



UNIVERSIDAD DE CARABOBO
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA



**PROPUESTA DE MEJORA DEL PROCESO DE POTABILIZACIÓN DE AGUA EN EL
COMPLEJO PETROQUÍMICO MORÓN**

Tutor académico:

Prof. (a): Auxilia Mallia

Tutor Industrial:

Ing. Lir Piña

Autor:

TERÁN, Florangel

C.I.:18.701.636

Valencia, Junio 2011

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar a Dios el todopoderoso, por darme la vida, por siempre llevarme de su mano a superar los obstáculos de la vida, esos que me hacen cada día más fuerte y que de una forma u otra me complementan, y así como también de llenarme de muchas bendiciones.

A los dos seres más preciados que la vida me regaló, mis dos madres que las amo con el corazón.

A mi familia que siempre ha estado conmigo apoyándome en todo momento, dándome la palabra y el consejo acertado para continuar.

Al Prof. Iván Parra por ser incondicional, por la ayuda prestada, el tiempo empleado y la atención brindada.

A mi tutora académica Auxilia Mallia que a pesar de sus tantas ocupaciones siempre estuvo atenta y dispuesta en todo momento.

Al Sr. Jhonny Limongi que gracias a él tuve la oportunidad de desarrollar la investigación en el Complejo Petroquímico Morón. Así como también a los Ing. Lir Piña, Isabel Scolaro, a los cuatro (4) grupos de operadores, especialmente al grupo C y al resto del personal de la empresa, por toda la atención prestada.

Al Sr. Rolando Quintero por su sencillez y solidaridad para conmigo, quién me prestó todo el apoyo para movilizarme de la planta hacia al Complejo, que Dios lo bendiga por siempre.

A mis amigos y amigas de la secundaria, de la universidad, de la residencia y a los nuevos amigos que conocí en Pequiven, los cuales fueron partícipes en el transitar de este logro.

En fin a todos los que han estado a mi lado desde que comencé esta bonita aventura y a los que se fueron sumando a medida que el guión de esta novela se iba desarrollando.

A todas y a todos mil gracias.

DEDICATORIA

- ✓ *A mi Dios, Padre Celestial por ser tan grande y misericordioso conmigo.*
- ✓ *A mis madres que son el tesoro más grande que la vida me ha regalado.*
- ✓ *A mi papá que aunque ya no está en este mundo, y esté donde esté verá que si pude alcanzar la meta añorada, aunque él no creyera en mí.*
- ✓ *A mi Tío Angel Hurtado que ha sido como un padre, nunca me ha faltado, siempre ha estado al pendiente de mí, compartiendo los buenos y los malos momentos, lo quiero mucho.*
- ✓ *A mis primos que son los hermanos que nunca tuve Angel, José Angel y Endgel por su apoyo incondicional, por su cariño, ojalá Dios nos permita seguir unidos como siempre.*
- ✓ *Finalmente a todos los que creyeron en mí, y a los que no también, porque me dieron valor y fuerza para continuar, demostrando que cuando las cosas se hacen de corazón el resultado es satisfactorio.*

“Fracasa quién deja de intentar”

Florangel Terán



RESUMEN

En el trabajo en estudio se planteó proponer mejoras al proceso de potabilización de agua en el Complejo Petroquímico Morón caracterizando el agua de entrada y de salida, seguidamente se realizó un diagnóstico en las diferentes etapas que se involucran en el proceso, para luego proponer alternativas que ayuden a reducir los puntos críticos encontrados y por ende seleccionar la propuesta más factible de acuerdo al criterio tecno-económico incluyendo la relación costo beneficio que ésta genera directamente al proceso potabilización del agua. Para el alcance de los objetivos se realizaron 12 eventos, realizando un muestreo diario en los diferentes puntos de entrada y salida de cada unidad de tratamiento, utilizando equipos y/o herramientas previamente calibradas. Las mediciones se hicieron minuciosamente al momento de caracterizar, preparación de soluciones, dosificación de las mismas entre otras, para así obtener resultados precisos. Se determinaron las concentraciones de alcalinidad, dureza, sólidos totales disueltos, cloro libre y total así como también se midió el pH, turbidez, color entre otros.

El proceso en estudio consta fundamentalmente en someter el agua cruda a una etapa de reacción donde se aplican sustancias químicas y ocurre la formación del floc, luego el agua floculada se transporta a dos (2) tanques sedimentadores en los cuales las partículas precipitan y el agua clarificada es conducida a las cuatro (4) piscinas de filtración para completar el proceso de potabilización. Se establecieron 17 puntos de muestreo haciendo un barrido por todas las etapas de la planta, disponiendo de un toma muestras para la recolección de las mismas a una hora determinada para luego realizar la caracterización físico-química. En cuanto a las alternativas se hicieron ensayos a escala de laboratorio denominados prueba de jarras.

La adición de cal en los puntos de dosificación actual es una falla operacional crítica que le resta eficiencia al proceso, así como también el tiempo de contacto en la mezcla rápida que excede al de diseño. De la misma manera la adición del polímero a la misma velocidad de agitación de la mezcla rápida.

Por otro lado, se obtuvo que ajustando el pH del agua cruda a 8,5 unidades con lechada de cal se obtiene un ahorro en consumo de sulfato de aluminio de 17%, además que la efectividad del policloruro de aluminio a turbidez menor a 20 N.T.U en el agua cruda es elevada teniendo turbidez residual menor a 1 N.T.U., siempre y cuando el pH del agua cruda sea ajustada previamente, de igual forma la bentonita ajusta el agua cruda cuando existe déficit de sólidos suspendidos arrojando buenos resultados de remoción. Se recomienda vigilar los parámetros de control a la salida de los filtros para adecuar las horas de lavado y de igual forma implementar un sistema de tratamiento físico-químico de lodo generado en el proceso.



ÍNDICE GENERAL

	Pág.
INTRODUCCIÓN.....	1
CAPÍTULO I	
1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	3
1.1. Descripción del problema.....	5
1.2. Formulación del problema.....	6
1.2.1. Situación actual.....	7
1.2.2. Situación deseada.....	7
1.3. Objetivos.....	7
1.3.1. Objetivo general.....	7
1.3.2. Objetivos específicos.....	7
1.4. Justificación.....	8
1.5. Limitaciones.....	8
CAPÍTULO II	
2. MARCO TEÓRICO.....	9
2.1. Antecedentes.....	9
2.2. Revisión bibliográfica.....	12
2.2.1 Fuentes de agua.....	12
2.2.2 Etapas de tratamientos.....	12
2.2.2.1. Coagulación y floculación.....	12
2.2.2.2. Coagulantes.....	14
2.2.2.3. Prueba de Jarra.....	15
2.2.2.4. Mezcla rápida.....	15
2.2.2.5. Floculación.....	17
2.2.2.6. Tamaño del floc producido.....	17
2.2.2.7. Sedimentación.....	19
2.2.2.9. Filtración.....	22
2.2.2.10. Desinfección.....	24
2.2.3. Contaminantes del agua.....	25
2.2.4. Índice de Langelier.....	30
2.2.5. Diagrama de Ishikawa.....	31
2.2.10. Bentonita.....	32
2.2.11. Influencia de la cal en la potabilización.....	33
2.2.12. Tanque de igualación.....	33
2.2.13. Control de proceso.....	34
2.2.14. Matriz de selección.....	35
2.2.15. Relación costo-beneficio.....	35
CAPÍTULO III	
3. Marco metodológico.....	37
3.1. Tipo de investigación.....	37
3.2. Desarrollo experimental.....	37
3.2.1. Elaboración de un estudio de caracterización del agua a la entrada y salida del proceso de potabilización.....	37
3.2.2. Realización del diagnóstico del funcionamiento de los equipos del	40



proceso de potabilización del agua.....	
3.2.3. Proponer alternativas que solventen las limitaciones diagnosticadas en las etapas del tratamiento de agua.....	45
3.2.4. Seleccionar la(s) alternativa(s) más conveniente(s) en cuanto al criterio tecno-económico.....	51
3.2.5. Diseñar la(s) alternativa(s) seleccionada.....	53
3.2.6. Evaluar la relación costo-beneficio de la(s) alternativa(s) seleccionada(s).....	54
CAPÍTULO IV	
4. DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....	57
4.1. Elaboración de un estudio de caracterización del agua a la entrada y salida del proceso de potabilización en la Planta de Agua Cruda I-106.....	57
4.2. Realización del diagnóstico de las unidades de tratamiento que conforman el proceso de potabilización del agua.....	75
4.3. Proponer alternativas que solventen las limitaciones diagnosticadas en las etapas del tratamiento de agua.....	102
4.4. Seleccionar la(s) alternativa(s) más conveniente(s) en cuanto al criterio tecno-económico.....	114
4.5. Diseñar la(s) alternativa(s) seleccionada.....	125
4.6. Evaluar la relación costo-beneficio de la(s) alternativa(s) seleccionada(s).....	131
CAPÍTULO V	
CONCLUSIONES.....	135
RECOMENDACIONES.....	136
REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS.....	137
APÉNDICE A.....	140
APÉNDICE B.....	195
APÉNDICE C.....	200
APÉNDICE D.....	206



ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 2.1 Efectos de la coagulación sobre las sustancias contenidas en el agua.....	12
Tabla 2.2 Índice de floculación de Willcomb.....	18
Tabla 2.2 Diferentes modelos de clarificación por sedimentación.....	20
Tabla 2.3 Características del agua de acuerdo al índice de Langelier.....	30
Tabla 2.4 Composición química de la Bentonita.....	32
Tabla 3.1 Pruebas de caracterización de las muestras de agua cruda y potable.....	39
Tabla 3.2 Pruebas para caracterización de los diferentes puntos de muestreo en las etapas del proceso de potabilización.....	42
Tabla 3.3 Matriz de pares entre criterios para obtener el factor de ponderación.....	52
Tabla 3.4 Matriz de pares entre criterio y alternativas para obtener el peso de opción.....	53
Tabla 4.1 Caracterización de agua cruda proveniente del río Morón para condiciones de diseño.....	57
Tabla 4.2 Porcentaje de remoción de los parámetros de entrada con respecto a la salida del proceso de potabilización de la Planta de Agua Cruda I-106.....	62
Tabla 4.2 Porcentaje de remoción de los parámetros de entrada con respecto a la salida del proceso de potabilización de la Planta de Agua Cruda I-106 (continuación).....	63
Tabla 4.3 Solubilidad en agua de algunos compuestos a base de fosfatos.....	74
Tabla 4.4 Tiempo de residencia de acuerdo a caudal de operación.....	77
Tabla 4.5 Clasificación de la dureza del agua de acuerdo a su concentración.....	89
Tabla 4.6 Solubilidad en agua de algunos compuestos básicos.....	91
Tabla 4.7 Índice de Langelier en las diferentes etapas del proceso de potabilización en la Planta de Agua Cruda I-106.....	92
Tabla 4.8 Solubilidad en agua de algunos compuestos inorgánicos.....	94
Tabla 4.9 Caudal experimental de cada una de las etapas del proceso de potabilización de la Planta de Agua Cruda I-106.....	97
Tabla 4.9 Caudal experimental de cada una de las etapas del proceso de potabilización de la Planta de Agua Cruda I-106 (continuación).....	98
Tabla 4.10 Flujos de sulfato de aluminio de acuerdo a lo obtenido en escala laboratorio.....	102
Tabla 4.11 Parámetros necesarios para la evaluación de la cal como ajuste al pH.....	105
Tabla 4.12 Parámetros obtenidos a partir de NaOH/sulfato de aluminio a escala de laboratorio con 1mL de soda.....	106



Tabla 4.13 Parámetros obtenidos a partir de NaOH/sulfato de aluminio a escala de laboratorio con 3mL de soda.....	107
Tabla 4.14 Parámetros obtenidos de la segunda propuesta a escala de laboratorio con 100 N.T.U de agua cruda.....	108
Tabla 4.15 Parámetros obtenidos de Bentonita/sulfato de aluminio/NaOH a escala de laboratorio con 3mL de bentonita.....	109
Tabla 4.16 Parámetros obtenidos de Bentonita/sulfato de aluminio/NaOH a escala de laboratorio.....	109
Tabla 4.17 Ajuste de pH del agua sobrenadante de la prueba de jarras obtenidas a partir de bentonita/sulfato de aluminio/NaOH.....	110
Tabla 4.18 Prueba de jarra con los parámetros establecidos en la Planta de Agua Cruda I-106.....	110
Tabla 4.19 Parámetros obtenidos a partir de NaOH/PAC a escala de laboratorio con 1mL de soda.....	111
Tabla 4.20 Parámetros obtenidos a partir de NaOH/PAC a escala de laboratorio con 100 N.T.U.....	112
Tabla 4.21 Cuadro comparativo de las ventajas y desventajas de las alternativas planteadas.....	115
Tabla 4.22 Factor de ponderación de cada criterio a evaluar.....	117
Tabla 4.23 Peso de opción del criterio seguridad e higiene operacional.....	118
Tabla 4.24 Peso de opción del criterio nivel de operatividad.....	119
Tabla 4.25 Peso de opción del criterio espacio disponible en planta.....	119
Tabla 4.26 Peso de opción del criterio costos.....	120
Tabla 4.27 Peso de opción del criterio uso de químicos.....	120
Tabla 4.28 Peso de opción del criterio generación de sub-productos y/o desechos.....	121
Tabla 4.29 Peso de opción del criterio fácil adquisición de aditivos.....	121
Tabla 4.30 Peso de opción del criterio mantenimiento.....	122
Tabla 4.31 Peso de opción del criterio logro de calidad.....	122
Tabla 4.32 Matriz final de selección de la alternativa.....	124
Tabla 4. 33 Tiempo de residencia de acuerdo a caudal de operación.....	126
Tabla 4.34 Hoja de especificación del tanque M 1-2.....	127
Tabla 4.35 Especificaciones de los equipos y/o accesorios para implementar la propuesta seleccionada.....	130
Tabla 4.36 Costo asociado a la unión de los tanques M-1 y M-2.....	131
Tabla 4.37 Costo de los materiales y equipos necesarios para la implementación de la propuesta.....	132
Tabla 4.37 Ahorro de sulfato de aluminio anual de acuerdo al caudal de entrada.....	133
Tabla 4.38 Relación costo-beneficio de la alternativa seleccionada.....	133
Tabla A.1 Parámetros de caracterización del agua de entrada a la Planta de Agua Cruda I-106.....	141



Tabla A.2 Parámetros de caracterización del agua tratada en la Planta de Agua Cruda I-106.....	143
Tabla A.3 Parámetros necesarios para la caracterización del agua en las diferentes etapas del proceso de la Planta de Agua Cruda I-106.....	149
Tabla A.4 Porcentaje de remoción de algunos parámetros en las diferentes etapas de la Planta de agua Cruda I-106.....	161
Tabla A.5 Parámetros necesarios para la evaluación de la cal como ajuste al pH	173
Tabla A.6 Parámetros obtenidos de acuerdo a la situación actual de la planta a escala de laboratorio.....	179
Tabla A.7 Parámetros obtenidos a partir de NaOH/sulfato de aluminio a escala de laboratorio.	181
Tabla A.8 Parámetros obtenidos de bentonita/sulfato de aluminio/NaOH a escala de laboratorio.	184
Tabla A.9 Parámetros obtenidos a partir de NaOH/PAC a escala de laboratorio.	191
Tabla A.10 Prueba de jarras utilizando PAC como coagulante con las características de la planta.....	194
Tabla D.1 Parámetros de diseño involucrados en cada una de la etapas de la Planta de Agua Cruda I-106.....	206



ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1.1. Diagrama de bloques del proceso de potabilización de agua en la Planta de Agua Cruda I-106.	4
Figura 2.1 (a) Coagulación. (b) Floculación.....	12
Figura 2.2 Comparador para estimar el tamaño del floc (según WRA).....	18
Figura 2.3 Unidad de agitación simple tipo Permutit.....	21
Figura 2.4 Bosquejo de una piscina de filtración.....	22
Figura 2.5 Partes del filtro rápido convencional.....	23
Figura 2.6 Relación entre alcalinidades.....	29
Figura 2.7 Representación de un diagrama Causa-Efecto.....	31
Figura 2.8 Estructura y aspecto de la Bentonita.....	33
Figura 2.9 Esquema para el neutralizador de agua de desecho.....	35
Figura 3.1 ^(a) Toma de muestra de agua tratada y ^(b) toma de muestra de agua cruda.....	38
Figura 3.2 Puntos de muestreo en la Planta de Agua Cruda I-106.....	41
Figura 3.3 ^(a) y ^(b) Medidor de velocidad de flujo para canales abiertos. ^(c) Medición de velocidad de flujo en el canal de entrada a los filtros 1 y 3.....	43
Figura 3.4 Cálculo del índice de Langelier.....	44
Figura 3.5 Esquema del equipo de la prueba de jarras.....	47
Figura 3.6 Valores de turbidez para cada concentración de sulfato de aluminio dosificada en la prueba de jarras.....	47
Figura 3.7 Valores de turbidez con la variación de pH en la prueba de jarras.....	48
Figura 3.8 Valores de turbidez con el pH óptimo en la prueba de jarra.....	49
Figura 3.9 Esquema donde se disponen los cuatro mezcladores rápidos...	50
Figura 4.1 ^(a) Dique Morón y torre toma. ^(a) Cauce del río Morón.....	59
Figura 4.2 Variación de la alcalinidad en el agua potable.....	61
Figura 4.3 Variación de la alcalinidad en agua cruda (AC) y potable (AP)...	64
Figura 4.4 Variación del pH en el agua potable.....	65
Figura 4.5 Variación de la dureza cálcica en el agua potable.....	67
Figura 4.5 Variación de la dureza total en el agua potable.....	67
Figura 4.7 Variación del aluminio residual en el agua potable.....	69
Figura 4.8 Variación de la turbidez en el agua potable.....	70
Figura 4.9 Variación del color en el agua potable.....	70
Figura 4.10 Mezcladores rápidos M-1, M-2, M-3 y M-4.....	75
Figura 4.11 Vista aérea de los sedimentadores.....	78
Figura 4.12 Diagrama de flujo del proceso de potabilización de la Planta de Agua Cruda I-106.....	81
Figura 4.13 Variación de la turbidez a la salida del sedimentador 1 y 2.....	83
Figura 4.14 Variación de la turbidez a la entrada de los filtros y del agua tratada.....	84
Figura 4.15 Variación del pH a la salida de los sedimentadores.....	86
Figura 4.16 Variación del pH a la entrada de los filtros 1, 2, 3 y 4.....	86
Figura 4.17 Variación del pH a la salida de los filtros 1 y 2.....	87



Figura 4.18 Variación del pH a la salida de los filtros 3 y 4.....	87
Figura 4.19 Variación de la alcalinidad y dureza en el sedimentador 1.....	89
Figura 4.20 Variación de la alcalinidad y dureza en el sedimentador 2.....	90
Figura 4.21 Diagrama de Causa-Efecto (ISHIKAWA).....	101
Figura 4.22 Prueba de jarra variando concentración de coagulante.....	103
Figura 4.23 Prueba de jarra variando el pH con cal.....	104
Figura 4.24 Prueba de jarra a pH constante y concentración óptima de coagulante.....	104
Figura 4.25 Prueba de jarras con adición de cal como ajuste de pH.....	105
Figura 4.26 ^(a) Pruebas de jarra con turbidez de 100 N.T.U de la segunda propuesta. ^(b) Lodo obtenido en la mejor jarra.....	107
Figura 4.27 ⁽¹⁾ Ensayo de jarras usando PAC como coagulante. ⁽²⁾ Jarras luego del tiempo de sedimentación.....	112
Figura 4.28 Diagrama representativo de la alternativa seleccionada.....	125
Figura 4.29 Esquema representativo del ajuste propuesto a los tanques de mezcla rápida visto desde arriba.....	126
Figura 4.30 Lazo cerrado de control de ajuste de pH del agua cruda.....	128
Figura 4.31 Lazo cerrado de control de pH del agua resultante después de la etapa de reacción.....	129
Figura A.1 Variación del cloro libre en el agua potable.....	145
Figura A.2 Variación de cloruros en el agua potable.....	145
Figura A.3 Variación de la conductividad en el agua potable.....	146
Figura A.4 Variación del fosfato total en el agua potable.....	146
Figura A. 5 Variación del hierro en el agua potable.....	147
Figura A.6 Variación del hierro total en el agua potable.....	147
Figura A.7 Variación de la sílice en el agua potable.....	148
Figura A.8 Variación de los sólidos totales disueltos en el agua potable.....	148
Figura C.1 (a) Equipo TC -3000 colorímetro. (b) Reactivos y accesorios para medición de cloro.....	202
Figura C.2 (a) pH metro. (b) Medidor de conductividad y sólidos totales disueltos.....	204
Figura D.1 Dosificación del polímero ayudante a la floculación en la Planta de Agua Cruda I-106.....	205



INTRODUCCIÓN

El estudio se basa en proponer mejoras al proceso de potabilización de agua del Complejo Petroquímico Morón que para ello se planteó realizar la caracterización del agua que es alimentada al proceso y la obtenida como producto final, un diagnóstico para identificar las problemáticas en las diferentes etapas del proceso y así plantear alternativas que solventen los puntos críticos encontrados, donde es relevante realizar la selección de la propuesta considerando el criterio tecno-económico y evaluando la relación costo-beneficio que genera la alternativa seleccionada.

En el tratamiento del agua blanca específicamente consiste en retirar los contaminantes que ésta contiene y mejorar su aspecto en cuanto a olor, color y sabor para que sea apta para consumo y a su vez sea la adecuada para garantizar la obtención de productos de calidad que genera el Complejo Petroquímico Morón en su amplia gama de fertilizantes que tiene en el mercado (Urea, ácido fosfórico, RPA, NPK, entre otros).

El tipo de investigación es proyectiva, porque se espera que la propuesta al ser implementada genere beneficios a futuro y a su vez es un trabajo de campo ya que se realiza en una planta y las muestras fueron tomadas en el sitio, para determinar el comportamiento del proceso, en forma global y por etapas, realizando diferentes análisis de laboratorio, basándose fundamentalmente en la dosificación de químicos.

En el capítulo I se muestra el planteamiento del problema en donde se expone que una de las principales problemáticas de la planta de tratamiento es la calidad de agua como producto final y a su vez la cantidad de agua para suplir demandas futuras, por ello se plantearon objetivos específicos para llegar a los puntos críticos que afectan íntimamente al proceso. Seguidamente en el capítulo II se enfoca en las diversas definiciones y teoría sobre la potabilización del agua, resaltando las diferentes etapas que componen al proceso y los distintos contaminantes que esta trae consigo; exponiendo de igual modo las herramientas utilizadas para el desarrollo de los objetivos planteados. Luego en el capítulo III se expone de manera resumida la metodología a



seguir para alcanzar los objetivos, las pruebas realizadas para caracterizar el agua y verificar la capacidad de remoción de cada unidad de tratamiento, así como también los ensayos realizados para las alternativas planteadas a escala laboratorio, para así obtener con certeza de acuerdo al tipo de agua de entrada el comportamiento de la misma con la variación de aditivos químicos actuales y propuestos, considerando condiciones actuales de operación.

Para dar una explicación concisa y detallada de lo diagnosticado tanto de las propuestas se tiene el capítulo 4, en el cual se concentra el análisis de los resultados obtenidos y a su vez se muestra con detalle la selección de la propuesta, su diseño y la relación costo beneficio que genera si ésta es implementada.

La finalidad del desarrollo de esta investigación es que el agua es un líquido vital para el ser humano, por lo que requiere que se encuentre dentro de los parámetros de calidad para que no genere efectos nocivos para la salud. A su vez el agua que aquí se trata es utilizada para los diferentes procesos de obtención de productos nitrogenados y fosfatados, con lo que se requiere de igual forma agua de buena calidad que no desvíe el buen funcionamiento de los procesos, en parte de los servicios industriales como lo son agua para enfriamiento, vapor y agua desmineralizada.



CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Esta sección se basa fundamentalmente en la descripción detallada del problema en estudio englobando los objetivos que se quieren alcanzar para la realización de dicha investigación, la identificación de la situación actual y deseada, aspectos que la justifican y los factores que limitan el estudio que se desea realizar.

1.1 Descripción del problema

El Complejo Petroquímico Morón (CPM) encuentra ubicado en las costas del estado Carabobo, en las cercanías de la población de Morón. Este Complejo inició sus operaciones en 1956, con capacidad para producir 150 MTMA de fertilizantes nitrogenados y fosfatados, la cual fue expandida a 600 MTMA durante el período 1966-1969.

Desde esa fecha, el complejo ha ampliado su capacidad de producción hasta alcanzar el nivel actual superior a 1,97 MMTMA (tiene una capacidad actual de 1588 MTMA y para el año 2013 contará con una capacidad adicional de 2547 MTMA). Su producción es destinada básicamente a la manufactura de Urea, SAM (Sulfato de Amonio) y Fertilizantes Granulados NPK (nitrógeno, fósforo y potasio).

Así mismo, el Complejo Morón está provisto de instalaciones capaces de autoabastecer los servicios industriales que requieren sus operaciones. Su fuente principal de agua la constituye el embalse construido sobre el río Morón.

En las instalaciones donde yacen los servicios industriales, específicamente en la Planta de Agua Cruda denominada I- 106, utiliza agua cruda como materia prima proveniente del río Morón como se mencionó anteriormente, la cual pasa por varias etapas de tratamientos para su potabilización, antes de ser llevada a los diferentes

procesos del Complejo, las mismas se pueden observar de forma general en la figura 1.1:

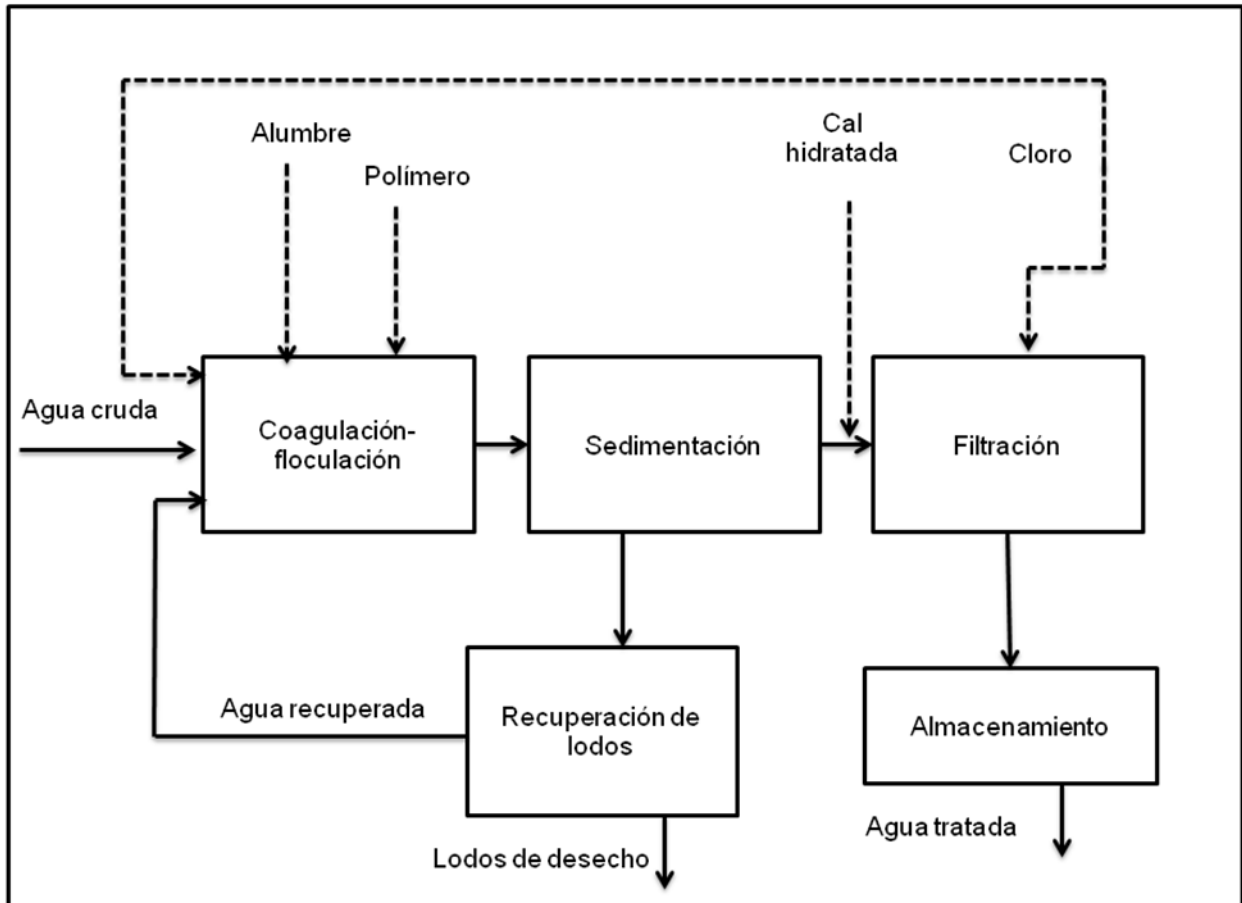


Figura 1.1. Diagrama de bloques del proceso de potabilización de agua en la Planta de Agua Cruda I-106.

Coagulación- floculación: esta etapa consta de un arreglo en serie de cuatro (4) mezcladores rápidos, a los cuales es suministrada el agua proveniente del río Morón. En estos mezcladores se efectúa el fenómeno de coagulación-floculación, para ello es necesaria la adición de sulfato de aluminio (alumbre) y polielectrólitos orgánicos para hacer precipitar las sustancias coloidales mediante una neutralización de cargas para luego la formación de micelas hasta formar un floculo denso fácil de sedimentar. En esta sección se realiza una pre-cloración.



Sedimentación: esta sección está provista de dos sedimentadores de agitación lenta donde el agua previamente floculada en la mezcla rápida se transporta a estos mediante una canal abierta, estos precipitadores poseen agitadores de tipo paletas en su parte inferior permitiendo que los flóculos tomen su tamaño máximo y se unan entre sí, formando el lodo para facilitar el proceso de sedimentación. El agua clarificada de esta sección fluye por canales ubicados en la parte superior de los sedimentadores, donde se agrega hidróxido de calcio (cal) para aumentar el pH, eliminar malos olores y malos sabores.

Filtración: está constituido por cuatro (4) filtros cuyo lecho filtrante consta de grava, arena silíceo y carbón. En esta etapa todos los filtros operan simultáneamente y el agua filtrada baja a una galería para luego ser bombeada a los centros de consumo. Aquí se realiza una adición de cloro mediante cloradores a gas.

Almacenamiento: consta en primer lugar de un tanque de capacidad de 1200 m³ el cual recibe mediante una canal el agua proveniente de la galería de los filtros, de allí el agua es enviada a los tanques de 10000 m³ ubicados en el complejo, mediante un conjunto de seis (6) bombas las cuales poseen en su descarga un ducto de 24" para las tres primeras y 36" de diámetro para las tres restantes.

La planta descrita anteriormente presenta deficiencia para abastecer completamente el 100% del Complejo Petroquímico pues a medida que la población ha crecido y la implementación de nuevas plantas de fertilizantes, que están próximas a colocarse en marcha, ha ocasionado que la demanda de agua potable sea a su vez mayor y es por ello que se requiere hacer un análisis de las variables y/o funcionamiento de los equipos que componen las diferentes etapas del proceso y así proponer mejoras en el mismo.

1.2 Formulación del problema

La Planta de Agua Cruda I-106 del Complejo Petroquímico Morón, es quién suministra el agua requerida para los diferentes procesos que se llevan a cabo en el Complejo y



para consumo humano, por lo que su baja producción no abastecerá la necesidad del vital líquido para las demandas futuras de la empresa y a su vez se ha dificultado operacionalmente controlar los parámetros para lograr obtener agua de buena calidad como producto final. Es por ello que se están estableciendo lineamientos de estudios bajo condiciones actuales de demanda y de acuerdo a la calidad de agua del dique Morón, los cuales permitan determinar mediante un diagnóstico las fallas en la operación de las diferentes etapas que comprende el proceso y así proponer alternativas factibles que conlleven a minimizar la problemática, por tanto se plantea la siguiente interrogante: ¿Se podrán encontrar los puntos críticos en las etapas del proceso que permitan elaborar una propuesta de mejora para la producción de agua potable?

1.2.1 Situación actual

La necesidad de que el agua del proceso en el Complejo Petroquímico Morón sea purificada es imprescindible para que la calidad de los productos sea la más aceptable para el diferente mercado que tienen los productos de la empresa y así como también se encuentre dentro de los parámetros establecidos de agua para consumo humano, es por ello que el complejo posee en sus instalaciones una planta de potabilización de agua la cual actualmente cubre la demanda generada dentro de la empresa, más sin embargo el crecimiento de población y la construcción de nuevas plantas de producción que aún no se han puesto en marcha generará deficiencia a futuro y la actual producción no abastecerá dicha demanda. Además, la calidad del agua (turbidez) al final del proceso no es la adecuada para la utilización y/o consumo, posiblemente esto es provocado por la mala dosificación del floculante de polimerización en la etapa de floculación y deficiencia en el sedimentador. Por otra parte, los problemas climáticos que actualmente se presentan han causado etapas de sequías prolongadas en su principal fuente de materia prima. Por último la planta produce actualmente 450 L/s, cuando la misma fue diseñada para una producción de 900 L/s.



1.2.2 Situación deseada

Se pretende realizar un estudio que permita detectar los puntos críticos de la planta I-106 que deben ser controlados para poder garantizar que la cantidad y calidad del agua que se suministra como servicio industrial tanto para los procesos del Complejo Petroquímico como para el consumo sea la necesaria, esto se realiza con la finalidad de poder cuantificar y cualificar las recomendaciones de mejora para alcanzar la producción de diseño de la planta, logrando plantear la alternativa más factible en cuanto costo-beneficio.

1.3 Objetivos

1.3.1 General

Proponer mejoras al proceso de potabilización de agua en el Complejo Petroquímico Morón.

1.3.2 Específicos

1. Efectuar un estudio de caracterización del agua a la entrada y salida del proceso de potabilización en la Planta de Agua Cruda I-106.
2. Realizar un diagnóstico de las unidades de tratamiento que conforman el proceso de potabilización de agua.
3. Proponer alternativas que solventen las limitaciones diagnosticadas en las etapas del tratamiento de agua.
4. Seleccionar la(s) alternativa(s) más conveniente(s) en cuanto al criterio técnico-económico.
5. Diseñar la (s) alternativa (s) seleccionadas.
6. Evaluar la relación costo-beneficio de la (s) alternativa (s) seleccionada (s).



1.4 Justificación

Esta investigación tiene relevancia en el ámbito social y ambiental; ya que se incrementaría la producción de agua potable con una mejor calidad, lo que garantizaría un bienestar para las personas que laboran en la empresa así como una mejora en la calidad de los productos obtenidos para la comercialización; respecto a la parte ambiental no tiene efectos nocivos para el mismo pues la materia prima es agua que es un disolvente natural y dicha planta no produce efluentes.

Entre los beneficios generados por esta investigación se tiene un nuevo material de estudio y/o referencia para la Universidad de Carabobo, a su vez genera una conveniencia para la empresa ya que mediante este trabajo la misma tendrá una orientación hacia los cambios que se deben realizar en el proceso para obtener un buen producto. Se debe destacar que en el desarrollo de la investigación se realiza un estudio y brindará las posibilidades de reforzar los conocimientos adquiridos, así como permitirá el desarrollo de habilidades y destrezas en diversas áreas de interés.

Entre las implicaciones prácticas de esta investigación se presenta la propuesta para mejorar el proceso de potabilización, al fin de garantizar un incremento tanto en la producción como en la calidad del agua potable que se produce para el consumo humano y para la producción de los diversos productos de comercialización.

De igual forma, esta investigación presenta un aporte tecnológico ya que se establecerán controles automáticos a variables que son manipuladas manualmente en la actualidad.

Desde el punto de vista metodológico es de gran relevancia debido a que se estudiará la dosificación del floculante para establecer una relación de floculante por cantidad de agua y así obtener una cantidad específica para no exceder de la dosis y disminuir los costos de producción.

1.5 Limitaciones

Una de las limitaciones para el desarrollo de la investigación es la información de diseño, es decir, la memoria descriptiva de cuando fue implementada la misma.



CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

En el siguiente se mostrará con detalle trabajos anteriores que se realizaron y que guardan de una u otra forma relación con el tema de estudio, seguidamente los fundamentos teóricos necesarios para la comprensión del mismo.

2.1 ANTECEDENTES

2.1.1 Barona R. y Wilson O. (2009) realizan el diseño de una planta para la producción de agua apta para el consumo humano en la Planta de Producción de familia Sancela S.A. El proyecto se logró planteándose una serie de objetivos específicos tales como, realización de pruebas de caracterización del agua de captación, ejecución de diferentes pruebas de potabilización, realización de cálculos ingenieriles dimensionamiento de los equipos de proceso, especificaciones de la planta y por último la realización de un presupuesto previo a la implantación de la Planta de Potabilización. Entre las conclusiones más relevante se obtuvo que en la caracterización del agua del Río Cutuchi, los datos de los análisis se encuentran dentro de la Norma INEN NTE 1108, con excepción del valor de turbidez, la dosificación calculada de coagulante-floculante fue de 30 ppm, el diseño de la planta se efectúa con base a la remoción de olor, color y microorganismos para un caudal de 40L/s y finalmente el costo total de la Planta es de 177.759,29 dólares. Este antecedente presenta similitud con la investigación que se va a llevar a cabo, debido a que para el logro de los objetivos se llevan a cabo algunos objetivos específicos nombrados anteriormente, además que se trabaja con la misma finalidad de determinar las variables y parámetros con los cuales se debe operar una planta potabilizadora de agua; la diferencia principal se presenta ya que en el antecedente se va a diseñar una planta nueva y en la investigación se estudiará un planta ya instalada.

2.1.2 Bracho N. y Castillo J. (2009) analizan la etapa de cloración en la Planta Alonso de Ojeda (Planta "C") de Maracaibo con la finalidad de determinar la función de calidad bacteriológica como la formación de Trihalometanos (THMs) en el agua tratada del proceso de potabilización del agua. Su metodología implantada consistió en efectuar cambios operacionales para disminuir los (THMs), analizando: a) Condición de



operación tradicional, b) eliminando la pre cloración, c) sólo post-cloración, d) modificando el punto de pre-cloración hacia la entrada de los floculadores en ausencia de cloración intermedia. Obtuvieron como resultados relevantes la inyección de cloro en la pre-cloración y en la cloración intermedia la concentración de cloroformo en el agua es muy elevada y sobrepasa el límite establecido por la Organización Mundial de la Salud (OMS) a su vez que la formación de los Trihalometanos (THMs) incrementa en cada punto de inyección de cloro de manera lineal, por lo que se suprimió las etapas de pre-cloración y en la cloración intermedia, de allí se logró reducir la presencia de los THMs y el porcentaje de cloroformo se redujo a un 30% según lo plantea la OMS. La relación fundamental que tiene este trabajo de investigación con el que se estudia actualmente que es una de las etapas que se debe diagnosticar para la propuesta en la mejora de la potabilización del agua en el Complejo Petroquímico. Éstos se enfocaron en la adición del cloro de la potabilización del agua pues en la situación actual se deben analizar todas las etapas del proceso y ésta es una de las principales debido a que está íntimamente relacionado con la presencia de materia orgánica en el agua.

2.1.3 Rodríguez M. y col (2007) evalúan el proceso de coagulación de un agua superficial que sirve como fuente de abastecimiento para una planta potabilizadora no convencional (utilizando energías alternativas), mediante la aplicación de sulfato de aluminio tipo b, polielectrólito, almidón de yuca y almidón de maíz como coagulantes alternativos. Entre sus conclusiones está que el mejor coagulante natural fue el almidón de maíz, para esas condiciones de agua cruda; mientras que el almidón de yuca presentó un rendimiento bajo en comparación con los coagulantes convencionales. Por otra parte se considera que se deben hacer ensayos con coagulantes naturales para distintos tipos de agua con el fin de evaluar su eficiencia y eficacia. La similitud que presenta dicho trabajo con la investigación es el estudio realizado en el proceso de coagulación-floculación ya que la planta presenta esta fase como primera etapa, de manera convencional y el coagulante utilizado es sulfato de aluminio. Se diferencia en que la investigación va dirigida a un estudio general del proceso para encontrar mejoras en la planta, mientras que el antecedente sólo se enfoca al estudio de una etapa en específico.



2.1.4 Romero C. y Solorzano R. (2007) desarrollaron una síntesis de cuatro polímeros a base de aluminio de $[Al_{13}O_4(OH)_{24}(H_2O)_{12}]_7$ a diferentes pH en la etapa de clarificación donde ocurre la eliminación de las partículas coloidales por coagulación, floculación y sedimentación, en vez de la adición compuestos químicos como lo es el sulfato de aluminio el cual provoca desórdenes neurológicos al suministrar concentraciones elevadas del mismo. Entre los resultados y conclusiones que obtuvieron cabe destacar que en la síntesis del polímero a pH 4,50 y dosis de 25 a 45 ppm permitió una clarificación eficiente en una planta local de tratamiento y que la concentración de aluminio residual resultó menor que la observada para el sulfato de aluminio. La relación de este trabajo de investigación con el estudio que se está llevando a cabo es que una de las mejoras que se puedan presentar en la planta de potabilización de agua como punto crítico es la adición controlada o en tal caso cambiar el polímero en la etapa de coagulación-floculación, más sin embargo en el tema en estudio se deben analizar todas las unidades del proceso, no sólo la etapa de floculación como en la referencia mencionada.

2.1.5 Díaz D. y col (2000) proponen el diseño de un sistema de abastecimiento de agua potable para pequeñas comunidades rurales por medio de un sistema de colección de lluvia-planta potabilizadora. En base a los resultados obtenidos se puede concluir que el sistema de abastecimiento de agua potable que se propone, con base de un recolector de agua de lluvia acoplado a una planta potabilizadora, para ser una solución técnica apropiada para dotar del vital líquido a pequeñas comunidades rurales (200 habitantes), además es importante mencionar que la inversión inicial y de mantenimientos requeridos no resultan significativos comparados con la perforación y explotación de un pozo profundo y por último que los accesorios propuestos para optimizar el proceso son de bajo costo de mantenimiento, de fácil operación, con grandes posibilidades de aplicación masiva en plantas potabilizadoras de este tipo. La similitud generada entre este antecedente y la investigación es la necesidad de satisfacer la demanda de agua potable creada, además de la materia prima utilizada; y la diferencia presente es que en esta investigación el análisis económico no se compara con la perforación y explotación de un pozo profundo.

2.2 REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

2.2.1 FUENTES DE AGUA

Las fuentes principales de agua para posterior potabilización son aguas subterráneas o superficiales las cuales se pueden definir como:

- **Agua subterránea:** puede ser encontrada en la zona saturada del suelo, zona formada principalmente por agua. Se mueve lentamente desde lugares con alta elevación y presión hacia lugares de baja elevación y presión, como los ríos y lagos.
- **Agua superficial:** toda agua natural abierta a la atmósfera, como la de ríos, lagos, reservorios, charcas, corrientes, océanos, mares, estuarios y humedales.

2.2.2 ETAPAS DE TRATAMIENTOS

2.2.2.1 COAGULACIÓN Y FLOCULACIÓN

El tratamiento primario en la clarificación del agua, se denomina coagulación-floculación en la cual se añaden productos químicos y se hace un mezclado con agitación rápida para la primera y agitación lenta para la segunda.

Las partículas se encuentran en forma coloidal y son difíciles de sedimentar, por lo que se requiere de un aditivo químico denominado coagulante que permite la desestabilización de las partículas que están cargadas negativamente y éstas repelan las partículas del medio circundante. Los agentes coagulantes tienen la capacidad de comprimir la capa doble de iones alrededor de las partículas coloidales, estos controlan la repulsión electrostática entre ellas mediante neutralización y permiten que las mismas coagulen (Arboleda, 1977) como se muestra en la Figura 2.1.

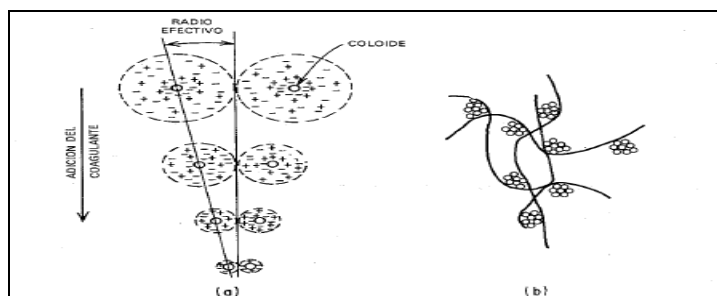


Figura 2.1 (a) Coagulación. (b) Floculación.

Fuente: Kemmer y McCallion, 1997.

La coagulación consiste en la eliminación de la materia suspendida, en la Tabla 2.1 se puede apreciar con detalle la eficiencia de remoción de ciertas sustancias que contiene el agua cruda.

Tabla 2.1 Efectos de la coagulación sobre las sustancias contenidas en el agua

Minerales	Parámetro
Turbidez	+++
Materias en suspensión	+++
Fosfatos (P_2O_5)	+++
Nitratos	0
Amonio	0
Cloruros	0, +
Sulfatos	0, +
Fluoruros	++
Hierro	+++
Aluminio	+++
Manganeso	+
Cobre	+++
Zinc	++
Cobalto	0
Níquel	0
Arsénico	`+++As ⁺⁵ , ++As ⁺³
Cadmio	++, +++
Cromo	`+Cr ⁺⁶ , +++Cr ⁺³
Plomo	+++
Mercurio	++
Cianuros	0
Orgánicos	
Color	+++
Olor	0, +
DQO	+++
COT	+++
DBO	+++
N KJELDHAL	+++
Fenoles	0
Hidroc. Aromáticos policíclicos	++
Pesticidas	+++
AGENTES DE SUPERFICIE (REACCIONANDO AL AZUL DE METILENO)	0,+
Microorganismos	
Virus	+++
Bacterias	+++
Algas	++

Fuente: Cárdenas, s.f

Nota:

Reducción máxima obtenida mediante la coagulación:

0: Nada de reducción

+: 1 a 20% de reducción

++: 20 a 60% de reducción

+++: > 60% de reducción



2.2.2.2 COAGULANTES

La alúmina ($\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot n\text{H}_2\text{O}$; sulfato de aluminio) es el coagulante más ampliamente usado, pero las sales de hierro (por ejemplo, el cloruro férrico, FeCl_3) también pueden ser usadas y en algunos casos, tienen ventajas sobre el sulfato de aluminio. Una ventaja significativa de las sales de hierro sobre la alúmina es la escala más amplia de pH

disponible para una buena coagulación entre (4,0-7,0) unidades y por encima de 9 para las sales férricas para las de aluminio (5,0-7,5). Así, en el tratamiento de aguas moderadamente coloreadas en donde se obtiene mejor la remoción con pH menores, se pueden preferir las sales de hierro como coagulantes. También se debe tomar en cuenta a las sales de hierro para la coagulación con pH elevados debido a que el hidróxido férrico es altamente insoluble en contraste con las sales de aluminio que forman iones solubles de aluminio con pH elevados. Para coagulación con pH medios se utiliza mayormente aluminato de sodio. Se dispone de los polielectrolitos sintéticos orgánicos como coagulantes pero, por lo general, no son económicos para sistemas pequeños de abastecimiento de agua ni tampoco se dispone de ellos con prontitud (Arboleda, 1977).

