Filtro 6
91	01-abr				65	64	57,5
92	02-abr	71,5					
93	03-abr		72	66,5	68,5		
94	04-abr	54				70	66,5
95	05-abr		46	56,5			
96	06-abr				62	60	
97	07-abr	61	55	45,5			65,5
98	08-abr				40	40	38
99	09-abr	47	41,5				
100	10-abr		22,5	58,5	53		
101	11-abr	54				68,5	66,5
102	12-abr		35,5	50	57,5		
103	13-abr					43	45,5
104	14-abr	57	53,5	56			
105	15-abr				60	60,5	
106	16-abr	49,5	47				67,5
107	17-abr			56,5	49		
108	18-abr	59,5				61	42,5
109	19-abr		71,5	58,5			
110	20-abr				62,5	53	
111	21-abr	64					64
112	22-abr		59	63,5	63		
113	23-abr	58				66	58
114	24-abr		57	52,5		25,5	
115	25-abr	44,50			58,00		45,50
116	26-abr		45	41	29		
117	27-abr					48,5	
118	28-abr						58,5
119	29-abr	85					
120	30-abr		100,5	100	100	88	

Elaboración: Toapanta & Tualombo

Tabla A3.31 Carreras de filtración mayo 2018

Total días	Fecha	Carrera de filtración					
		Filtro 1	Filtro 2	Filtro 3	Filtro 4	Filtro 5	Filtro 6
121	01-may	46	26	28	29		75,5
122	02-may	30,5	30			30	27,5
123	03-may			31	32	31,5	32,5
124	04-may	39,5	40,5	40,5			
125	05-may	36			46,5	45	43,5
126	06-may		42	40	32,5	34	
127	07-may	43					40
128	08-may		51,5	51,5	54,5		
129	09-may	51				57,5	52
130	10-may		44,5	49			
131	11-may	48,5			56,5	51,5	51
132	12-may		40,5	38,5	29,5	33,5	
133	13-may	33,5	37				34,5
134	14-may			45,5	42,5	40	39
135	15-may	47	43,5	35,5			
136	16-may	37			38,5	43,5	42
137	17-may		43,5	44,5	44,5		
138	18-may	44,5				45	45,5
139	19-may		46	40,5	39	33	33,5
140	20-may	34,5	28,5	34	34,5		
141	21-may					39,5	40,5
142	22-may	50,5	51,5				
143	23-may			57	59,5	60	
144	24-may	56,5					69,5
145	25-may		56,50	56,00	53,00	49,50	
146	26-may	41,5	43,5				39,5
147	27-may			43	45,5	43	
148	28-may	47	45				49
149	29-may			47,5	46	49	
150	30-may	47	46				49,5
151	31-may			44	42,5	43	36,5

Elaboración: Toapanta & Tualombo

Tabla A3.32 Carreras de filtración junio 2018

Total días	Fecha	Carrera de filtración					
		Filtro 1	Filtro 2	Filtro 3	Filtro 4	Filtro 5	Filtro 6
152	01-jun	41,5	44,5	36,5			
153	02-jun	38,5	33		44	42	41,5
154	03-jun			34,5	29	31	32
155	04-jun	37	40				
156	05-jun			47,5	47	47	48,5
157	06-jun	48	51				
158	07-jun			50,5	48,5	48	
159	08-jun	43,5	42	33	36,5		48
160	09-jun	36				39,5	34,5
161	10-jun		34,5	38	38	36,5	
162	11-jun	46	46,5				47
163	12-jun			49	43,5	48,5	
164	13-jun	48,5	48,5				44
165	14-jun			47	53,5		
166	15-jun	52				53	53
167	16-jun		55,5	50,5	49		
168	17-jun	46				44	44,5
169	18-jun		47,5	46,5	44	42,5	
170	19-jun	39	31,5				44
171	20-jun	38,5		37,5	40,5	40	35
172	21-jun		40,5	36,5	34,5	35,5	
173	22-jun	39,5					42
174	23-jun		39,5	40,5	43	44,5	
175	24-jun	42	42,5				38,5
176	25-jun			44,00	44,00	43,50	43,00
177	26-jun	42	38,5	37			
178	27-jun	40			44	40	38,5
179	28-jun		45,5	43	33	34,5	
180	29-jun	41	30,5	32			39
181	30-jun	29,5			39	37	31,5

Elaboración: Toapanta & Tualombo

ANEXO 4
PLANOS

ANEXO 4.1

PLANTA EL TROJE-VISTA GENERAL

ANEXO 4.2

CANALETA TIPO PARSHALL Y CANAL DISTRIBUIDOR DE AGUA

ANEXO 4.3
FLOCULADORES

ANEXO 4.4
SEDIMENTADORES

ANEXO 4.5

FILTROS

ANEXO 4.6

ZONA DE DISTRIBUCIÓN DE LA PTAET