Para una buena coagulación, se debe alimentar en el agua la dosis óptima de coagulante y se le debe mezclar adecuadamente con ella. La dosis óptima variara dependiendo de la naturaleza de agua cruda y de su composición general. No es posible calcular matemáticamente la dosis óptima de coagulante para un agua cruda particular. Un experimento de laboratorio llamado "la prueba de jarra" es usado generalmente para la determinación periódica de la dosis óptima. (Arboleda, 1977)

El policloruro de aluminio (PAC) conduce a una concentración de metal (Al^{+3}) residual menor que los coagulantes tradicionales, a dosis equivalentes. Esta reducción es aun mayor al incrementar la basicidad del PAC. (Torra y col, 1998).

De una manera generalizada y sin entrar en casos particulares, se puede afirmar que los coagulantes pre-polimerizados tales como el PAC ofrecen una serie de ventajas frente a los coagulantes tradicionales como sales férricas, tanto en el tratamiento de aguas potables como residuales (Torra y col, 1998):



- Mayor reducción de turbidez, aguas húmicas y DQO. Mejor separación de flóculos. Ello supone una mayor capacidad de los decantadores, mayores tiempos de lavado de filtros y mayor producción de agua tratada.
- Margen de pH y dosis de trabajo superiores.
- Menor sensibilidad a bajas temperaturas.

2.2.2.3 PRUEBA DE JARRA

La prueba involucra tres partes básicas (Parra, 2010):

Mezclado rápido: En esta etapa se dispersa el químico coagulante y forma el floc vía neutralización de carga de material suspendido. El rango de agitación va desde 100-200 rpm ó 70-100% de la máxima proporcionada por el equipo. La duración de la mezcla va de 15-60 segundos. El coagulante es dosificado al inicio del mezclado rápido y debe ser dosificado en todas las jarras al mismo tiempo y la inyección debe ser al mismo ángulo.

Mezcla lenta: Permite que las partículas colisionen formando flocs más grandes capaces de sedimentar, la mezcla se realiza de 15-40 rpm (Dependiendo de las condiciones de la planta), lleva un tiempo de 3 a 20 minutos.

Tiempo de sedimentación: Simular el proceso de sedimentación de las partículas.

2.2.2.4 MEZCLA RÁPIDA

La mezcla rápida tiene por finalidad la dispersión inmediata de toda la dosis de sustancias químicas a través de la mesa de agua cruda. Para lograr esto, es necesario agitar el agua violentamente e inyectar la sustancia química en la zona más turbulenta para asegurar su dispersión uniforme y rápida. El mezclado tiene que ser rápido porque la hidrólisis del coagulante es casi instantánea (en pocos segundos). La desestabilización de los coloides también toma muy poco tiempo.

El mezclador rápido debería estar ubicado cerca del sitio donde se preparan las soluciones de sustancias químicas. En este caso las tuberías de alimentación serán de



poca longitud. También es deseable colocar el dispositivo de mezcla rápida cerca de los floculadores. A menudo es bastante difícil combinar ambos requerimientos en la disposición de una planta de tratamiento.

Se utilizan muchos dispositivos para proporcionar una mezcla rápida, para la dispersión de químicos en el agua. Básicamente, existen dos grupos:

- i. Hidráulicos.
- ii. Mecánicos.

En el caso del tema en estudio, se cuenta con mezcladores mecánicos, en los cuales el proceso usualmente utiliza tanques y equipos. Los tanques de mezcla rápida mecánica se proyectan generalmente de sección circular o cuadrada. Los mezcladores mecánicos se fabrican por una gran cantidad de industrias; consisten en general de hélices, paletas, turbinas u otros elementos similares acoplados a un eje de rotación impulsado por una fuerza motriz cualquiera. Los ejes giran a un número alto de revoluciones permitiendo agitar el agua en forma violenta y mezclando rápida y uniformemente el coagulante (Arboleda, 1977). Una manera de evaluar que el mezclado sea el óptimo es determinando el gradiente de velocidad, el cual engloba en su contenido a los números de Froude y el Reynolds, estos influyen en la determinación de la potencia requerida al agua; siendo el gradiente igual a:

$$G = \sqrt{\frac{P \cdot g}{\mu \cdot V}} \quad (2.1)$$

(Rivas, 1978)

Donde:

G : gradiente de velocidad, s^{-1}

V : volumen del tanque, cm^3

P : potencia, $g/cm/s$

μ : viscosidad del agua, $g/cm.s$

g : aceleración de gravedad, 980 cm/s^2



2.2.2.5 FLOCULACIÓN

La floculación es un proceso de agitación suave y continua de agua coagulada con el propósito de formar flóculos a través del agregado de las partículas más diminutas presentes en el agua. Consiste en un acondicionamiento del agua para formar flóculos, gracias a la adición de un polímero que forma una micela y aglomera los coágulos para formar una partícula con mayor densidad y puedan ser removidos con mayor facilidad mediante las unidades de tratamientos como lo es la sedimentación o filtración. La eficiencia del proceso de floculación está determinada, en gran parte, por el número de colisiones por unidad de tiempo entre las partículas coaguladas más diminutas. Existen floculadores mecánicos e hidráulicos.

En los floculadores mecánicos se logra la agitación del agua con dispositivos tales como paletas, conjuntos de paletas o rastrillos.

Se pueden adaptar estos dispositivos a un eje vertical u horizontal. Por lo general, se colocan los floculadores de eje vertical en un tanque cuadrado con varias cámaras (cuatro o más). Con floculadores de eje horizontal que tengan un flujo transversal, se deben proveer por lo menos 4 hileras de ejes con tabiques divisorios, de tal forma que se eviten los cortocircuitos.

En los floculadores hidráulicos, el flujo de agua está tan influenciado por estructuras hidráulicas pequeñas que da como resultado una acción de fuerte agitación (Arboleda, 1977).

2.2.2.6 TAMAÑO DEL FLOC PRODUCIDO

Se observa el tamaño producido y se evalúa cualitativamente según sus características. Puede expresarse su tamaño en milímetros de acuerdo con el comparador desarrollado por Walter Research Institute de Inglaterra (Figura 2.2), o según el índice de Willcomb (Tabla 2.2). Se escoge como dosis óptima la de la que produce una partícula más grande, de mayor velocidad aparente y que deje ver el agua más cristalina entre los flóculos (Arboleda, 2000).

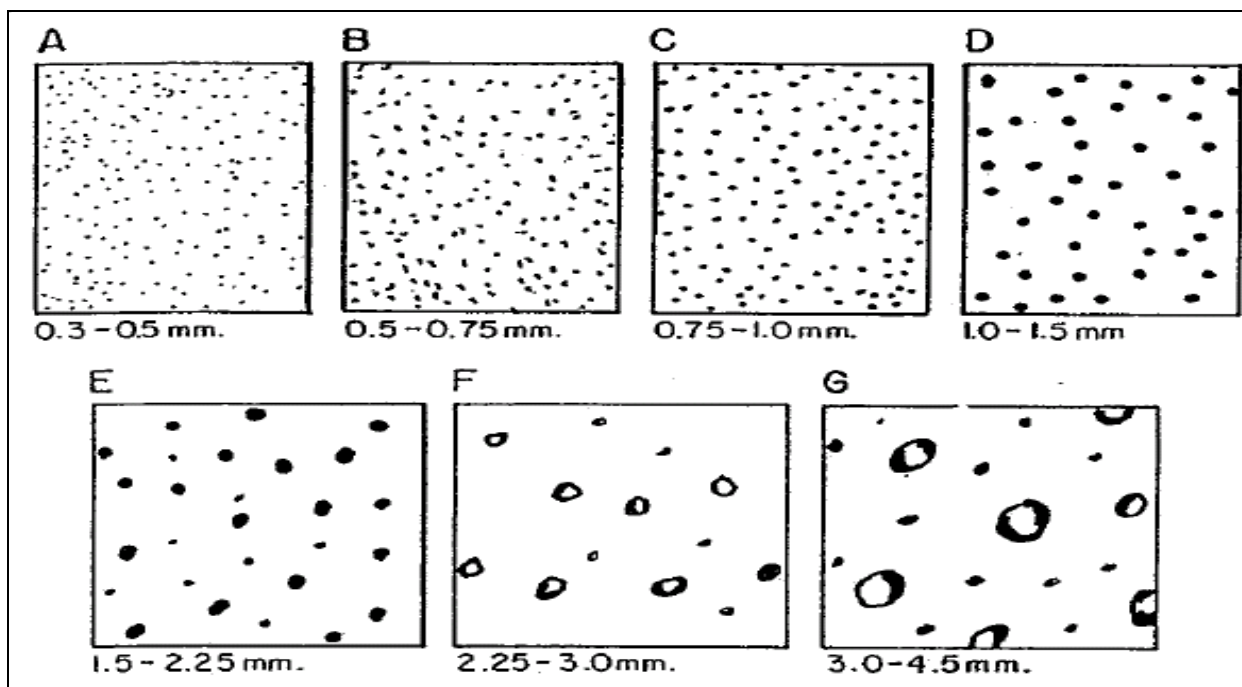


Figura 2.2 Comparador para estimar el tamaño del floc (según WRA).

Fuente: Arboleda, 2000

Tabla 2.2 Índice de floculación de Willcomb.

Número del índice	Descripción
0	Floc coloidal. Ningún signo de aglutinación
2	Visible. Floc muy pequeño, casi imperceptible para un observador no experimentado.
4	Disperso. Floc bien formado pero uniformemente distribuido. (Sedimente muy lentamente o no sedimenta).
6	Claro. Floc de tamaño relativamente grande pero que precipita con lentitud.
8	Bueno. Floc que se deposita relativamente fácil pero no completamente.
10	Excelente. Floc que se deposita todo dejando el agua cristalina.

Fuente: Arboleda, 2000

2.2.2.7 SEDIMENTACIÓN

Es un proceso mediante el cual se verifica la deposición de las partículas en suspensión por la acción de la gravedad, es decir, por la fuerza que desarrolla el peso de la partícula al caer, dicha materia removida se conoce como sedimentable y los sólidos que previamente se convirtieron en sedimentables mediante la coagulación-floculación, cuya separación sólido- líquido ocurre por gravedad y en reposo. Los sedimentadores tienen una clasificación de acuerdo al tipo de partícula a remover, como se muestra en la Tabla 2.3.

Tabla 2.3 Diferentes modelos de clarificación por sedimentación

Clarificación por sedimentación tipo	Características de los sólidos en suspensión	Descripción del proceso	Ejemplos
1	Partículas discretas y aisladas en soluciones diluidas	No hay interacción entre las partículas y el resto del fluido	Movimiento de sedimentación de partículas en desarenadores y pre-sedimentadores
2	Partículas aglomerables en soluciones relativamente diluidas	Las partículas se aglomeran agrupándose en partículas de mayor tamaño	Sedimentación de flocs en decantadores horizontales o de placas
3	Solución de concentración intermedia	Las partículas interfieren entre sí en su descenso manteniendo posiciones estables	Deposición de lodos en decantadores de flujo ascendente
4	Solución de alta concentración	Se forma una estructura entre las partículas que va modificándose lentamente con el tiempo	Compactación de depósitos de lodos

Fuente: Arboleda, 2000.



Cuando los sólidos en suspensión entran al clarificador (zona de decantación), debe tener un tamaño y una densidad tales que les permitan sedimentarse. Los estanques de sedimentación y los clarificadores están diseñados para proporcionar una circulación no turbulenta para que los sólidos se sedimenten, es decir, que la velocidad de sedimentación de las partículas supera la tasa de subida a la superficie de la zona de decantación en un determinado tiempo de detención. Para cada partícula existe una velocidad máxima que debe darse al agua por encima de la cual no sedimenta (Pérez, s.f).

Esta velocidad depende en cada caso de la forma y principalmente de la densidad del material considerado. Una partícula se mueve bajo la acción de dos fuerzas: una fuerza horizontal, resultante del movimiento del agua en el reactor, y una fuerza vertical debida a su propio peso. Por esta razón, a medida que la partícula avanza longitudinalmente dentro de la unidad, va descendiendo hacía el fondo. Si la partícula sometida a sedimentación estuviera sometida solamente a estas dos fuerzas, el tiempo necesario para atravesar la unidad sería suficiente para llegar al fondo. Pero en la práctica no sucede así, porque existe el movimiento ascensional del agua debido a la diferencia de temperaturas, a la acción de los vientos, etc. El período de detención teórico de un tanque es igual al volumen del tanque dividido para el caudal de agua que recibe (Pérez, s.f).

Como en todo sedimentador existen zonas muertas donde el agua casi no circula, o cortocircuitos, es decir un porcentaje del agua que sale rápidamente del tanque y no permanece dentro el tiempo previsto, el tiempo de detención real es casi siempre inferior al teórico.

Se considera un tiempo normal de detención en un sedimentador un período de cuatro horas. Existen dos tipos de decantadores o precipitadores, circulares y longitudinales.

En los decantadores circulares el sistema de barrido va sujeto a una estructura central alrededor de la cual gira, arrastrando por el fondo una lamina o un conjunto de rasquetas. El sistema de barrido es accionado por un equipo motor-reductor que, montado sobre el puente, acciona una rueda motriz que se desplaza sobre el muro del

decantador. Los fangos son barridos hacia una zona central donde se concentran para ser evacuados mediante un sistema de extracción (Romero, 2000).

En los decantadores longitudinales el sistema de barrido puede estar accionado por un puente que abarca todo el ancho de la unidad, o mediante cadenas sin fin sumergidas. Las fosas de lodos están situadas debajo de la ligada del agua floculada.

Existen a su vez unidades con manto de lodos con suspensión hidráulica y mecánica, la primera consiste esencialmente en un tanque de fondo cónico o tronco piramidal, en la parte inferior del cual se inyecta el agua cruda que asciende disminuyendo la velocidad a medida que el área aumenta y manteniendo así un manto de lodos hidráulicamente suspendido. Para el caso de suspensión mecánica se tiene una clasificación, como se muestra a continuación:

- i. De agitación simple
- ii. De separación dinámica
- iii. Pulsantes o de vacío

En el caso de estudio las dos (2) unidades presentes en campo son del tipo agitación simple, la cual está conformada principalmente en tanques por lo general circulares, en los cuales el agua es inyectada por abajo, de tal forma que se distribuya en el fondo. Un agitador mecánico que gira lentamente en el fondo, movido por un motor o por agua a presión, mantiene las partículas en suspensión y recolecta los lodos en un concentrador, de donde son removidos periódicamente (Figura 2.3). El agua tiene que ascender hasta las canaletas periféricas superiores, filtrándose en el manto de lodos. En estas unidades no existe recirculación de fangos (Romero, 2000).

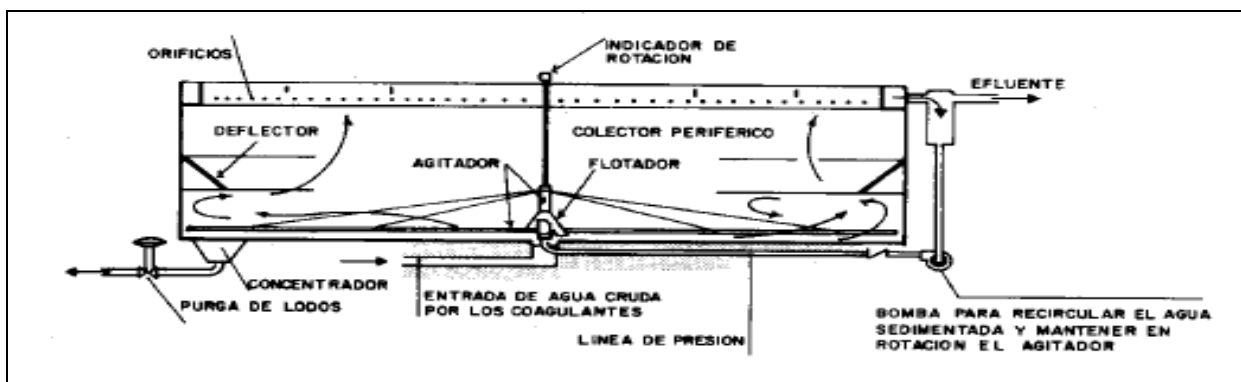


Figura 2.3 Unidad de agitación simple tipo Permutit.

Fuente: Romero, 2000.

2.2.2.8 FILTRACIÓN

El objetivo básico de la filtración es separar las partículas y microorganismos objetables, que no han quedado retenidos en los procesos de coagulación y sedimentación. En consecuencia el trabajo que los filtros desempeñan, depende directamente de la mayor o menor eficiencia de los procesos preparatorios.

La filtración puede efectuarse en muchas formas: Con baja carga superficial (filtros lentos) o con alta carga superficial (filtros rápidos), en medios porosos (pastas arcillosas, papel de filtro) o en medios granulares (arena, antracita, granate o combinados), con flujo ascendente de abajo hacia arriba o descendente de arriba hacia abajo y mixto (parte ascendente y parte descendente). Por último, el filtro puede trabajar a presión o por gravedad, según sea la magnitud de la carga hidráulica que exista sobre el lecho filtrante (Arboleda, 2000). En la Figura 2.4 se muestra un esquema representativo de una piscina de filtración, donde se visualiza la dirección y sentido del caudal y el espacio que ocupa el lecho filtrante.

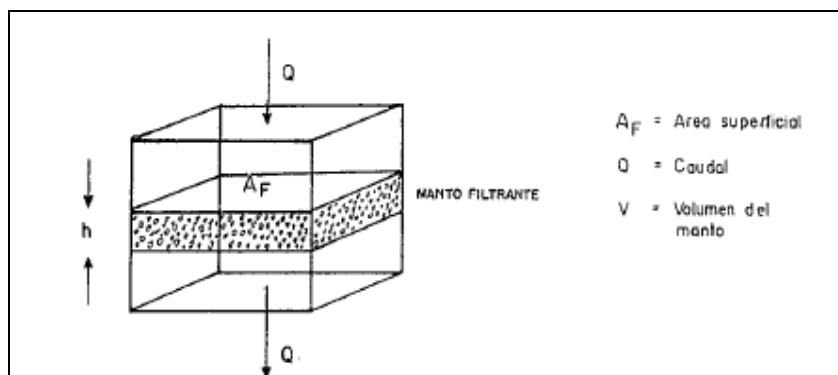


Figura 2.4 Bosquejo de una piscina de filtración.

Fuente: Arboleda, 2000.

Filtros rápidos convencionales

Los filtros convencionales esencialmente constan de un tanque rectangular de concreto de 3.5 a 5 m de profundidad total, en el cual se coloca un lecho de arena y grava sobre un sistema adecuado de drenaje (Arboleda, 2000). En la Figura 2.5 se muestra las partes de un filtro rápido convencional, ubicación del lecho filtrante y las diversas líneas de entradas y salidas de agua tanto de la filtración como para lavado.

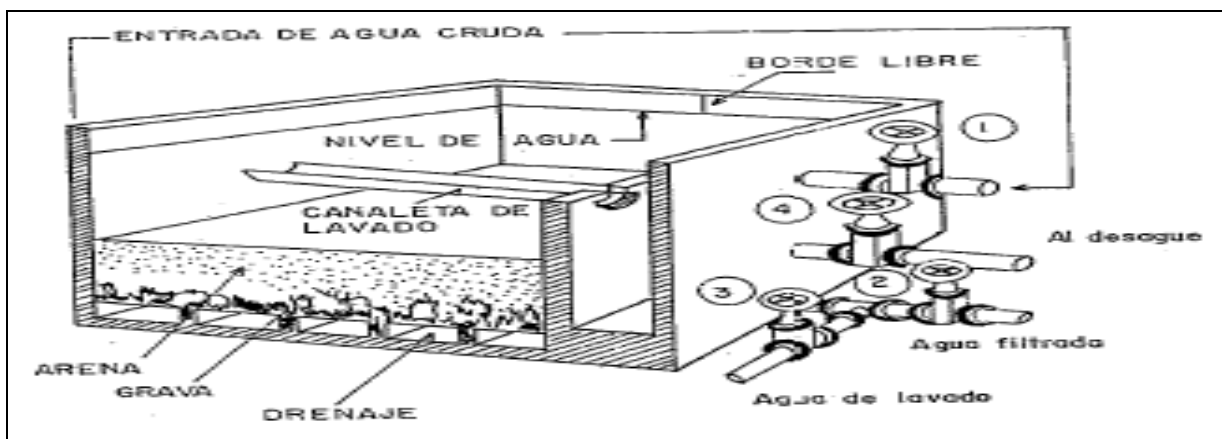


Figura 2.5 Partes del filtro rápido convencional

Fuente: Arboleda, 2000.

El sistema consta de cuatro flujos básicamente:

1. Un flujo de entrada del agua decantada al filtro.
2. Un flujo de salida del agua ya filtrada.
3. Un flujo de entrada del agua de lavado al filtro para hacer la limpieza del medio filtrante.
4. Un flujo de desagüe del agua sucia proveniente del lavado de la unidad.
5. Un flujo de relavada para eliminar el primer filtrado cuya calidad es generalmente mala.

El flujo pasa de la parte superior del tanque, cuya profundidad se suele hacer de 0.50 a 2.00 m, a los drenes del fondo atravesando el lecho filtrante (Arboleda, 2000). Como al cabo de cierto número de horas de servicio el filtro se obstruye, se hace necesario lavarlo invirtiendo el sentido del flujo, por medio de agua que se inyecta a presión en los drenes y se recoge en las canaletas de lavado colocadas sobre la superficie de arena, como lo muestra la Figura 2.5. Esta operación dura de 5 a 15 minutos, después de la cual el filtro vuelve a su operación normal.



Lechos filtrantes

Antracita: debe tener una dureza 2,7 ó mayor en la escala de Moh y su peso específico no debe ser menor de 1,40. El contenido de carbón libre no debe ser menor libre del 85% del peso, la solubilidad en el HCl al 40% durante 24 horas debe ser inferior al 5% y no más de 2% debe perderse en una solución al 1% d NaOH. El máximo porcentaje de partículas plana debe ser del 30%. Una de principales características de la antracita debe ser la durabilidad. Las antracitas son arrastradas por el flujo de lavado, con lo que el volumen y altura del medio en los filtros disminuye. Su porosidad varía entre el 56% y el 60% y su capacidad de retención de material es mayor que la de la arena (Arboleda, 2000).

Arena: éstas son efectivas dependiendo de su forma, por ejemplo redondeadas tienen porosidades que varían entre 42% y 45%(Arboleda, 2000). , las arenas angulares poseen porosidades mayores. La porosidad varía según el grado de compactación del lecho y la limpieza del mismo. Comúnmente a menor porosidad mejor efluente se obtiene, pero la pérdida de carga aumenta rápidamente debido a una menor capacidad de almacenaje de partículas en los poros.

Grava: se coloca sobre el sistema de drenaje cuando éste lo requiere y tiene un doble propósito:

- Servir de soporte al lecho de arena durante la operación de filtrado para evitar que ésta se escape por los drenes.
- Distribuir el agua de lavado.

2.2.2.9 DESINFECCIÓN

La desinfección consiste en eliminar o remover la materia orgánica y/o bacteriológica que contiene el agua la cual son nocivas para la salud, en el caso de que ésta se trate físico-químicamente y sea apta para consumo. La desinfección se puede dividir en dos ramas natural y artificial (Kemmer y McCallion, 1997).



Desinfección natural: se refiere a la muerte progresiva de las bacterias, producida por agentes naturales tales como la luz solar, la sedimentación, la filtración en las capas arenosas del suelo, o la estabilización de la materia orgánica que disminuye la reserva de alimento para los microorganismos.

Desinfección artificial: esta puede realizarse mediante agentes físicos y químicos. Entre los físicos se tiene el uso de calor y rayos ultravioleta; entre los químicos es usual el uso de halógenos como cloro, yodo y bromo así como también el ozono.

Desinfección por cloro.

El cloro es uno de los bactericidas más importantes en el tratamiento de agua. La dosificación se realiza en dos etapas:

Pre- cloración: ésta se efectúa con la finalidad de disminuir la materia orgánica presente en el agua cruda, como también se encuentra suspendida compite con la formación del coagula en la zona de reacción.

Post-cloración: ésta se realiza para garantizar que la materia orgánica presente se elimine en su totalidad y pues en las líneas de tubería puede haber presencia de éstas hasta que el agua llega al punto de consumo y uso (Powell, 1987).

2.2.3 CONTAMINANTES DEL AGUA

Turbidez

De acuerdo a la guía de control del tratamiento del agua Pequiven, 2009, los sólidos en suspensión se mantienen en el agua debido a su naturaleza coloidal que viene dada por las pequeñas cargas eléctricas que poseen estas partículas que las hacen tener una cierta afinidad por las moléculas de agua. Los sólidos en suspensión incluyen materiales como arena fina, fango, vegetación putrefacta, bacterias, algas y otros microorganismos. Este tipo de sólidos como tales son difíciles de eliminar siendo necesaria la adición al agua de agentes coagulantes y floculantes que modifican la



carga eléctrica de estas partículas consiguiendo que se agrupen en flóculos de mayor tamaño para así poder separarlos.

La turbidez es un parámetro relacionado con el grado de transparencia y limpieza del agua que a su vez depende de la cantidad de sólidos en suspensión del agua que pueden ser resultado de una posible actividad biológica o simplemente una presencia de componentes no deseables. La técnica de medida de la turbidez más utilizada es la nefelometría, o método de dispersión de la luz; las lecturas se toman con un nefelómetro, el cual es un aparato que dirige una fuente de luz a la muestra de agua. Las partículas de turbidez dispersan la luz cuando el rayo luminoso pasa por la muestra. La cantidad de la luz dispersada se relaciona con la cantidad, el tamaño y el color de las partículas. La unidad de turbidez en este caso es la NTU (unidad nefelométrica de turbidez).

Color

Las aguas de escorrentía transportan a los ríos y lagos materiales orgánicos provenientes de la vegetación, los cuales colorean al agua. El color está asociado habitualmente con taninos y ligninas presentes naturalmente y se mide mediante un procedimiento de comparación visual con colores estándar de Platino y Cobalto o usando medidores de color HACH. Estos colores estándar son soluciones de sales de Platino y Cobalto y son las bases de la escala de color de la “American Public Health association” (APHA). La mayor parte de las plantas industriales no especifican el color del agua final, puesto que la mayoría de los suministros de agua no contienen suficiente color para afectar el intercambio iónico o a los usos de los procesos. En plantas con suministro de aguas fuertemente coloreadas (más de 30 APHA) con frecuencia se establece una especificación de color de 10 APHA, especialmente si el agua va a desmineralizadores o si se usa para hacer papel blanco, ya que afectan la calidad (Pequiven, 2009).

Dureza

La dureza está relacionada a las sales de calcio y de magnesio disueltas en un agua, expresadas en carbonato de calcio. Ésta se clasifica en dos grupos, dureza temporal,



también llamada de carbonatos, es la que corresponde a la dureza que proporcionan los bicarbonatos de calcio y de magnesio, y dureza permanente o de no carbonatos, es la debida a la presencia de sulfatos, cloruros nitratos de calcio y de magnesio disueltos en el agua. Resulta de la adición del ácido carbónico del agua de lluvia que se infiltra a través de los suelos ricos en depósitos de calcio y magnesio. La dureza se puede reducir por ablandamiento de cal en frío; la clarificación con alumbre y el ajuste del pH con cal $[\text{Ca}(\text{OH})_2]$. La meta de la reducción de la dureza en el ablandamiento depende del uso del agua. En las plantas industriales es deseable que el agua de reposición para torres de enfriamiento tenga una baja dureza de calcio. Con baja dureza de calcio los ciclos pueden ser de mayor concentración y se reducen los costos de purga y de productos químicos del agua de enfriamiento. La reducción de la dureza de calcio antes del intercambio iónico reduce la carga y los costos del regenerador (Pequiven, 2009).

Aluminio

El alumbre y el aluminato sódico usados para la clarificación añaden iones de Aluminio al agua. Se han debatido mucho las consecuencias para la salud del aluminio contenido en el agua potable. Con el tiempo, el aluminio soluble puede precipitar añadiendo turbidez al sistema. Esta pos precipitación causa problemas de “agua blanca” en el sistema de distribución. Se recomienda mantener las concentraciones de aluminio por debajo de 1ppm (como al), para evitar esta situación. En muchos procesos y usos se debe mantener el aluminio, tanto soluble como insoluble, a bajas concentraciones. Para el agua de enfriamiento, lo más probable es que el aluminio analizado en los depósitos venga del aluminio soluble y del arrastre de floculado de los clarificadores. El arrastre de óxido de aluminio insoluble taponará el medio de intercambio iónico (Pequiven, 2009).

Hierro y manganeso

El agua de lluvia que contiene dióxido de carbono, disuelve el hierro y el manganeso de los minerales del terreno. Las concentraciones de hierro y manganeso son normalmente bajas, comparadas con la dureza. Estos elementos no son un riesgo para la salud, pero colorean el agua. El hierro produce problemas de “agua roja”, y el manganeso de “agua



negra". Ambos pueden causar ensuciamiento de las resinas de intercambio iónico. Generalmente, hay que reducir el hierro a menos de 0.05 ppm. (Pequiven, 2009).

Sílice

La sílice (SiO_2) abunda en la naturaleza y está presente en todas las aguas naturales. En las aguas superficiales las concentraciones varían entre 1 y 10 ppm; no obstante, en algunos pozos las concentraciones de 25 a 50 ppm son comunes cuando la alcalinidad es elevada y la dureza es baja. La sílice puede estar disuelta o en forma de coloide.

La sílice coloidal aunque es difícil de eliminar, se puede reducir mediante coagulación. El agua destinada a calderas debe contener niveles bajos de sílice. La sílice soluble se puede eliminar por desmineralización, pero la reducción de la sílice antes del intercambio iónico reduce la carga y alarga los ciclos del desmineralizador. (Powell, 1987)

Sólidos totales disueltos

Para la desmineralización, es conveniente tener el nivel más bajo posible de sólidos totales disueltos con el fin de aumentar los ciclos y reducir los costos del regenerante. Puesto que no añaden iones orgánicos, los polímeros coagulantes pueden reducir la concentración de sólidos disueltos y reducir al mínimo el ajuste final del pH. (Pequiven, 2009).

pH

Es un indicativo de cuán ácida o básica es el agua. Para uso industrial es un veneno que el agua se ácida pues es corrosiva y deteriora los ductos, equipos entre otros, si es muy básica puede contener sólidos insolubles que generen la incrustación. Este parámetro está íntimamente relacionado con la alcalinidad del agua. En el agua de consumo el agua debe contener un pH mayor a 7 y menor a 8,5 (norma vigente venezolana, 1998).

Alcalinidad

En el agua cruda la alcalinidad presente es normalmente alcalinidad de bicarbonato (H_2CO_3^-). El ablandamiento con cal puede reducir la alcalinidad de carbonato a menos de 50 ppm (como carbonato cálcico). Aunque en la clarificación del agua cruda se reduce la alcalinidad mediante la adición de alumbre ácido, sales de hierro y cloro, estas plantas normalmente no consideran la reducción de la alcalinidad de carbonato como un tema de tratamiento.

De acuerdo a la figura 2.6 se muestra la relación de alcalinidades las cuales son dependiente del valor de pH, de aquí se puede hacer énfasis la presencia del CO_2 es pH bajos, el H_2CO_3^- en un rango de 4,2 y 8,3 así como también a valores mayores a este se tiene la presencia de los carbonatos y de bases, que para este último el pH debe oscilar entre 9 y 11. Donde m y p están referidos a la alcalinidad de acuerdo al volumen gastado en la valoración con naranja de metilo si es base el titulante y fenolftaleína si es un ácido (Parra, 2010).

	Bicarbonato	Carbonato	Hidróxido
$P = 0$	M	0	0
$P < \frac{1}{2} M$	$M - 2P$	$2P$	0
$P = \frac{1}{2} M$	0	$2P$	0
$P > \frac{1}{2} M$	0	$2(M - P)$	$2P - M$
$P = M$	0	0	M

M = alcalinidad al anaranjado de metilo
P = alcalinidad a la fenolftaleína

Figura 2.6 Relación entre alcalinidades

Fuente: Powell, 1987

Fosfatos

Proviene del fósforo disuelto en el agua, éstos tienen el poder de retención y transportar por complejación metales en el agua. El fósforo que forma a los fosfatos procede de ciertas rocas en el arrastre en el agua. La forma de ser eliminado es haciéndolo precipitación química.



Materia orgánica

Se presenta mediante microorganismos, algas, bacterias y en forma coloidal que son grandes contaminantes para el agua de consumo y para uso industrial porque interfiere en el buen desempeño de las líneas y los equipos. Es en la etapa de coagulación donde se remueve en un 60% esta carga contaminante.

2.2.4 ÍNDICE DE LANGEЛИER

Es un parámetro que suministra cuan corrosiva o incrustante es el agua, este se determina mediante la siguiente ecuación:

$$LSI = pH - pH_s \quad (2.2)$$

(Hurtado y asociados, 1973)

Donde:

LSI: índice de Langelier, Adim.

pH: pH de la muestra, Adim.

pH_s: pH donde precipita el CaCO₃, Adim.

El valor del pH_s viene dado en función a la dureza, temperatura, alcalinidad y sólidos disueltos. En la Tabla 2.4 se muestra la característica del agua de acuerdo al valor (LSI).

Tabla 2.4 Características del agua de acuerdo al índice de Langelier

Característica	Valor
Extrema incrustación	3
Muy severa incrustación	2
Severa incrustación	1
Moderada incrustación	0,5
Ligera incrustación	0,2
Agua estable	0
Ligera corrosión	-0,2
Moderada corrosión	-0,5
Fuerte corrosión	-1
Severa corrosión	-2
Muy severa corrosión	-3

Fuente: Parra, 2010

El índice de estabilidad (índice de Langelier) (según Parra, 2010) si es cero, la muestra de agua está en equilibrio, un índice positivo indica sobresaturación o tendencia a depositar una capa de CaCO_3 ; en el interior de la tubería y un índice negativo, indica que el agua no está saturada con CaCO_3 y que tiene tendencia corrosiva como se muestra en la Tabla 2.4 donde a su vez se el agua toma características de incrustante y corrosiva de acuerdo al valor que esta contenga.

2.2.5 DIAGRAMA DE ISHIKAWA

Un diagrama de Causa -Efecto facilita recoger las numerosas opiniones expresadas por el equipo sobre las posibles causas que generan el problema Se trata de una técnica que estimula la participación e incrementa el conocimiento de los participantes sobre el proceso que se estudia.

Esta técnica fue desarrollada por el Doctor Kaoru Ishikawa en 1953 cuando se encontraba trabajando con un grupo de ingenieros de la firma Kawasaki Steel Works. El resumen del trabajo lo presentó en un primer diagrama, al que le dio el nombre de Diagrama de Causa y Efecto. Su aplicación se incrementó y llegó a ser muy popular a través de la revista Gemba To QC (Control de Calidad para Supervisores) publicada por la Unión de Científicos e Ingenieros Japoneses (JUSE). Debido a su forma se le conoce como el diagrama de Espina de Pescado. El reconocido experto en calidad Dr. J.M. Juran publicó en su conocido Manual de Control de Calidad esta técnica, dándole el nombre de Diagrama de Ishikawa (Figura 2.7).

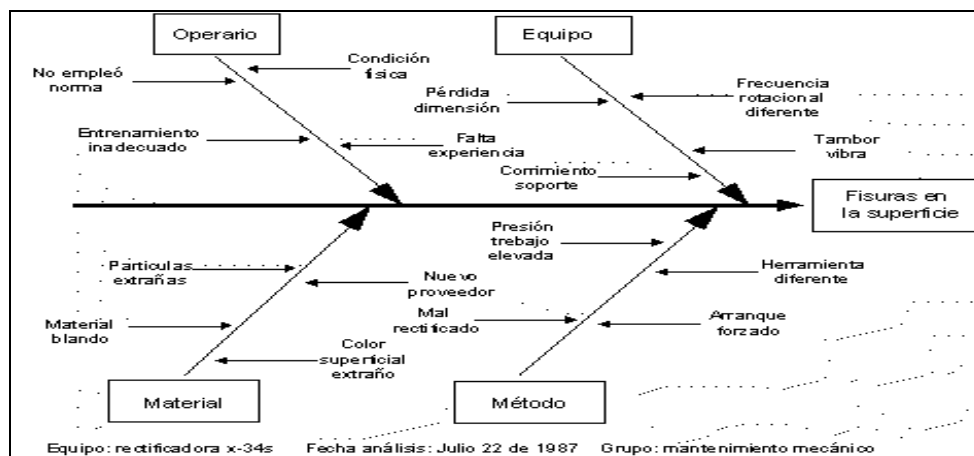


Figura 2.7 Representación de un diagrama Causa-Efecto

2.2.6 BENTONITA

Las bentonitas son arcillas de estructura laminar que pertenecen al grupo de los filosilicatos (Figura 2.8). La montmorillonita es el mineral predominante. Habitualmente, se las consideran como silicatos de aluminio, de fórmula simplificada: $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 4\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$, su composición química se muestra en la Tabla 2.6.

Tabla 2.6 Composición química de la Bentonita

Análisis químico	Porcentaje
SiO_2	56%
Al_2O_3	21%
Fe_2O_3	6%
MgO	3,5%
CaO	1,5%
Na_2O	0,5

Fuente: Laalittoralees_Enología, s.f

La bentonita es usada actualmente en el mercado para la clarificación del vino, eliminando las proteínas inestables que son constituyentes indeseables en el vino, los cuales a diferentes pH tienen una carga determinada. Si esta carga resulta ser opuesta en signo a las cargas de las partículas en suspensión que causan turbidez, puede ocurrir una neutralización electrostática y posteriormente una adsorción. En la operación de clarificación, las pequeñas partículas que provocan turbidez son inducidas por medio de esta atracción electrostática a unirse entre sí (fenómeno llamado floculación) para formar partículas de mayor tamaño. Éstas tienden a sedimentarse en el fondo del tanque arrastrando en su caída partículas más pequeñas, mejorando de esta forma la clarificación y la filtración del vino. En la Figura 2.8 se muestra la estructura y apariencia de la bentonita.

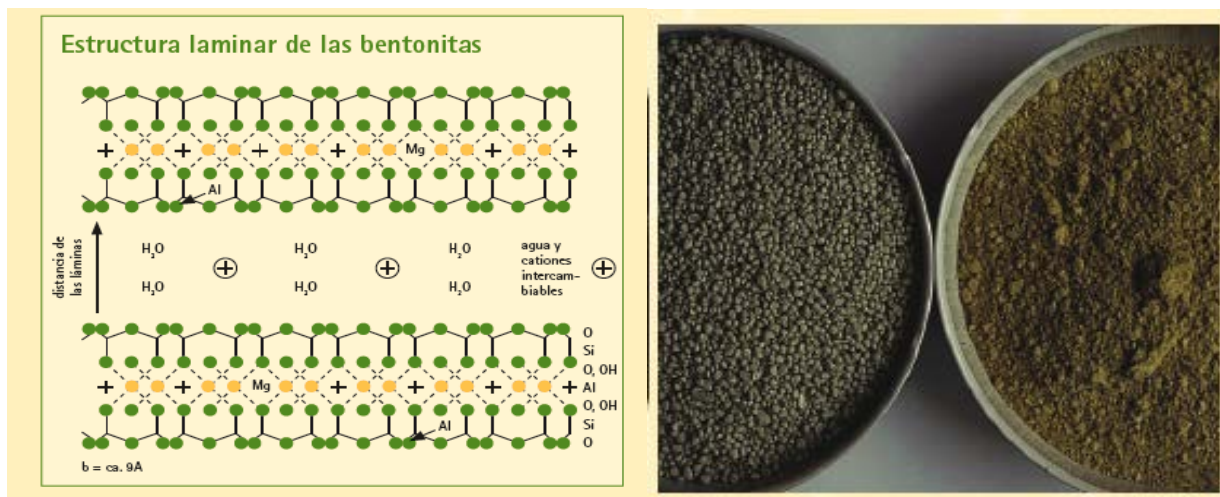


Figura 2.8 Estructura y aspecto de la Bentonita.

Fuente: Laalittoralees_Enología, s.f

2.2.7 INFLUENCIA DE LA CAL EN LA POTABILIZACIÓN

La cal es usualmente utilizada en la coagulación porque proporciona iones bivalentes que colabora con la desestabilización de los coloides y evita que decaiga el pH. Es más efectiva cuando el agua está desmineralizada (Arboleda, 2000)

Una deficiencia de aplicar la cal ante de la etapa de filtración es que al aumentar el pH las partículas se vuelven más electronegativas, las fuerzas entre los granos (lecho filtrante) y las partículas de la suspensión, si bien siguen siendo atractivas en las capas superiores se hacen más repulsivas en las interiores, y podría deberse a ello el incremento en la turbiedad.

De aquí se deduce que no es práctica recomendable el agregar cal antes de filtrar el agua, pues esto causa incrustaciones en los granos del medio filtrante y además desmejora la calidad del efluente. (Arboleda, 2000).

2.2.8 TANQUES DE IGUALACIÓN

Son utilizados en su mayoría para aguas residuales para igualar las concentraciones de los diferentes contaminantes presentes de las diversas corrientes de entrada a la planta, entre sus ventajas se encuentran:



- Reducir las cargas de choque, se diluyen las sustancias inhibidoras.
- Se consigue estabilizar el pH
- Mejorar la calidad del efluente y del rendimiento de los tanques de sedimentación secundaria a trabajar con carga de sólidos constantes
- Reducción de las superficies necesarias para la filtración del efluente, mejora el rendimiento de los filtros y posibilidad de conseguir lavados más uniformes. (Metcalf y Eddy, 1996).

El volumen necesario para un tanque de igualación se estima mediante un balance de masa del gasto entrante a la planta con el gasto promedio para el que la planta está diseñada. Las bases teóricas son las mismas que para el diseño de tanques de regularización de agua potable.

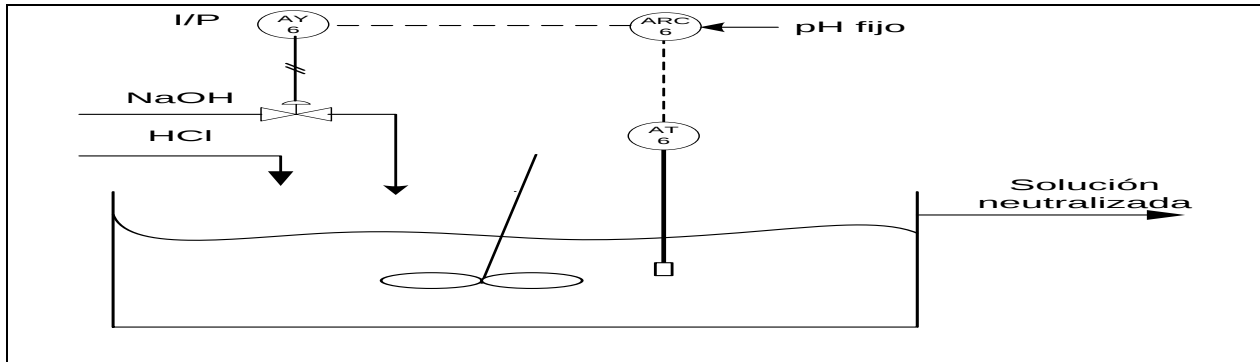
2.2.9 CONTROL DE PROCESOS

El control automático de procesos es una de las disciplinas que se ha desarrollado a una velocidad vertiginosa, dando las bases a lo que hoy algunos autores llaman la segunda revolución industrial. El uso intensivo de las técnicas del control automático de procesos tiene como origen la evolución y tecnificación de las tecnologías de medición y control aplicadas al ambiente industrial

El control automático es el mantenimiento de un valor deseado para una cantidad o condición física, midiendo su valor actual, comparándolo con el valor referencia, y utilizando la diferencia para proceder a reducirla mediante una acción correctiva. En consecuencia, el control automático exige un lazo cerrado de acción y reacción que funcione sin intervención humana.

Lazo de control para pH

Según Corripio, 2008 muestra un esquema para neutralizar agua de desecho (Figura 2.9) y se especifican los siguientes datos para el caso: controlador proporcional integral (PI) y el punto de control de diseño del pH 7, transmisor se calibra para un rango de 1 a 13, la válvula de control tiene una caída constante de presión de 10 psi y un





La relación costo- beneficio es el cociente entre dichos valores, donde el numerador como el denominador se deben calcular en términos de su valor equivalente, ya sea, a través del valor actual (Bs) o del equivalente anual (Bs/año).

Desde el punto de vista económico, un proyecto se justifica si:

$$R_{C-B} \leq 1$$

Al ser iguales los beneficios y los costos equivalentes, se establece la justificación mínima para la realización de la inversión y se garantiza la recuperación total por parte de los usuarios en forma de beneficio, del gasto que se requiere en la implementación del proyecto (Giugni y col, 2009).



CAPÍTULO III

MARCO METODOLÓGICO

El siguiente define el tipo de investigación según el nivel de profundidad y diseño empleado, incluye la descripción detallada de las actividades que engloban estrategias, técnicas y procedimientos para el logro de los objetivos planteados para así cumplir el objetivo general.

3.1 TIPO DE INVESTIGACIÓN

La estrategia utilizada en la presente investigación para cumplir con la finalidad planteada es de tipo campo, esto se debe a que el objeto de estudio sirve como fuente de información ya que la misma se ejecuta directamente en el lugar de trabajo y los datos obtenidos son originales o primarios. (Según Arias, 1999): “la investigación de campo: consiste en la recolección de datos directamente de la realidad donde ocurren los hechos, sin manipular o controlar variable alguna”.

De acuerdo con el nivel de profundidad y con base a la pirámide holística, se infiere que la investigación es de tipo proyectiva, ya que la misma consiste en crear o diseñar alternativas que mejoren el proceso de potabilización de la Planta de Agua Cruda I-106, basándose en un proceso que requiere descripción, análisis, comparación, explicación y predicción.

3.2 DESARROLLO EXPERIMENTAL

3.2.1 Elaboración de un estudio de caracterización del agua a la entrada y salida del proceso de potabilización en la Planta de Agua Cruda I-106.

3.2.1.1. Revisión de las normas de agua potable

Actualmente la norma vigente de agua potable en el país es la Gaceta oficial del 13 de Febrero de 1998, número 36.395 (apéndice D), la cual define los parámetros de calidad y los análisis requeridos para caracterizar la misma.

3.2.1.2. Planificación del experimento

Tiempo: se hizo un estudio comprendido entre el mes de Noviembre y Diciembre del año 2010.

Lugar: se tomaron muestras de agua cruda provenientes del río Morón del punto de toma muestra ubicada en la planta y posteriormente se tomaron muestras del agua potable de igual forma en el punto de muestra ubicado en campo (Figura 3.1).

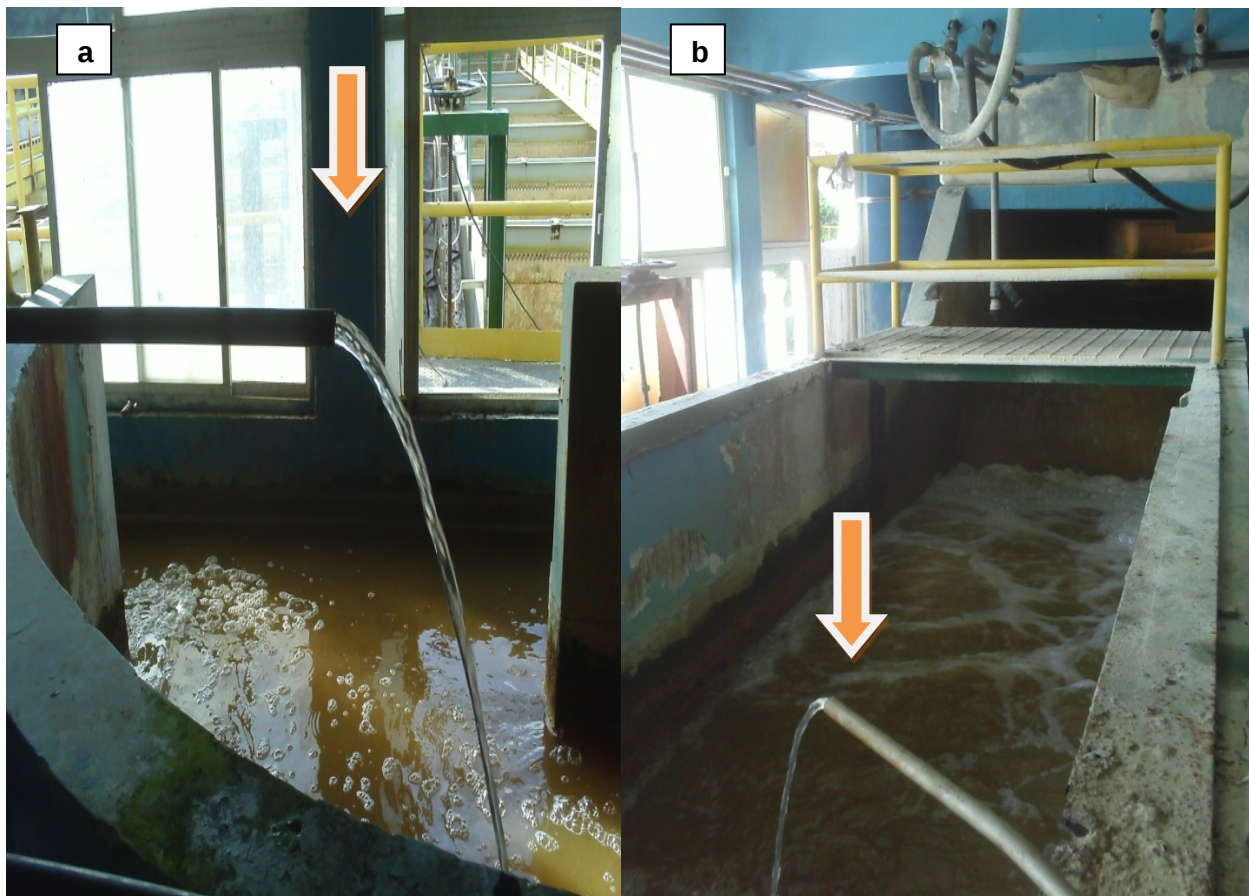


Figura 3.1 ^(a) Toma de muestra de agua tratada y ^(b) toma de muestra de agua cruda.

Fuente: Pequiven, 2010.

Muestras: el muestreo se realizó tres veces por semana en horas de la tarde, en envases de polipropileno de 1000 mL de capacidad, donde cada envase se procedía a curar dos veces con el agua a recolectar y luego se tomaba la muestra hasta su rebose



en el recipiente colector. Se refrigeraban los envases correspondientes a ambas muestras para su posterior caracterización físico-química.

3.2.1.3 Aplicación de la técnica de análisis

Dichas muestras fueron llevadas al Laboratorio Central del Complejo Petroquímico Morón, donde los analistas realizaron las pruebas indicadas en la Tabla 3.1, cuyos procedimientos a seguir están fundamentados en los Métodos Estándares y corresponden a métodos internos de la empresa. Finalmente se tiene la obtención de la caracterización de las muestras recolectadas.

Tabla 3.1 Pruebas de caracterización de las muestras de agua cruda y potable

Pruebas	Métodos
Alcalinidad total	2320
Aluminio	3500-Al
Cloruros	2510
Conductividad	4500-Cl ⁻ B
Dureza cálcica	2340
Dureza total	2340
Hierro	3500-Fe
pH	4500-pH value
Sílice	4500-silica
Sólidos disueltos totales	2540 C
Turbidez	2130
Color	2120
Manganeso	3500-Mn
Fosfato	4500-P E
Materia orgánica	5310

Fuente: Pequiven, 2010



Luego de obtenida la data, los valores se graficaron para estudiar su comportamiento, y se determinó el factor de remoción de los parámetros de entrada y salida.

3.2.2 Realización del diagnóstico de las unidades de tratamiento que conforman el proceso de potabilización del agua.

3.2.2.1 Comprensión del funcionamiento de la planta y de proceso de potabilización de agua.

Para ello fue necesario realizar una búsqueda exhaustiva de los manuales y/o material de diseño de la planta la cual se elaboró un cuadro resumen de cada equipo, (Tabla D.1, apéndice D) con la información de diseño y parámetros relevantes de su funcionamiento.

También se hicieron visitas periódicas a la planta para conocer más de cerca el proceso y a su vez se hicieron preguntas a los operadores de turno de los puntos que ellos consideraban críticos los cuales impiden que el proceso se lleve a cabo de manera óptima.

Se obtuvo data del DTI (Diagrama de Tubería e Instrumentación) de la planta desde su diseño y se enfatizaron las variables relevantes que involucran cada equipo que conforma las tres etapas fundamentales del proceso.

3.2.2.2 Evaluación de las unidades de tratamiento que comprenden cada etapa del proceso.

Levantamiento de variables operacionales: se estableció hacer una caracterización a las muestras de agua de acuerdo a lo observado en los recorridos realizados a la planta y a su vez considerando los parámetros de control que se manejan directamente en campo.

Puntos de muestreo: se hizo un recorrido por las diferentes etapas del proceso y se establecieron las variables de medición así como los puntos de muestreo donde el agua

fuese uniforme es decir, en los canales de entrada y salida de cada equipo, así como también de las tomas de muestras que se encuentran disponibles para agua cruda y potable. En total 17 puntos de muestreo los cuales se pueden observar en la Figura 3.2 y son los siguientes:

- (1) Toma muestra de agua cruda dispuesta en la planta proveniente del Dique Morón.
- Canal de salida de los mezcladores rápidos.
- (4) Canal de salida de cada sección de los dos (2) sedimentadores.
- (2) Canal de entrada a los filtros.
- (8) Toma muestra de la sección A y B de los cuatro (4) filtros.
- (1) Toma muestra de agua potable.

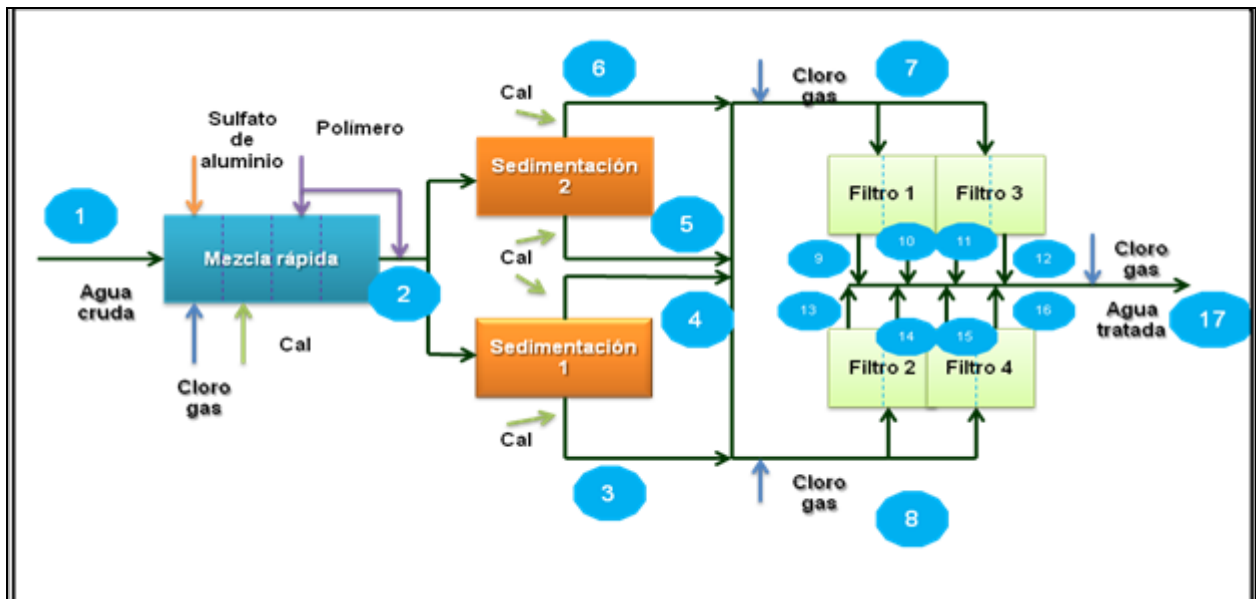


Figura 3.2 Puntos de muestreo en la Planta de Agua Cruda I-106.

Muestras: Se establecieron realizar tres corridas por semana, una vez diaria como lo estipula la norma venezolana.

Diseño de instrumentos para recolección de datos: para la recolección de las muestras en planta se diseñó un toma muestras para canales con un envase de



polipropileno de 250mL y se sujetó en un lado un vara de acero inoxidable de aproximadamente 1 m de longitud. Adicionalmente se diseñó una tabla de datos (Tabla A.3 del apéndice A) donde se especifica el punto de muestreo y las diferentes pruebas a realizar, a su vez a pie de tabla se tomó nota de las condiciones operacionales al momento de hacer la recolección de las muestras.

Toma de muestra: todas las muestras fueron recolectadas en envases de polipropileno de 1000 mL, previamente identificadas por punto de muestra, cada envase se curó con el agua a testear, así como también se procedió a curar la toma muestra antes de verter el agua en el envase colector.

Análisis de muestras: se definieron en la Tabla 3.2 las pruebas y la herramienta que se utilizó para la caracterización de las muestras recolectadas (metodologías en el apéndice C).

Tabla 3.2 Pruebas para caracterización de los diferentes puntos de muestreo en las etapas del proceso de potabilización

Pruebas	Método y/o herramienta
Turbidez	Turbidimeter HACH 2100N
pH	pH Denver instrument
Color	Kit La Motte (TC -3000 colorímetro)
Sólidos totales disueltos	Orion3 star – Conductivity portable
Conductividad	Orion3 star – Conductivity portable
Cloro libre	Kit La Motte (TC -3000 colorímetro)
Cloro total	Kit La Motte (TC -3000 colorímetro)
Alcalinidad	Kit La Motte
Dureza	Kit La Motte

Se estableció medir el flujo volumétrico de entrada y salida en cada etapa del proceso a distintas condiciones de operación, específicamente en los canales abiertos dispuestos en planta, mediante un medidor de velocidad el cual posee un tallo de 150 cm de largo,

en su extremo inferior consta una hélice tipo turbina que gira al estar en contacto con el agua, cuya señal se transmite por un sensor que se encuentra en la parte superior y se refleja la medición en una pantalla digital en km/día y m/s (Figura 3.3).

Se midió la altura del nivel de líquido y el ancho de cada canal para así determinar el área húmeda que ocupa el fluido, mediante la ecuación B.3, como se muestra en el apéndice B.

Una vez obtenida el área húmeda de cada sección, se procede a obtener el caudal de acuerdo a la siguiente ecuación:

$$Q_i = v \cdot A \cdot Fc_1 \quad (3.1)$$

(Silva, 2003)

Donde:

Q_i : caudal de la canal, L/s

v : velocidad de flujo, m/s

A : área húmeda, m²

Fc_1 : factor de conversión 1, 1000 L/m³

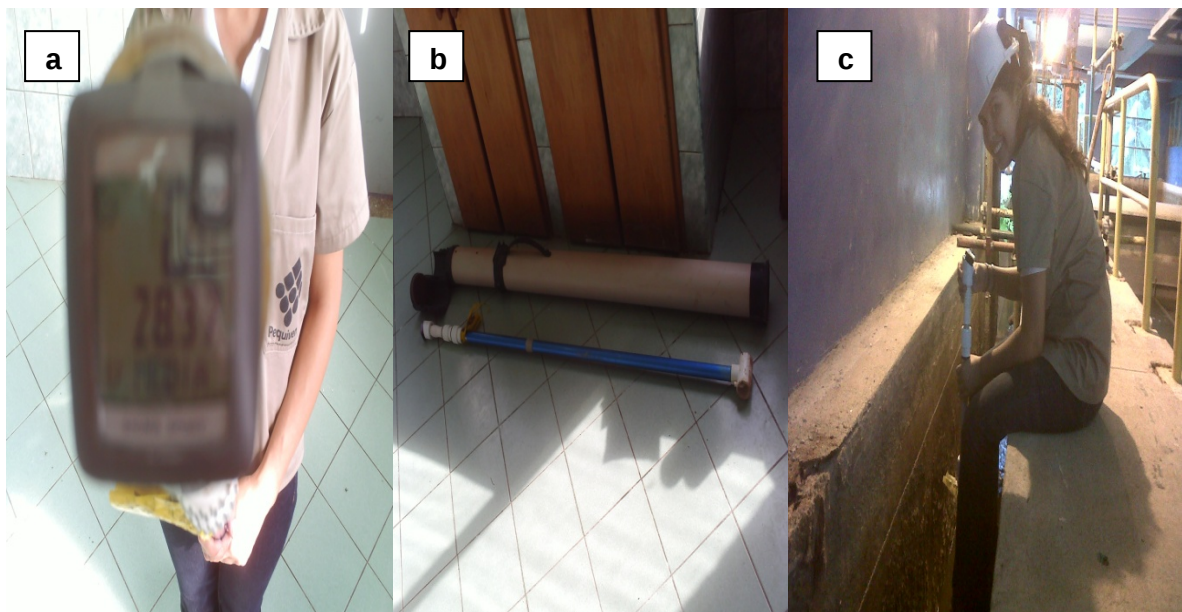


Figura 3.3 (a) y (b) Medidor de velocidad de flujo para canales abiertos. (c) Medición de velocidad de flujo en el canal de entrada a los filtros 1 y 3.

3.2.2.3 Comparación de los datos operacionales obtenidos

Luego de hacer las corridas se procedieron a graficar los valores obtenidos y analizar la incidencia de una variable con otra y a su vez comparar con los parámetros con los cuales se rige el Complejo Petroquímico Morón y la Gaceta oficial del 13 de Febrero de 1998 Decreto 36.395, que actualmente es la norma vigente para el agua de consumo humano en el país. Por otro lado también se determinó el factor de remoción (Ecuación B.1, apéndice B) de los contaminantes del agua por cada etapa del proceso, como lo muestra el apéndice A en las Tablas A.4.

Adicional a esto se determinó el índice de Langelier mediante una hoja de cálculo de “Análisis de Ciclos de Torres de Enfriamiento”, suministrada por la empresa de Sistema de Gestión Ambiental, como se muestra en la Figura 3.4

MAKEUP	pH	M-ALK	Ca	Mg	SiO2	COND	Cl	SO4	LSI	MgSi	CMSi	RT75 (day)	B.D. (m3/hr)	M.U. (m3/hr)
7.70	340	260	112	38	567	26	552	1.13						
1.5	8.98	459	390	168	57	851	39	828	2.69	ok	*****	8.64	0.2	0.4
2.0	9.21	612	520	224	76	1134	52	1104	*****	ok	*****	17.28	0.1	0.2
2.5	9.39	765	650	280	95	1418	65	1380	*****	*****	*****	25.91	0.1	0.2
3.0	9.53	918	780	336	114	1701	78	1656	*****	*****	*****	34.55	0.1	0.2
3.5	9.65	1071	910	392	133	1985	91	1932	*****	*****	*****	43.19	0.0	0.2

Figura 3.4 Cálculo del índice de Langelier

Fuente. SGA, C.A., 2010



Para el cálculo del índice de estabilidad (LSI), se consideró la alcalinidad total como la alcalinidad (+m), pues fue la que se midió en campo. Para las concentraciones de calcio y magnesio se obtuvo a partir de la dureza total (D_T) como el 0,3 D_T la concentración Mg^{+2} y el resto la concentración Ca^{+2} . La concentración de SiO_2 se asumió un aproximado al de la entrada pues la clarificación elimina muy poco de este contaminante, igual para el caso de los cloruros porque ellos se remueven en su mayoría en la etapa de filtración. Para la cantidad de sulfatos la diferencia entre la dureza y la alcalinidad que es la dureza no carbonática y por último la conductividad que fue medida para cada muestra.

3.2.2.4 Identificación de las variables y factores que afectan al proceso.

Para la identificación de los puntos críticos que afectan directamente al proceso, se utilizó la herramienta del diagrama Ishikawa, ya que este permite organizar las ideas de las posibles causas que inducen el por qué de la problemática planteada. Para ello fue necesario reunirse con el personal de Producción de Servicios Industriales, área de Nitrogenados así como de los supervisores de cada turno para concretar las ideas de acuerdo a lo diagnosticado y las inquietudes y/o opiniones de los diferentes miembros del área que por la experiencia y el contacto a diario fueron relevantes para la construcción del diagrama (Figura 4.21, capítulo 4).

3.2.3 Proponer alternativas que solventen las limitaciones diagnosticadas en las etapas del tratamiento de agua.

Los ensayos a escala laboratorio son los siguientes:

- Ajuste de pH a la entrada (Agua + cal+ Sulfato de Aluminio+ polímero)
- Agua + cloro+ NaOH +Sulfato de Aluminio + polímero
- Agua + cloro + bentonita + Sulfato de Aluminio+ polímero + NaOH
- Agua + cloro + NaOH + PAC + polímero (turbidez de entrada bajas).



Para la realización de los ensayos a escala de laboratorio de las distintas alternativas fue necesaria la preparación de las diferentes soluciones, como se muestra a continuación:

Cal

Se tomó una concentración aproximada de la que se concentra en el tanque de dilución de la cal en planta de 20% p/v añadiendo 20 g por cada 100 mL y se preparó 1L de solución.

Bentonita

Se preparó al 10% p/v añadiendo 10 g por cada 100 mL y se preparó 1L de solución

Sulfato de aluminio y Policloruro de Aluminio

Estos se prepararon al 0,1% v/v 1mL de cada coagulante por cada 100 mL de agua esto para garantizar que 1mL sea equivalente a 10 ppm.

Soda cáustica

Se preparó a 1% p/v diluyendo 1 g de soda cáustica por cada 100 mL y se obtuvo una solución de 500 mL

Cloro

Se tomó hipoclorito de sodio al 6% v/v y se aplicó aproximadamente 0,2 mL en cada jarra.

Seguidamente se explica el procedimiento que se llevo a cabo para el montaje de los experimentos de las diferentes alternativas.

- **Ajuste de pH a la entrada**

1. Se midió el pH de agua cruda.

2. Se realizó una prueba de jarra (Figura 3.5) variando la concentración del sulfato de aluminio a partir de la concentración actual manejando en planta, se tomó nota de la jarra que proporcionó la concentración del coagulante que resultó con menor turbidez.

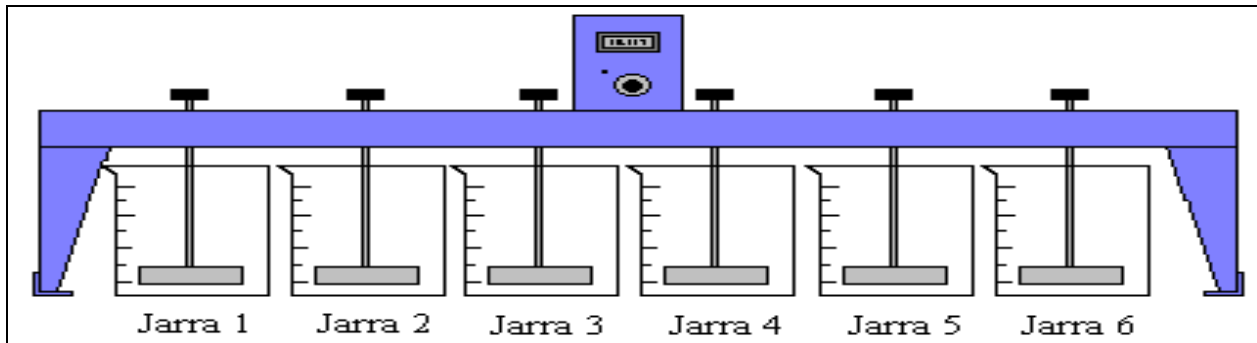


Figura 3.5 Esquema del equipo de la prueba de jarras.

3. Seguidamente se elaboró un grafico similar al de la Figura 3.6 considerando turbidez residual y concentración de sulfato de aluminio.



Figura 3.6 Valores de turbidez para cada concentración de sulfato de aluminio dosificada en la prueba de jarras.

4. Por otro lado como segunda fase, se efectuó una prueba de jarra a diferentes valores de pH haciendo un barrido entre los valores: 5, 6, 7 y 8 unidades, ajustando

con la solución de cal, considerando a su vez que el sulfato de aluminio es efectivo para aguas crudas con un rango de pH de (5,5-7,2) unidades. A su vez mantener la concentración de sulfato constante, Figura 3.7.

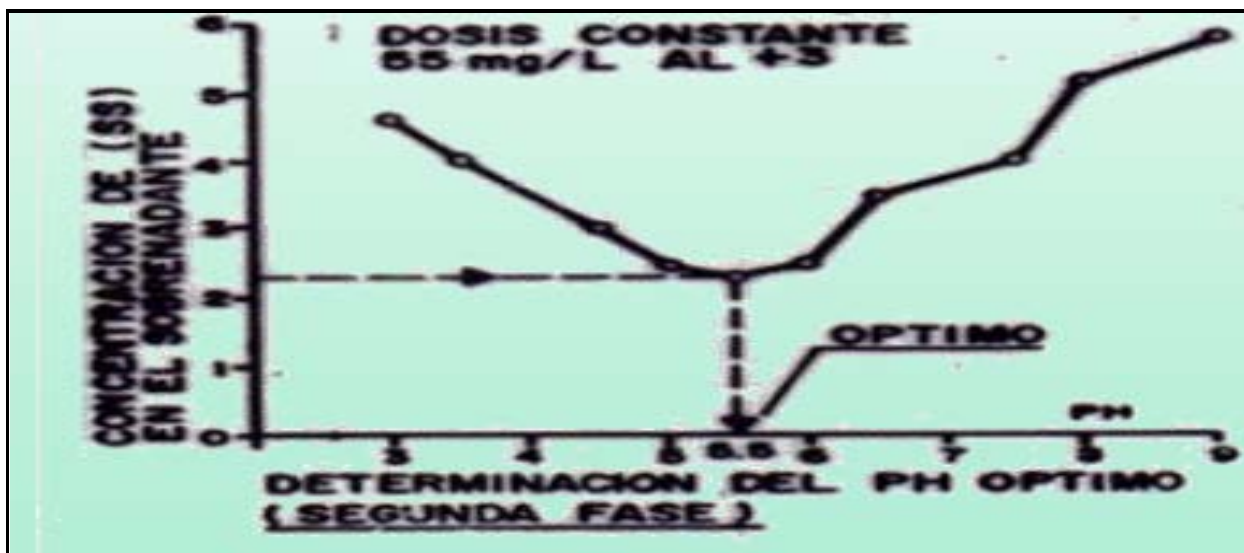


Figura 3.7 Valores de turbidez con la variación de pH en la prueba de jarras.

5. Se tomó la jarra que arrojó menor turbidez residual y se midió el pH del agua sobrenadante que ésta contiene (pH de reacción).
6. Se debe hallar el pH operativo (según Parra, 2010) mediante la siguiente ecuación:

$$pH_{operativo} = pH_{rxn} + \Delta pH \quad (3.2)$$

(Parra, 2010)

Donde:

$pH_{operativo}$: pH de operación, Adim.

pH_{rxn} : pH de reacción, Adim.

ΔpH : variación de pH a la adición de sulfato de aluminio, Adim.

7. El ΔpH el cual se encuentra en un rango comprendido en (0,8-1,5) (según Parra, 2010) que por lo general se toma 1,2 por ser un valor medio, pero éste se determinó

tomando una muestra de agua tratada con la adición de sulfato de aluminio hallada en (2), se homogeneiza y se determina el pH.

8. El valor hallado en (7) se le restó al valor de pH hallado en (1) y así se obtuvo el valor de ΔpH , con éste y el pH de reacción se sustituyeron en (3.2) y finalmente se determinó el pH operativo.
9. Como tercera y última fase se realizó una prueba de jarra con pH operativo constante en todas las jarras ajustando con cal y se varió la concentración de sulfato de aluminio de acuerdo al valor de concentración encontrado en (2). Allí se encontró la concentración óptima del alumbre.
10. Se graficaron los valores de turbidez residual en función de la concentración de sulfato de aluminio (Figura 3.8) y se visualizó el punto de concentración óptima de coagulante, comprobando lo obtenido en el paso 9.



Figura 3.8 Valores de turbidez con el pH óptimo en la prueba de jarra.

- **Agua+ cloro + NaOH +sulfato de aluminio + + polímero**

1. En campo se manejan diferentes valores de caudal de entrada a la planta, de acuerdo a la necesidad que se tenga, por lo que el tiempo de residencia varía, para esto se tiene a continuación un cálculo previo a la prueba de jarra:

$$t_r = \frac{V}{Q_e} \quad (3.3)$$

(Rivas, 1972)

Donde:

t_r : tiempo de residencia, s.

V : volumen efectivo del tanque, L

Q_e : caudal de entrada, L/s

2. Como se disponen de cuatro (4) tanques de mezcla, y en tres de ellos se adicionan químicos como lo muestra la Figura 3.9, se hizo la de adición de químicos como se propuso, variando el tiempo de agitación de acuerdo al obtenido en (1) por adición de químico manteniendo agitación constante en 100 rpm. Teniendo en cuenta el ajuste del agua con soda cáustica como se planteó en la alternativa 2, cuya dosificación se obtuvo variando los volúmenes de la solución básica por ensayo y error.

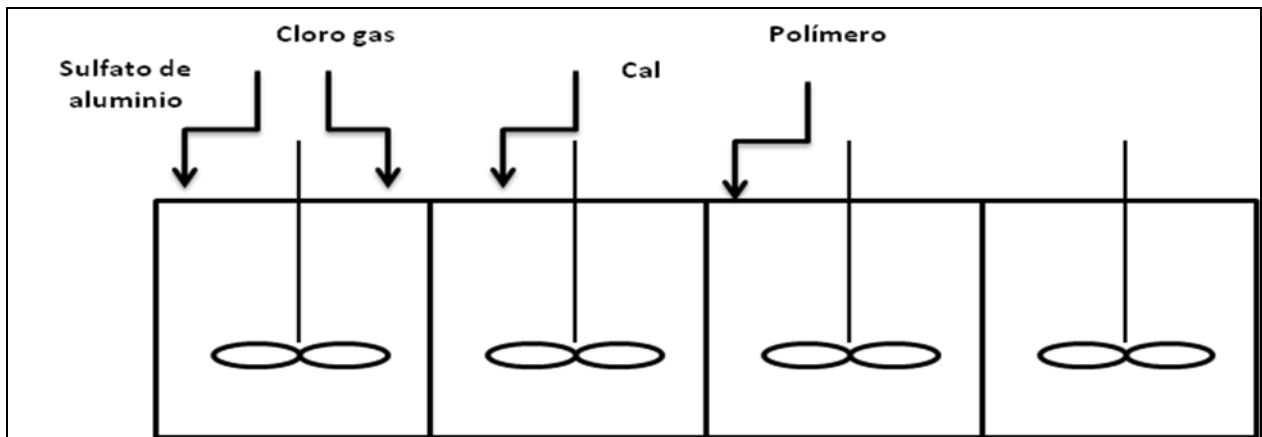


Figura 3.9 Esquema donde se disponen los cuatro mezcladores rápidos.

3. El tiempo de agitación de la mezcla lenta se mantuvo a una velocidad de 30 rpm por diez minutos y a su vez la sedimentación por diez minutos como actualmente se maneja en la prueba de jarra que se realiza en la planta.
4. Se midió el pH y turbidez del agua sobrenadante resultante de la mejor jarra.
5. Se procede de igual forma con las demás alternativas.



3.2.4 Seleccionar la(s) alternativa(s) más conveniente(s) en cuanto al criterio tecno-económico.

Luego de realizar el planteamiento de las distintas alternativas se procede seleccionar la alternativa más conveniente mediante la matriz de selección de ponderación, proporcionada por el grupo IDEA (Instituto para el Desarrollo Empresarial Administrativo) como herramienta de calidad, en la cual primero se evalúan los criterios para determinar el peso o valor de cada uno y luego se elabora la matriz de selección con las diferentes alternativas y los criterios seleccionados.

3.2.4.1 Definición de los criterios de evaluación y establecimiento de peso en orden creciente de importancia.

Criterios de evaluación: para llevar a cabo la selección de la mejor alternativa, fue necesario evaluar y comparar cada una de las alternativas propuestas, utilizando una serie de criterios que se clasificaron en tres (3) áreas distintas (tecnológica, operacional y económica), esto último se hizo con la finalidad de realizar una evaluación más organizada de cada alternativa y que factibilidad es más sensible en la selección de la alternativa a utilizar, basándose fundamentalmente con las ventajas y desventajas de cada propuesta de acuerdo a lo que reporta la bibliografía y los resultados obtenidos de las pruebas realizadas a escala laboratorio.

3.2.4.2 Elaboración de las matrices necesarias para elegir una alternativa adecuada.

Una vez planteado el objetivo planteado y las diferentes alternativas u opciones se procede a

- Generar los criterios: son aquellos por los que se juzgaran las opciones
- Juzgar cada criterio de todos los demás y se crea una matriz de pares, es decir hacer una tabla en la que se nombren las filas y columnas con cada uno de los criterios, comparando la importancia de cada uno de ellos contra los demás por medio de la siguiente escala:

10= mucho más importante; 5=más importante; 1=igual; 1/5=menos importante; 1/10=mucho menos importante.

Tabla 3.3 Matriz de pares entre criterios para obtener el factor de ponderación

(α)					
	Ca	Co	TE	Suma	Factor de ponderación (FP)
Calidad (Ca)		10	5	15	0.87
Costo (Co)	1/10		1	1.1	0.06
Tiempo de Entrega (TE)	1/5	1		1.2	0.07
Total				17.3	

Fuente: Grupo IDEA, 1999.

Sumar las filas de cada criterio (α). Sumar los valores de cada criterio para llegar a un total. Para cada criterio obtener (FP) dividiendo la suma entre el total, como se muestra en la ecuación 3.4. Si el factor de ponderación es muy pequeño, es posible eliminarlo.

$$FP = \frac{\text{Suma}}{\text{Total}} \quad (3.4)$$

Donde:

FP: factor de ponderación, Adim.

Suma: suma de los valores por cada criterio, Adim.

Total: suma de lo obtenido por cada criterio, Adim.

- Comparar cada criterio con todas las alternativas u opciones. Crear una matriz de pares para cada criterio que se tiene; nombrar las filas y columnas con las opciones a evaluar. Hacer la comparación con la siguiente escala:

10= mucho mejor; 5=mejor; 1=igual; 1/5=peor; 1/10=mucho peor.

- Se procede de igual forma que el factor de ponderación pero se obtiene el peso de la opción.

Tabla 3.4 Matriz de pares entre criterio y alternativas para obtener el peso de opción

Tiempo de entrega						
Costo						
Calidad						
	CO	FA	MU	ET	Suma	Peso de la Opción (PO)
Copesa (CO)		10	5	1	16	0.54
Farmlnd (FA)	1/10		1	5	6.1	0.21
Multix (MU)	1/5	1		1/5	1.4	0.05
Etix (ET)	1	1/5	5		6.2	0.21
Total					29.7	

Fuente: Grupo IDEA, 1999.

- Se procede de igual forma con cada criterio.
- Por último se construye una matriz final donde se etiquetan las alternativas en las filas y en las columnas los criterios. En cada casilla se multiplica el factor de ponderación por el peso de la opción respectivo, luego se suman los valores obtenidos por fila. Finalmente seleccionar la alternativa que arroje mayor valor.

3.2.5 Diseñar la (s) alternativa (s) seleccionadas.

3.2.5.1 Realización de un bosquejo de la propuesta seleccionada

Para el diseño de la alternativa se realizó un esquema donde se especificó con detalle las modificaciones que lleva consigo la implementación de la propuesta como lo son los



puntos de dosificación de químicos, acondicionamiento de un área específica y ubicación de alguna una unidad y/o equipo.

3.2.5.2 Determinación de los requerimientos necesarios de los equipos existentes y de las unidades recomendadas.

Se procedió a realizar a consultar la bibliografía para verificar las condiciones y parámetros necesarios para la implementación de la propuesta, involucrando unidades de tratamiento, como el tanque de igualación y además el control de procesos de las variables a controlar.

Fue necesario investigar los costos asociados a la implementación de la alternativa, mediante cotizaciones y consultas a empresas proveedores de los materiales, equipos y accesorios.

3.2.5.3 Desarrollo de la alternativa adecuada al proceso.

Una vez realizado el diseño se realizan las tablas de especificación de los equipos implementados, de la adecuación de un área específica y de los parámetros que establece la propuesta.

3.2.6 Evaluar la relación costo-beneficio de las (s) alternativa (s) seleccionada (s).

3.2.6.1 Estimación de los flujos monetarios para la(s) propuesta(s) seleccionada(s).

Se estimaron los precios de las diferentes unidades, equipos que se deben implementar incluyendo las modificaciones de las unidades actuales. De igual forma se realizó la relación de las cantidades de aditivos químicos a escala laboratorio con respecto a la que se debería suministrar en campo, evaluando el consumo y de los mismos.



Por otro lado se tomó en cuenta el gasto o egreso que conlleva el mantenimiento y el consumo de servicios industriales para la puesta en marcha de la propuesta.

3.2.6.2 Evaluación de la relación entre los costos producidos y los beneficios generados.

De acuerdo a los costos producidos que genera la alternativa planteada se comparó con los beneficios que esta produce al ser implementada, mediante la siguiente relación:

$$R_{C-B} = \frac{\text{Costo}}{\text{Beneficio}} \quad (3.5)$$

(Giugni y col, 2009)



**NO IMPRIMIR
DEJAR HOA EN BLANCO**



CAPÍTULO IV

DISCUSIONES DE RESULTADOS

En este capítulo se muestran e interpretan los resultados obtenidos durante el desarrollo de la fase experimental, lo que permite la generación de alternativas, selección, diseño y evaluación costo-beneficio de la solución del problema planteado.

4.1 Efectuar un estudio de caracterización del agua a la entrada y salida del proceso de potabilización en la Planta de Agua Cruda I-106.

A las muestras recolectadas en campo de agua cruda y potable se le realizaron una serie de ensayos en laboratorio para su caracterización cuyos resultados se pueden detallar en el apéndice A, Tablas A.1 y A.2, y los gráficos correspondientes a los valores obtenidos en cuanto al agua potable y los rangos establecidos.

En primer lugar se realizó una comparación de los parámetros del agua cruda obtenidos para Noviembre 2010 con la caracterización del agua para los años de inicio de operación de la planta (Tabla 4.1), de lo cual se puede decir lo siguiente:

Tabla 4.1 Caracterización de agua cruda proveniente del río Morón para condiciones de diseño.

Pruebas	Octubre 1966	Octubre 1973	Noviembre 2010
Alcalinidad total en aguas (ppm)	-	18,00	22,30
Aluminio (ppm)	-	-	0,00
Cloruros en agua	6,00	9,00	51,60
Conductancia específica (µmhos)	79,00	70,00	-
Dureza cálcica (ppm)	15,00	18,00	12,70
Dureza total (ppm)	15,00	22,00	21,30
Hierro(ppm)	2,20	2,20	8,20
pH (Adim.)	6,40	6,90	6,50
Sílice (ppm)	6,00	16,00	13,70
Sólidos disueltos totales (ppm)	-	-	76,80
Turbidez (N.T.U.)	88,00	272,00	237,80
Color (APHA)	350-200	350-200	85,80
Manganeso (ppm)	16,00	16,00	0,01
Fosfato (ppm)	-	-	1,20

Fuente: Hurtado y asociados, 1973.

⁽⁻⁾ No se posee data.



- Para el caso de la alcalinidad total no se observa mayor diferencia entre el valor para 1973 y 2010, solo una variación de 4 ppm.
- La cantidad de aluminio presente para los años 1966 y 1973 se desconocen y para las muestras testeadas arrojó 0 ppm en concentración.
- Los cloruros se han incrementado de manera notoria para de 6 y 9 ppm en concentración a 52,6 ppm para noviembre de 2010.
- En cuanto a conductividad, se tienen sólo valores de conductancia específica para 1966 y 1973, dicha data muestran valores de 79,0 y 70,0 μmhos , en cuanto a la actualidad, es decir, noviembre 2010 la conductividad muestra un valor promedio de 125,8 $\mu\text{S/cm}$.
- Para los valores de dureza total y cálcica se tienen valores muy semejantes entre los años 1966 y 1973 al promedio obtenido para noviembre de 2010.
- La cantidad de hierro en el agua ha incrementado en 8 unidades para la fecha actual de una concentración de 2 ppm a 10 ppm.
- El pH se ha observado que ha permanecido de forma constante en el rango comprendido de (6,0-7,0) Adim.
- La cantidad de sílice coloidal para 1973 se tiene 16 ppm y para el muestreo realizado se obtuvo un promedio de 13 ppm en concentración, es decir, que la variación es de 3 ppm.
- De los sólidos totales disueltos y los fosfatos no se tienen datos para los años 1966 y 1973, resaltando que para el 2010 se tiene valores bajos de sólidos totales disueltos bajos de 76 ppm y la concentración de fosfatos menor a 2 ppm.
- De la turbidez es un parámetro variante que depende de la época del año y el clima, por tanto el valor promedio obtenido para la actualidad fue de 237,80 N.T.U. en la mayoría de los casos en días nublados y con lluvias.
- El color también es dependiente del clima.
- El manganeso oscilaba en 16 ppm para los años anteriores y en la actualidad se encuentra en una concentración de 0,1 ppm.

Cabe destacar que sólo lo expuesto anteriormente son comentarios de acuerdo a lo encontrado en la data de la planta haciendo un contraste con el muestreo realizado en

el estudio, por tanto no se puede definir a los parámetros del agua cruda como una constante porque los mismos son variantes en el tiempo porque depende de las condiciones climáticas y a su vez de los posibles daños causados a las fuentes naturales debido a la contaminación ambiental. Aunque de los parámetros revisados llama la atención el pH que se encuentra en el rango de (6,0-7,0) Adim. y la disminución del manganeso de 16 ppm a 0,1 ppm.

De acuerdo a las visitas realizadas al Dique Morón, fuente principal de agua de la planta potabilizadora, se pudo observar que a lo largo del cauce del río no se presenta ningún tipo de descarga contaminante industrial ni doméstica alrededor del mismo. Es por ello que las características del río no son tan variantes y dichos cambios son debidos al ciclo de la naturaleza.

En la Figura 4.1 se muestra el Dique Morón y el cauce del agua que baja por gravedad por la acción de tres compuertas que se encuentran ubicadas en la torre toma.

En muchas ocasiones el volumen del agua en el Dique es escasa debido a los sólidos, rocas y arcilla que trae el río en su cauce desde su cabecera y estos se depositan en la parte inferior de la canal artificial ^(a), para ello se realizan dragados del sedimento formado, que no es más que la extracción de los mismos.

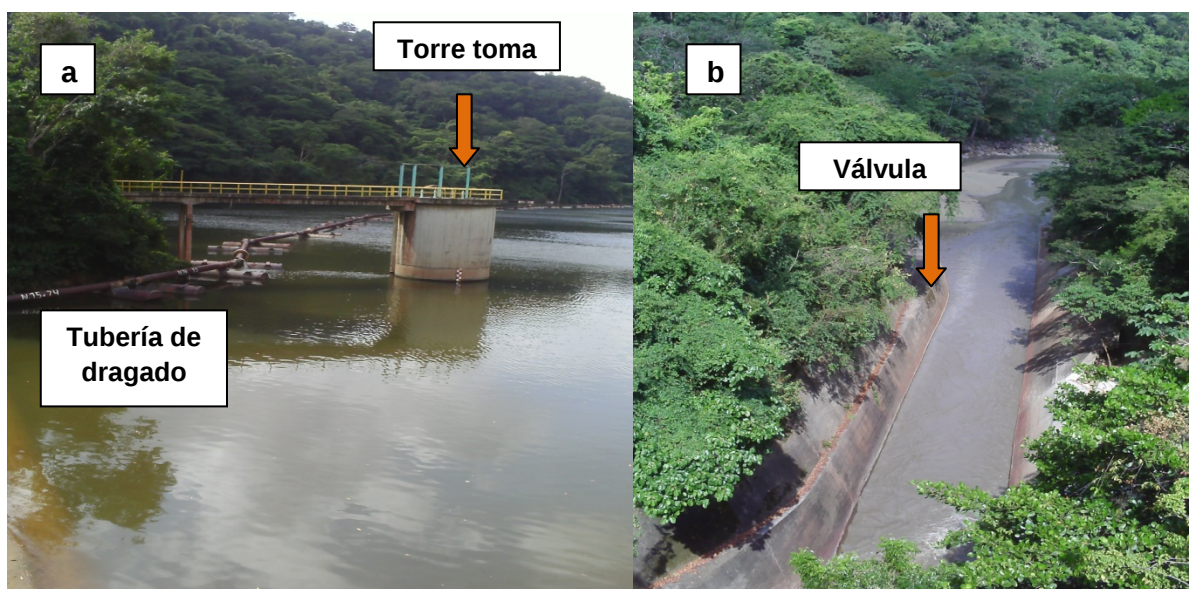


Figura 4.1 ^(a) Dique Morón y torre toma. ^(a) Cauce del río Morón.



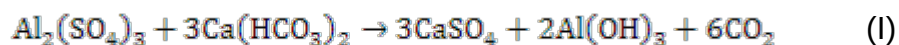
Por otro lado, existe una válvula que regula el flujo de agua la cual se encuentra ubicada en el trayecto del agua a la planta, cuyo fluido se transporta en una tubería de 36" y cuando llega al sitio se encuentra un medidor de flujo tipo Venturi ^(b).

Con los valores obtenidos de caracterización del agua potable, se verificó el comportamiento de cada variable de acuerdo al rango establecido por el Complejo Petroquímico Morón en base a las consideraciones de diseño de la planta y a su vez de la norma vigente de agua para consumo humano, por lo que se muestra a continuación:

Alcalinidad

La alcalinidad se ve influenciada desde el comienzo del proceso pues (según Arboleda, 1977) con ésta reacciona el sulfato de aluminio y se hidroliza en ella para formar flóculos de hidróxido de aluminio $Al(OH)_3$ (un precipitado gelatinoso), el cual es producto de la reacción de desestabilización de las partículas coloidales. La alcalinidad requerida puede estar naturalmente en el agua o se tiene que añadir a través de la dosificación de cal ($Ca(OH)_2$).

Según Powell (1987), si la alcalinidad viene dada por bicarbonato de calcio se da la reacción a continuación:



Sulfato de aluminio (soluble)	Bicarbonato de calcio (soluble)	Sulfato de calcio (soluble)	Hidróxido de aluminio (insoluble)	Bióxido de carbono (soluble)
----------------------------------	------------------------------------	--------------------------------	--------------------------------------	---------------------------------

De acuerdo a lo anterior se observa en primera instancia en la Figura 4.2 que la alcalinidad permanece fuera del rango de control establecido por la empresa (25-35)ppm, porque como se mencionó dicho parámetro es el resultado de la disociación o hidrólisis de los solutos del agua, en este caso el sulfato de aluminio, por eso decrece, pero cabe acotar que en el proceso existen dos puntos de aplicación de lechada de cal

con la finalidad de aumentar el pH y a su vez mejorar la alcalinidad del agua, el primero se realiza luego de la aplicación del coagulante y el otro se encuentra a la salida de los sedimentadores, en ambos casos ocurren las siguientes reacciones:

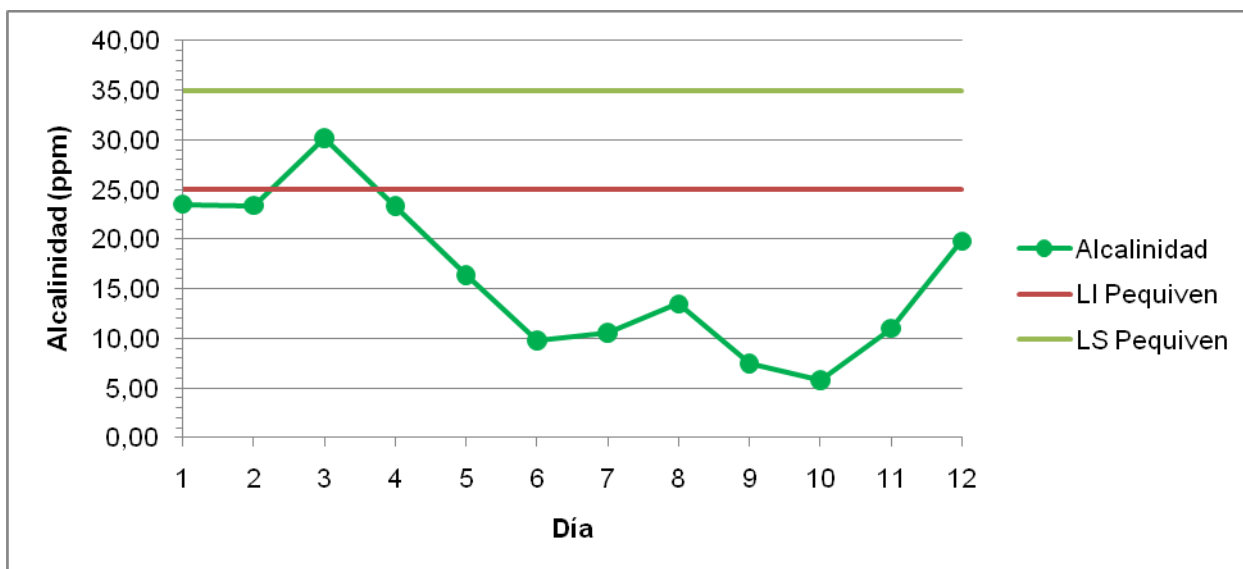


Figura 4.2 Variación de la alcalinidad en el agua potable

LI: límite inferior

LS: límite superior

Con la adición de la cal hidratada se suministra al agua, carbonato de calcio que al reaccionar con el bióxido de carbono o el bicarbonato de calcio de acuerdo a las reacciones (II) y (III) respectivamente, aumenta tanto la alcalinidad como el pH. Más sin embargo de acuerdo a lo obtenido en el Figura 4.3 sustentando con los porcentajes de remoción reportados en la Tabla 4.2 se tiene que existen cuatro (4) eventos donde se mostraron valores negativos en remoción, esto es indicativo de que la salida es mayor a los valores de entrada, la consecuencia de la incongruencia es que los puntos de dosificación de cal no son aplicados estequiometricamente en los canales de salida de la sedimentación y así como también la dosificación luego de la aplicación del alumbre no es recomendable allí, pues la idea es suministrar la alcalinidad



necesaria para la reacción de hidrólisis con el sulfato de aluminio, por lo que se puede inferir que existe un incremento en CaCO_3 por el exceso de cal aplicada.



Tabla 4.2 Porcentaje de remoción de los parámetros de entrada con respecto a la salida del proceso de potabilización de la Planta de Agua Cruda I-106

Parámetro/ Día	10/11/2010	11/11/2010	16/11/2010	17/11/2010	18/11/2010	23/11/2010
Alcalinidad total (ppm)	-17,60	6,40	-4,07	-36,25	-38,81	51,10
Aluminio (ppm)	-	-	-	-	-	-
Cloro libre (ppm)	-	-	-	-	-	-
Cloruros (ppm)	-88,76	-60,59	72,75	-208,40	-418,89	76,93
Color (APHA)	80,00	85,00	52,00	80,00	95,00	73,00
Conductividad ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	-180,00	-128,16	-193,75	-108,79	-151,88	-211,80
Dureza cálcica (ppm)	-282,61	-420,00	-664,71	-254,71	-382,76	-336,97
Dureza total (ppm)	-150,00	-245,45	-350,00	-200,00	-270,71	-280,00
Fosfato total (ppm)	54,55	40,00	47,83	61,29	54,55	33,33
Hierro en aguas (ppm)	100,00	97,21	100,00	100,00	100,00	100,00
Hierro total (ppm)	-	-	-	-	-	-
Materia orgánica (ppm)	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
pH (Adim.)	2,64	-15,00	4,75	2,87	-2,52	8,10
Sílice (ppm)	28,81	-37,17	25,37	33,89	40,54	17,91
Sólidos totales disueltos (ppm)	20,92	-12,08	-226,88	-194,64	-258,85	-340,00
Turbidez (N.T.U)	98,18	90,86	88,53	95,61	98,91	95,67
Manganeso (ppm)	-	-	100,00	100,00	100,00	100,00



Tabla 4.2 Porcentaje de remoción de los parámetros de entrada con respecto a la salida del proceso de potabilización de la Planta de Agua Cruda I-106 (continuación).

Parámetro/ Día	24/11/2010	25/11/2010	07/12/2010	08/12/2010	09/12/2010	15/12/2010
Alcalinidad total (ppm)	12,00	32,55	74,75	68,00	68,57	33,56
Aluminio (ppm)	-	-	-	-	-	-
Cloro libre (ppm)	-	-	-	-	-	-
Cloruros (ppm)	73,73	76,34	73,84	62,47	68,06	72,63
Color (APHA)	36,00	87,50	95,00	95,00	53,00	80,00
Conductividad (µS/cm)	-186,18	-80,04	-139,31	-43,85	-34,50	-22,48
Dureza cálcica (ppm)	-246,67	-259,86	-619,10	-574,16	-328,57	-124,00
Dureza total (ppm)	-240,00	-220,00	-566,67	-566,67	-300,00	-166,67
Fosfato total (ppm)	30,00	50,00	-20,00	71,43	75,00	33,33
Hierro en aguas (ppm)	100,00	100,00	98,77	98,92	99,09	98,84
Hierro total (ppm)	-	-	-	-	-	-
Materia orgánica (ppm)	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
pH (Adim.)	11,18	4,79	5,49	19,85	16,09	-2,46
Sílice (ppm)	33,59	28,17	62,91	56,76	57,33	-25,76
Sólidos totales disueltos (ppm)	-307,56	-142,20	-273,85	-154,46	-108,89	-58,55
Turbidez (N.T.U)	96,98	98,75	98,55	97,30	98,70	95,38
Manganeso (ppm)	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00

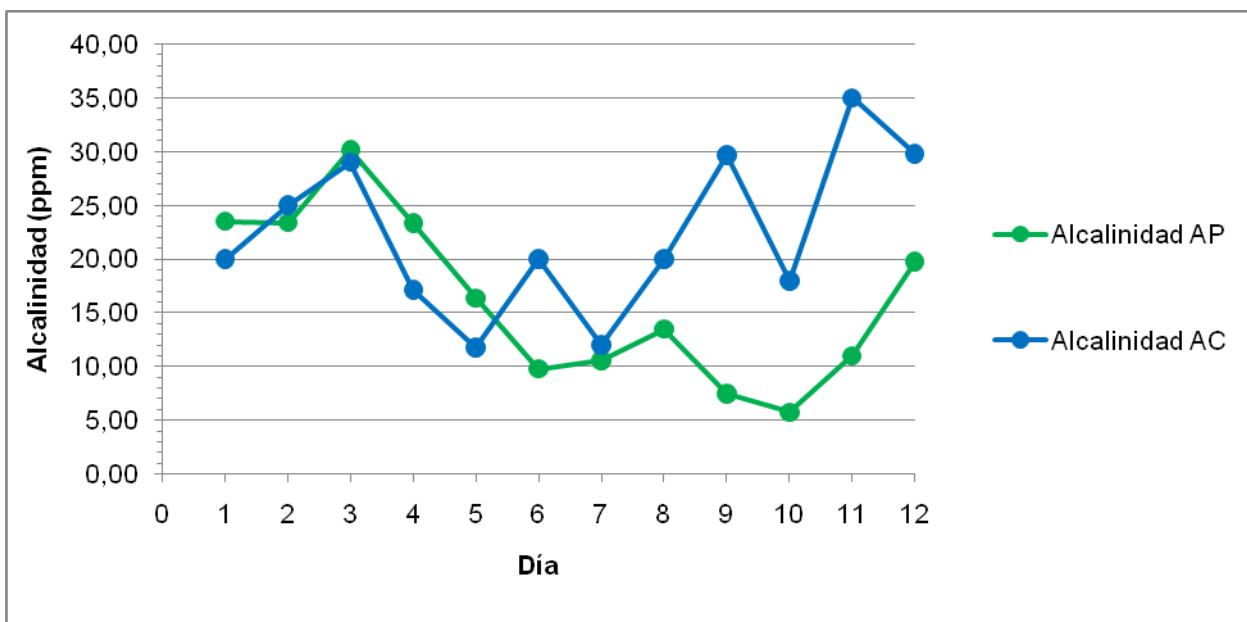


Figura 4.3 Variación de la alcalinidad en agua cruda (AC) y potable (AP)

Según (Pequiven, 2009) la alcalinidad no es un parámetro relevante en el tratamiento del agua potable más sin embargo se debe tener en cuenta debido a que el agua producida no es sólo para consumo sino también para procesos industriales, como calderas y torre de enfriamiento, que para el primer caso se debe tener un control riguroso de la concentración de carbonatos, bicarbonatos para evitar las incrustaciones, por consiguiente esta debe permanecer dentro del rango establecido de control de la empresa.

pH

El pH del agua cruda permanece en un rango de (6,0-7,0) unidades y se ve afectado por el efecto ácido del coagulante que en medio de su reacción produce ácido sulfúrico y ácido clorhídrico producto de la pre-cloración, así como también de la formación de ácido carbónico en la coagulación (Arboleda 2000). Para el ajuste de este parámetro como se comentó en la sección anterior se adiciona cal para aumentar el mismo en los canales de salida de la sedimentación que conducen al agua hacia los filtros, pero ésta no se dosifica de manera uniforme, ya que existen cuatro (4) canales y en dos de ellos se aplica mayor flujo de cal que en los dos restantes.

De acuerdo a las Tablas A.1 y A.2, del apéndice A se muestra que el pH del agua potable decrece en relación al de la entrada, pues la mayoría de los resultados se ubican por debajo de 6,5 unidades, y no se encuentra dentro del rango que establece la norma de la empresa (6,9-8,0) Adim, el cual es cercano con el estipulado en la norma para agua potable (6,5-8,5) Adim,, lo que indica que de una forma u otra existe un déficit en el ajuste de la alcalinidad del agua para obtener un producto final dentro de los parámetros establecidos, pues lo que se obtiene es una calidad de agua baja, con tendencia corrosiva. Cabe resaltar que el agua alcalina no necesariamente debe poseer pH mayor a 7 unidades, pues a partir de pH 4,5 aproximadamente se considera que el agua contiene concentración de los diferentes iones carbonatos, bicarbonatos y bases que son sinónimo de alcalinidad (Powell, 1987).

En la Figura 4.4 se muestran el rango en el cual se debe encontrar el valor de pH del agua potable y para la mayoría de los eventos éste se ubica fuera de norma, por lo que se tiene un agua ácida y agresiva lo cual provoca corrosión en las líneas de tubería que conducen al agua tanques de almacenamiento para luego ser utilizada a nivel industrial y/o consumo.

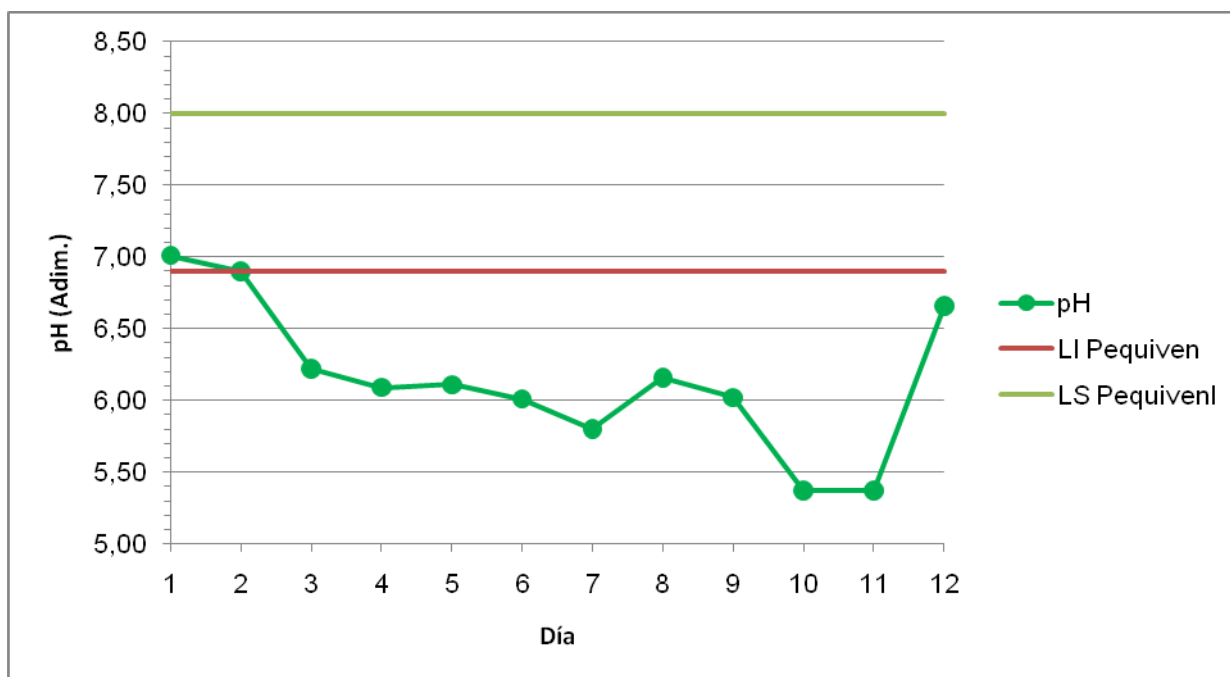


Figura 4.4 Variación del pH en el agua potable



Dureza cálcica y total

La dureza cálcica es la que está relacionada con el calcio (Ca^{+2}) presente en el agua aunada a los carbonatos y bicarbonatos.

Como se puede observar en la Figura 4.5 los valores de dureza cálcica superan el límite superior de los parámetros de calidad que maneja la empresa (25-50) ppm, esto es debido a que existe un incremento del catión Ca^{+2} presente en el efluente final, provocado por la cal hidratada ($\text{Ca}(\text{OH})_2$) aplicada antes de la etapa de filtración en el proceso.

Mientras que para el caso de la dureza total los valores se incrementan en comparación a los de entrada como se muestra en las Tablas A.1 y A.2 del apéndice A. Según Gaceta 36.395 los valores arrojados están en norma de acuerdo al rango establecido de dureza total debe estar comprendido entre (250 -500) ppm y a su vez se encuentran dentro del rango que maneja la empresa para control de calidad (37-87) ppm, pero la mayoría de la data obtenida tienden al límite superior y el último punto de muestreo se ubica fuera de norma (Figura 4.6). Por tanto, la dureza total se afectada de forma directa por los valores de dureza cálcica.

Ambos parámetros arrojan valores negativos para todos en los eventos en el cálculo del porcentaje de remoción global de la planta (Tabla 4.2), por tanto existen puntos críticos durante las diferentes etapas del proceso donde se incrementa considerablemente, teniendo en cuenta que la adición de químicos trae consigo la formación de nuevos compuestos, por ejemplo la adición de cal produce como ya se ha mencionado el carbonato de calcio el cual es insoluble, así como también se ve influenciado por el cloro proveniente de la pre-cloración y la presencia del sulfato que es proporcionada por el coagulante también se puede combinar con los cationes presentes en el agua como el calcio, magnesio entre otros y por ende la dureza total aumenta, considerando la carbonática y la no carbonática.

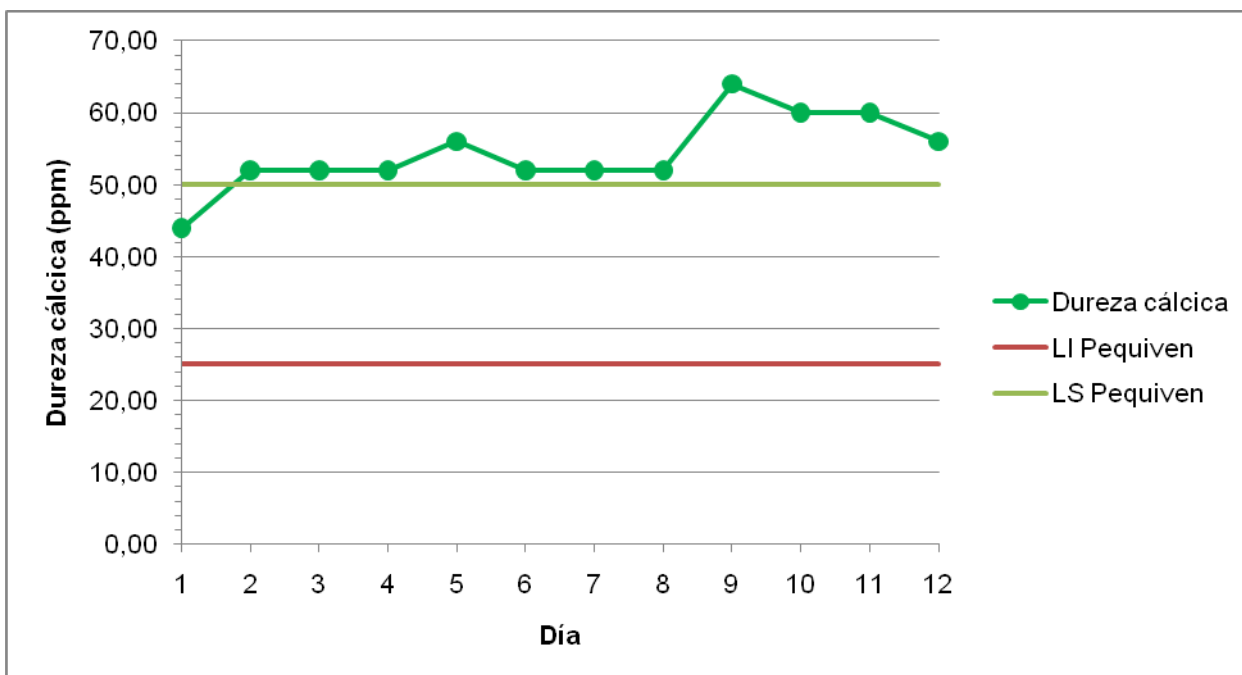


Figura 4.5 Variación de la dureza cálcica en el agua potable

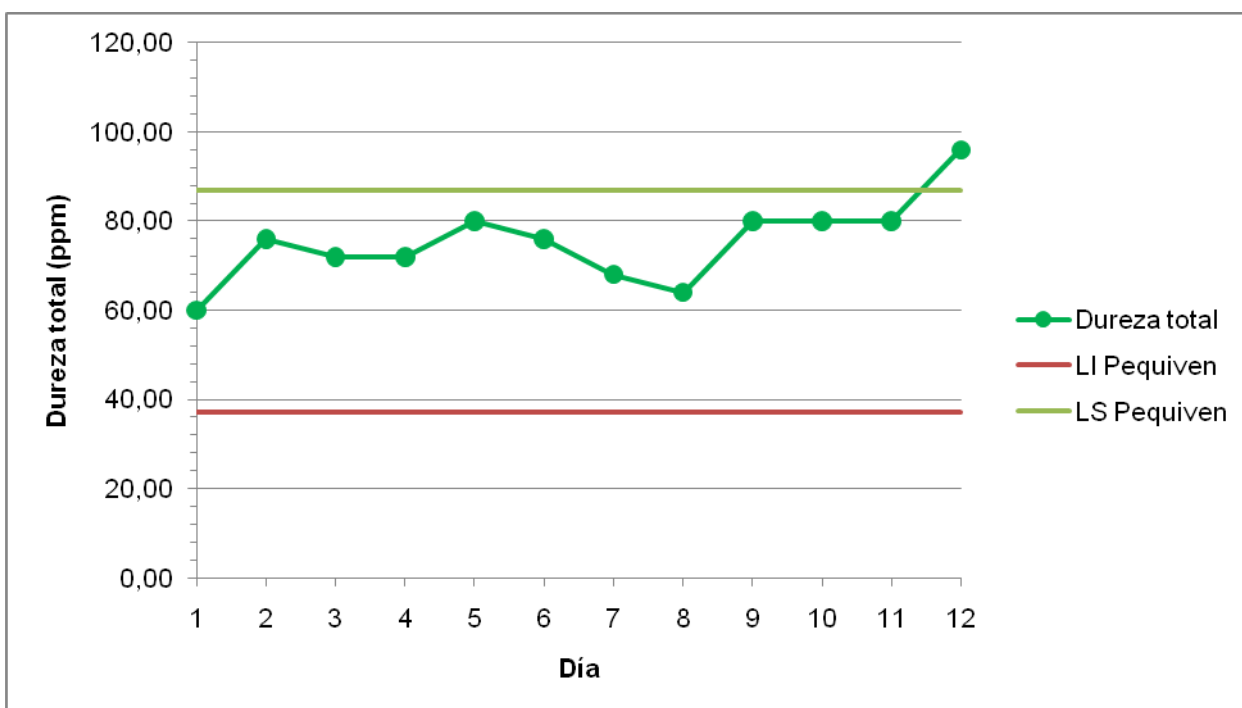


Figura 4.6 Variación de la dureza total en el agua potable



Aluminio

La cantidad de aluminio presente en el agua cruda tiende a cero (Tabla A.1 apéndice A) y según Powell (1987) esto se debe a la poca presencia de arcillas suspendidas (caolinita, montmorillonita, entre otras) que contengan al aluminio en forma coloidal que posee el agua superficial proveniente de la canal artificial o el dique. Por tanto, el incremento del Al^{+3} en el agua potable es el que proporciona el sulfato de aluminio en la reacción de primer orden (IV) que viene dada de acuerdo a lo siguiente:



El hidróxido de aluminio formado es insoluble y debería precipitar en su totalidad en la etapa de sedimentación pues esto quiere decir que no ocurre completamente y también es posible que la cantidad de alumbre añadida en la etapa de reacción no sea la óptima, y dicha concentración no se obtiene matemáticamente sino mediante pruebas de jarra como se explica en el capítulo 2, en la sección 2.2.2.3, cuyo ensayo se realiza en el laboratorio que se encuentra en campo, pero adicional a ello se debería realizar una segunda prueba, (Arboleda, 1977) preparando el ensayo de jarra variando el rango de pH (5, 6, 7 y 8) con la dosis determinada anteriormente, después de esto se examinan las muestras, y se comprueba el pH óptimo, si es necesario se puede hacer una nueva verificación de la dosis mínima del coagulante.

Por tanto, para este parámetro no se determinó porcentaje de remoción pues éste se va adicionando al agua por el efecto de los productos químicos proporcionados para la eliminación de los contaminantes que ésta contiene, pero es un parámetro de control que se debe vigilar de forma rigurosa y que éste no supere el valor establecido por la norma el cual debe ser menor a 0,2 ppm, pues como es agua para consumo el incremento de este contaminante causa problemas severos en la salud como el Alzheimer (Rondeau y col, 2008). En la Figura 4.7 se muestran los valores de aluminio residual supera el valor aceptable establecido para la mayoría de los eventos.

.

Acotando también que para el agua de procesos, es importante controlar las concentraciones de aluminio pues si éste es elevado y en condiciones normales de temperatura y alcalinidad con la cual operan las calderas, las arcillas se vuelven compuestos insolubles y generan incrustaciones (Powell, 1987),

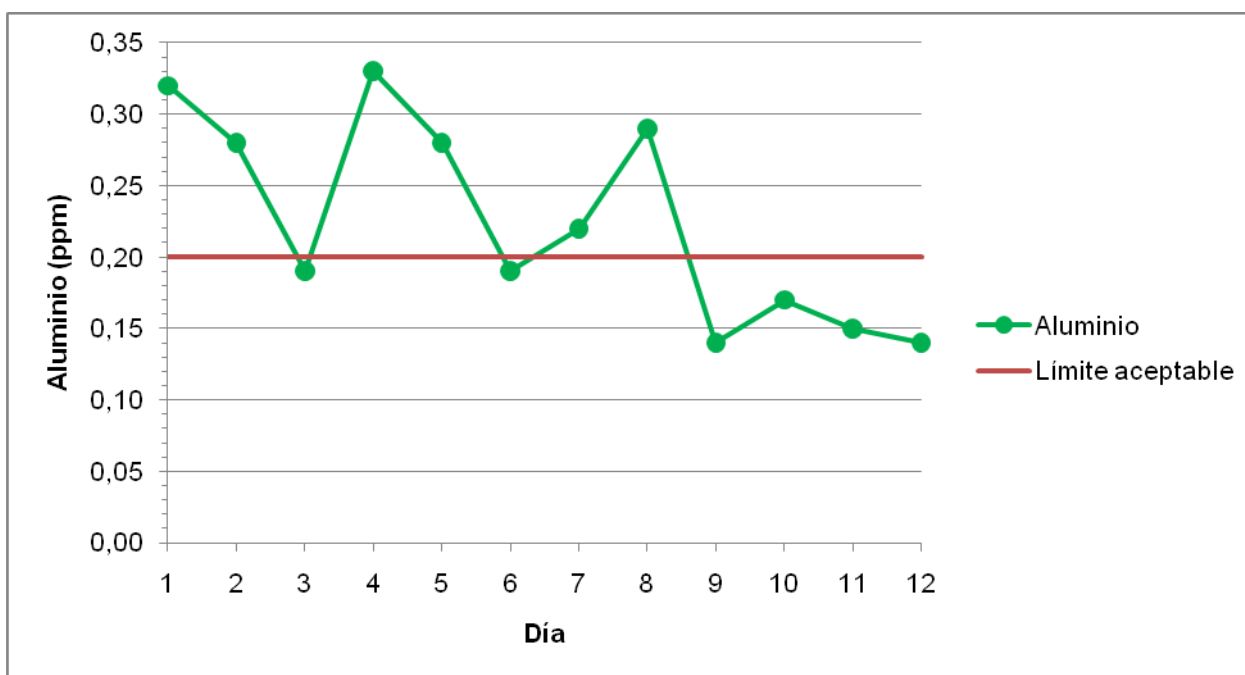


Figura 4.7 Variación del aluminio residual en el agua potable.

Turbidez y color

Según Arboleda (2000) la turbidez involucra directamente los sólidos suspendidos que el agua contiene en forma coloidal que no depende del pH y es de origen mineral, mientras que el color está relacionado con la materia disuelta, es de origen orgánico (ácido húmico, ácido fúlvico principalmente) y está íntimamente relacionado con el pH. Para ambas variables la capacidad de remoción presenta valores mayores a 80% como se muestra en la Tabla 4.2, haciendo énfasis que para los días de diagnóstico la turbidez y el color de entrada eran valores considerablemente altos y la remoción se logra con mucha efectividad, pero cabe destacar que los valores no se encuentran por debajo del máximo establecido por la Gaceta 36.395 y la norma interna de la empresa donde para la turbidez se tiene 1,5 N.T.U. y para el color menor a 5 unidades (APHA),

lo que trae como consecuencia que la calidad de agua es baja, como se muestran en las Figuras 4.8 y 4.9, por lo que se puede inferir que existen fallas operacionales, en la adición de aditivos químicos, los años de servicio de la planta, entre otros, que impiden obtener un producto final de calidad. Por tanto se requieren evaluar la eficiencia operacional de cada etapa del proceso a las mismas condiciones de operación como se explicará más adelante en el objetivo 2.

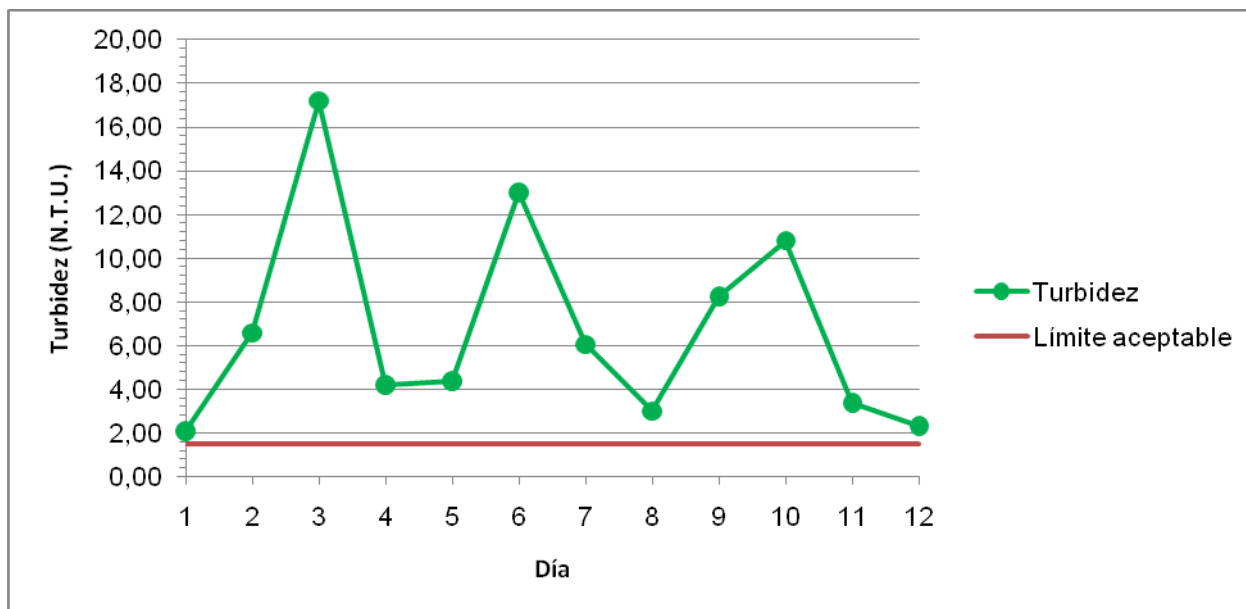


Figura 4.8 Variación de la turbidez en el agua potable

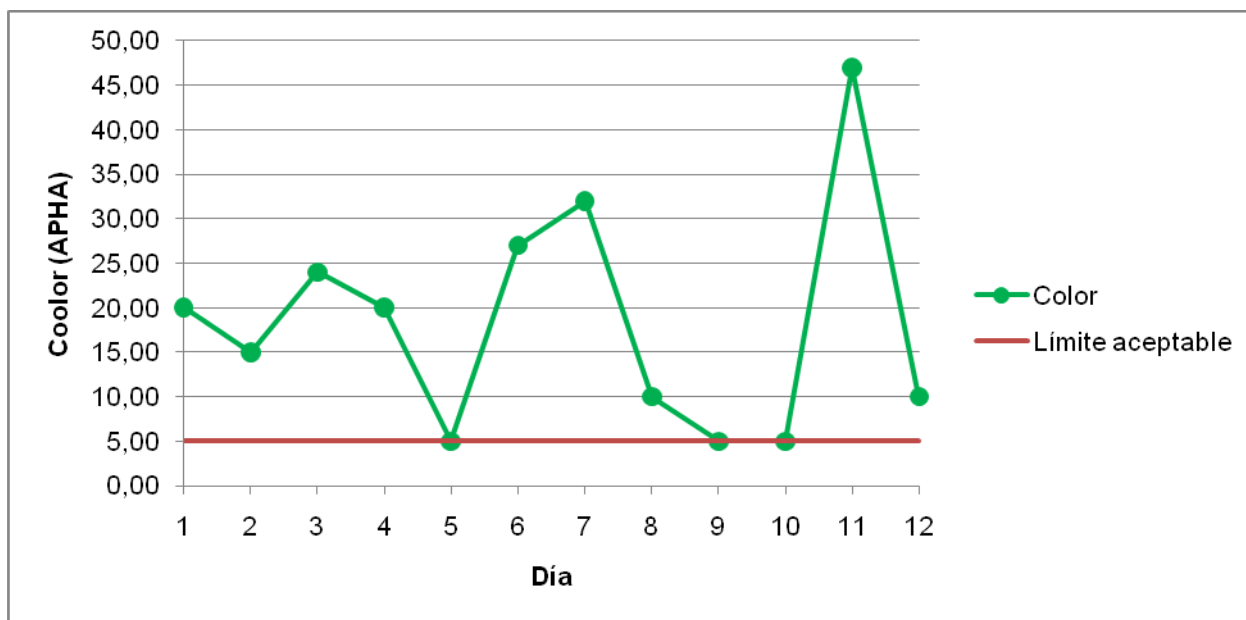


Figura 4.9 Variación del color en el agua potable



Sílice

La sílice se presenta en el agua cruda en forma coloidal (SiO_2) y puede ser removida mediante métodos de clarificación acompañado de precipitación con cal, para el caso en estudio se cuenta con ambas etapas y para las muestras analizadas se tiene que la sílice del agua tratada es menor que la presenta agua de alimentación del proceso (Tablas A.1 y A.2 en el apéndice A). Esto es debido a que las partículas sedimentadas en la clarificación absorben parte de éste, principalmente los hidróxidos de hierro, aluminio y magnesio que se han formado en la etapa primaria y éstos precipitan en la fase de sedimentación seguida de la filtración con arena y otros medios (Powell, 1987). Más sin embargo la clarificación no es el método operacional más indicado para la remoción de este parámetro, por esto los porcentajes de remoción que se reportan en la Tabla A.2 oscilan entre 30 y 50%. Tomando en cuenta que los valores obtenidos para el agua potable se encuentran dentro de los límites que especifica la norma interna de la empresa (8-17)ppm, acotando que hay valores por debajo de 8 ppm.

Conductividad y sólidos disueltos totales (TSD)

Variables netamente dependientes pues son indicadoras de la presencia de sales minerales presentes en el agua, es decir, el total de residuos sólidos filtrables (sales y residuos orgánicos) ambas se observan que en la mayoría de los casos los valores del agua tratadas incrementan el doble con respecto a los de entrada (Tablas A.1 y A.2 del apéndice A), esto es debido a los diferentes productos que se forman en las etapas iniciales del proceso compuestos a base de hidróxidos, carbonatos, cloruros y sulfatos, que se unen a los cationes Ca^{+2} , Mg^{+2} , Na^+ , Al^{+3} , Fe^{+3} , Mn^{+2} , entre otros, ocasionado por la adición de químicos que de una forma u otra alteran la composición del agua desde la adición del coagulante hasta la aplicación de la lechada de cal, la cual según Arboleda (2000) la superficie de los granos del lecho filtrante se endurece provocado por la cal adicionada antes de conducir el agua a los filtros y genera caminos preferenciales lo que implica dos problemáticas saturación del filtro y deficiencia de remoción, lo que implica reducción de horas de operación. Teniendo en cuenta que los porcentajes de remoción arrojan valores negativos por las causas anteriormente expuestas, a su vez los valores permanecen en la mayoría de los casos dentro del



rango de control para los TSD (120-180) ppm y para la conductividad (160-250) $\mu\text{S/cm}$, excepto los últimos cuatro eventos (Figuras A.3 y A.8 del apéndice A).

Hierro

La capacidad de remoción del hierro coloidal y férrico que contiene el agua superficial tiende a un 100% como se muestra en la Tabla 4.2, el cual en la etapa de reacción del tratamiento primario se convierte en hidróxido metálico y sedimenta en los precipitadores, el resto es retenido en la fase de filtración (Kemmer y McCallion, 1997), en este sentido se tiene que todos los valores de las muestras analizadas se encuentran por debajo del límite aceptable menor a 0,3 ppm como lo estipula la norma. Cabe destacar que el ión ferroso (Fe^{+2}) se encuentra soluble en el agua en medio ácido y el pH del agua cruda por lo general es menor que 7, más sin embargo si existe un medio alcalino con un pH cercano a 10 y oxidante se forma el ión férrico Fe^{+3} el cual se combina con el OH^- presente en el agua y forma compuestos insolubles.

Manganeso

Se encuentra en las aguas superficiales tanto en suspensión en su forma tetravalente, como en la forma trivalente en un complejo soluble relativamente estable. La cantidad de este metal en el agua, de igual forma que el hierro es poca ya que es removido en un 100% como se observa en la Tabla 4.2, es decir, que las unidades de tratamiento del proceso son muy eficientes, específicamente en la fase de reacción (Kemmer y McCallion, 1997) y a su vez el contenido en el agua de entrada es ínfimo. Por tanto dicho parámetro se encuentra dentro de norma menor a 0,1 ppm de concentración.

Materia orgánica

La materia orgánica que tiene el agua cruda del río Morón no sobrepasa la concentración de 20 ppm (Tabla A.1 del apéndice A), lo que indica que la pre-cloración que se realiza en campo en la mezcla rápida es acertada pues se hace con la finalidad de disminuir el contenido orgánico el cual compite en la formación del coagulo (Powell, 1987); si la concentración de la materia orgánica supera los 20 ppm el cloro no es el más recomendable para la desinfección ya que se esto provoca la formación de las



cloro-aminas que son altamente dañinas para la salud y lo recomendable es el uso del dióxido de cloro.

Además existen dos puntos de aplicación de cloro después de la sedimentación, que también es conocido como la pre-cloración y una post-cloración luego de la etapa de filtración que ayuda a eliminar el resto de la materia orgánica del agua y a su vez mantener un residuo en cloro que mantenga libre al agua de microorganismo a través de las diferentes líneas de tuberías por el cual el fluido vital circula hasta el uso industrial y consumo. Por tanto que la cantidad de cloro suministrada en todo el proceso es muy eficiente en la disminución del 100 % de este parámetro fundamental para la potabilización de agua y por ende se encuentra dentro de norma cuya concentración final es 0 ppm (Tabla 4.2).

Cloro libre

Es el residual de cloro que no reaccionó y es indicativo de la presencia o no de materia orgánica en el agua, dicho valor no puede excederse de los 1,5 ppm de concentración de acuerdo a lo que estipula la norma. Como es notorio en la Figura A. 1 del apéndice A la cantidad de cloro residual se encuentra por debajo de 0,5 ppm, cabe destacar que la muestra tomada para la realización de este test es el agua que se recibe en el Complejo Petroquímico Morón, pues de donde se produce hasta el punto de llegada hay 5 km de distancia aproximadamente, por lo que la concentración de cloro no debe ser tan alta para no crear efectos nocivos en la salud y ya se ha mostrado que la materia orgánica es removible en su totalidad. Es importante resaltar que como parámetro de control en campo el contenido de cloro es de 2 ppm por lo mencionado anteriormente.

Cloruros

Presentes en grandes proporciones en el agua cruda debido al agua de las lluvias las cuales hacen un lavado con el suelo. Estos son solubles en el agua y por tanto donde se remueven los mismos es en la etapa de filtración y la mayoría de los valores se encuentran en rango (16-24) ppm como se muestra en la Figura A.2 del apéndice A y se logra la remoción de un 60% de acuerdo a lo que se muestra en la Tabla 4.2, más



sin embargo existen valores negativos en remoción, debido al incremento con respecto a los valores de entrada en cierta parte porque éstos son dureza no carbonática la cual es difícil de remover. Hay que tener en cuenta que los cloruros en el agua dan un mal sabor para el agua de consumo y para uso industrial es un veneno para las tuberías porque es muy corrosivo.

Fosfatos

La formación de fosfatos viene dada por la cantidad de fósforo disuelto en el agua, la concentración de éstos a la entrada no excede los 2 ppm y la remoción de los mismos se hace efectiva entre un 50 y 90 % en remoción y los valores a la salida permanecen dentro del rango establecido por la norma interna de la empresa (0,5-1,5) ppm. Por otro lado se da la formación de sales a base del fosfato, proveniente de los cationes que el agua contiene y al mismo tiempo los cationes que se suman a lo largo del proceso por la adición de químicos, más sin embargo la remoción de éstos se hace de manera eficiente, pues éstos se precipitan fácilmente (Figura A.4, apéndice A). Algunos de los posibles compuestos de acuerdo a la solubilidad en el agua (Tabla 4.3), se pueden visualizar a continuación:

Tabla 4.3 Solubilidad en agua de algunos compuestos a base de fosfatos

Compuestos	Solubilidad en 100 g de agua
AlPO_4	Insoluble
$\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$	0,02
$\text{Mn}_3(\text{PO}_4)_2 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	Poco soluble
$\text{Fe}_3(\text{PO}_4)_2 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$	Insoluble
$\text{FePO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	Muy poco soluble
$\text{Mg}_3(\text{PO}_4)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$	0,02

Fuente: Welcher y Hanhn, 1960.

4.2 Realizar un diagnóstico de las unidades de tratamiento que conforman el proceso de potabilización de agua.

En las diferentes visitas y recorridos a la planta se observó con detalle el proceso que actualmente se lleva a cabo de acuerdo a las consideraciones de diseño.

Mezcla rápida

Está constituido por cuatro (4) tanques denominados M-1, M-2, M-3 y M-4 (Figura 4.10) cada uno con un agitador mecánico de 10 hp de potencia con 100 revoluciones por minuto de velocidad de acuerdo a la información de diseño, pero este se verificó mediante personal calificado que dicho parámetro oscila en 60 rpm, para AG-1 y AG-2 lo que implica que para esto se tiene una mezcla intermedia. Cada tanque posee un tiempo de retención de 1 minuto en base al caudal de diseño 900L/s.



Figura 4.10 Mezcladores rápidos M-1, M-2, M-3 y M-4

En el primer mezclador es adicionado el coagulante denominado sulfato de aluminio el cual posee un regulador de flujo que se controla de acuerdo a la concentración del



mismo y el caudal de entrada de agua cruda suministrada a la planta, mediante la ecuación 4.1, proporcionada por la empresa proveedora Ferralca, C.A., 2010:

$$Q_{SA} = \frac{C_{SA} \cdot Q_{entrada} \cdot Fc_2}{\rho_{SA}} \quad (4.1)$$

(Ferralca, 2010)

Donde:

Q : caudal de sulfato de aluminio, L/min.

C_{SA} : concentración de sulfato de aluminio, determinado en prueba de jarra, g/m³.

$Q_{entrada}$: caudal de agua cruda suministrado a la planta, m³/s

ρ_{SA} : densidad del sulfato de aluminio, 1340 g/L.

Fc_2 : factor de conversión 2, 60 s/min.

Por otro lado en el segundo mezclador se encuentra un punto de adición de lechada de cal que se hace con la finalidad de mejorar la alcalinidad del agua, pues tanto las sales de aluminio como las de hierro reaccionan con la alcalinidad y se hidrolizan con ella, es por ello que dicha alcalinidad la contiene el agua de forma natural o es adicionada como se hace actualmente en la planta, pero este punto se mantiene en servicio cuando la turbidez de entrada es elevada por lo general, más sin embargo es un error operacional adicionarla luego de la adición del alumbre pues ya que la reacción de este ocurre rápidamente en el primer mezclador y por ende lo que se genera es un ligero incremento de pH y aumento de carbonatos presentes en el agua. Es importante mencionar que el tiempo de residencia del agua en los tanques de mezcla varía dependiendo del caudal de entrada que se maneje, mientras más pequeño sea el flujo volumétrico el tiempo se incrementa (Ecuación 3.3 del capítulo 3), porque según Arboleda (2000) el tiempo de detención nominal oscila entre 10 y 60 segundos en retro-mezcladores. De lo anterior se tiene que esto puede generar deficiencia en la formación del coagulo e incluso ruptura del mismo y de acuerdo a los días de estudio la planta operó a diferentes caudales como se muestra en la Tabla 4.4, donde el tiempo de detención del agua en los cuatro (4) tanque está comprendido entre (8-12) min.



En el tercer mezclador se adiciona el floculante un polímero no iónico que ayuda a la formación del flóculo, cuya concentración es igual a 0,2 ppm y el flujo es netamente dependiente del caudal de entrada a la planta, para el cual se cuenta una tabla que arroja el flujo másico en función del tiempo del polímero que debe ser suministrado en campo (apéndice D, dosificación de polímero). El polímero es agitado a la misma velocidad que se adiciona el coagulante, en esto difiere a las plantas de potabilización convencional, las cuales poseen las unidades de tratamiento por separado. En el cuarto mezclador continua la agitación a 100 rpm y no se adiciona ningún químico.

Tabla 4.4 Tiempo de residencia de acuerdo a caudal de operación

Volumen efectivo de cada tanque (L)	Caudal (L/s)	Tiempo de residencia (s)	Tiempo de residencia (min)	Tiempo de residencia en los cuatro (4) tanques (min)
57000	300	190	3	12
	350	163	3	11
	400	143	2	10
	450	127	2	8
	500	114	2	8

Sedimentación

Seguidamente el agua floculada se transporta mediante un canal abierto, donde existe un segundo punto de aplicación de floculante, y el agua se dirige a dos (2) precipitadores (SD-1 y SD-2) divididos cada uno en dos secciones A y B, donde cada sedimentador cuenta con un agitador (AG-9 y AG-10) cuyo eje contiene ocho (8) paletas con un motor que permite manipular la rotación del mismo ajustada actualmente a 30 rpm, éstos giran en sentido contrario, con la finalidad de obtener la mezcla lenta para completar la formación del flóculo y permitir la sedimentación del mismo. El eje contiene ciertos puntos de inyección de agua tratada mediante tuberías de ½" como sistema de enfriamiento por el roce que se genera por fricción entre las paletas.

Cada sedimentador tiene un sistema de purgas automáticas y manuales de lodo el cual es enviando a un recuperador de lodos (SR-5) mediante dos bombas PC-17/18. Luego el agua sobrenadante de los precipitadores se vierte en canales abiertos por medio de

unos módulos que poseen una inclinación de 60° (Hurtado y asociados, 1973) y una sección transversal de 5cmx5cm, cada conjunto cuadrado de módulos posee en su contorno vertederos de tipo triangular, donde al agua se vierte cada sección está conformada por ocho (8) módulos, en la Figura 4.11 se visualiza una vista área de los sedimentadores. El agua clarificada se le adiciona lechada de cal para aumentar el pH del agua, cuyo punto de aplicación es crítico operacionalmente.



Figura 4.11 Vista aérea de los sedimentadores

Filtración

El agua se traslada a los filtros cuatro (4) de arena, grava y antracita que se encuentran en paralelo, su función principalmente consiste en eliminar la materia visible en suspensión.

Las sustancias sólidas de mayor tamaño suspendidas en el agua son retenidas en las cavidades de la masa filtrante. Sin embargo, las partículas finamente dispersas y las sustancias orgánicas suspendidas junto a la microflora que se desarrolla, forman capas de sustancias gelatinosas (llamada membrana biológica) alrededor de los granos de la sustancia filtrante, las cuales facilitan de este modo la fijación por adsorción de las sustancias coloidales presentes en el agua. Debido a que el material filtrante se satura a un tiempo de operación de aproximadamente 36 horas, en el cual se procede a lavar dicha unidad, cada piscina de filtración posee en un palmer en cada sección para el lavado superficial y a su vez se cuentan con tres bombas de lavado de 190 L/min (Pequiven, 2009) para el contralavado del filtro con agua proveniente del tanque



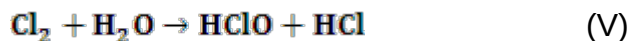
subterráneo SR-6, donde se almacena el agua potable proveniente de la filtración. Para verificar la turbidez, se toman muestras en la salida de los filtros (esta debe ser menor de 1,5 N.T.U.), parámetro el cual operacionalmente se ha hecho difícil de controlar.

Cloración

La cloración o desinfección del agua representa la fase más importante en el tratamiento, porque implica la eliminación de microorganismos presentes en el agua. Esta operación se efectúa en dos etapas:

- Primera etapa: Se conoce como pre-cloración. Se lleva a cabo primeramente en la etapa de reacción para eliminar la materia orgánica la cual compite con la formación del floc en la mezcla rápida y en segundo lugar se inyecta solución cloro-gas antes del proceso de filtración (en el canal de los filtros).
- Segunda etapa: Se conoce como post-cloración. Se lleva a cabo inyectando solución cloral después de la filtración (tanques subterráneos).

El cloro descompone el agua de acuerdo a la siguiente reacción:



El HClO producido es el responsable de las propiedades oxidantes y bactericidas de las soluciones de cloro. El agua tratada debe tener un residual de cloro entre (1,0 - 1,5 ppm) a la salida de la planta, de lo contrario se corre el riesgo de crecimiento microbacteriano.

Bombeo y almacenamiento

El agua filtrada pasa por un canal al tanque subterráneo SR-6 en donde las PC-1/2/3/4/5/6 bombean a los tanques de almacenamiento (SR-1/2/3/4), los cuales se encuentran en paralelo y envían el agua potable por gravedad. Los tanques SR-1/2/3/4 tienen una capacidad de 10.000 m³ (Hurtado y asociados, 1973) cada uno y están ubicados en la parte sur del complejo.



Agua recuperada y recirculación de lodos

Existen dos puntos de recirculación de agua al proceso en el M-1 de la primera etapa de tratamiento, el primero proviene del tanque SR-5 en donde se recupera parte el agua que drena en la purga de lodos de los sedimentadores, la cual es enviada mediante tres bombas PC-14/15/16. El segundo punto es agua recuperada del denominado recuperador de lodo nuevo, el cual recibe el agua de lavado de filtros, posee dos bombas sumergibles (PC-19/20) para descargar la materia sólida sedimentada y dos superficiales (PC-21/22) para transportar el agua recuperada al tanque M-1. Dichos puntos de recirculación son utilizados principalmente aumentar el flujo de agua de entrada en caso de sequía y a su vez aumentar la turbidez cuando esta se encuentra por debajo de 20 N.T.U., pero para este caso también se hace recircular lodo de la descarga de los sedimentadores mediante una tubería dispuesta para el M-1.

Estabilidad del agua

Se utiliza un inhibidor de corrosión que es aplicado en el canal que conduce el agua desde la galería de los filtros hasta el tanque de almacenamiento SR-4 y así evitar la corrosión de las líneas de tuberías que transportan el fluido hasta los tanques que se ubican en el complejo para su posterior uso industrial y/o consumo.

Antes de la filtración es aplicada cal hidratada con la finalidad de ajustar el pH pero se observa que operacionalmente es difícil de controlar, dicho sistema de dosificación posee un tornillo sin fin que permite que ésta caiga a granel primeramente en un tanque de mezcla con agua, el cual puede ser regulado mediante un dial. Cuando se manipulaba este y se incrementaba el pH del agua tratada entraba en norma pero la turbidez aumentaba, de igual forma sucede en caso contrario al bajar la dosificación de la cal, disminuyen ambos parámetros.

Agua de Hidrocentro

Existe un ducto de agua de Hidrocentro la cual es utilizada en épocas de sequía y esta posee una bifurcación una rama es conducida al M-1 de mezcla rápida y otra se dirige al canal de la galería de los filtros y se une con el agua tratada obtenida en el proceso.

En la Figura 4.12 muestra el diagrama de flujo en el cual se muestran las unidades y las diferentes etapas que están íntimamente relacionadas en el proceso de potabilización y que fueron explicadas anteriormente.

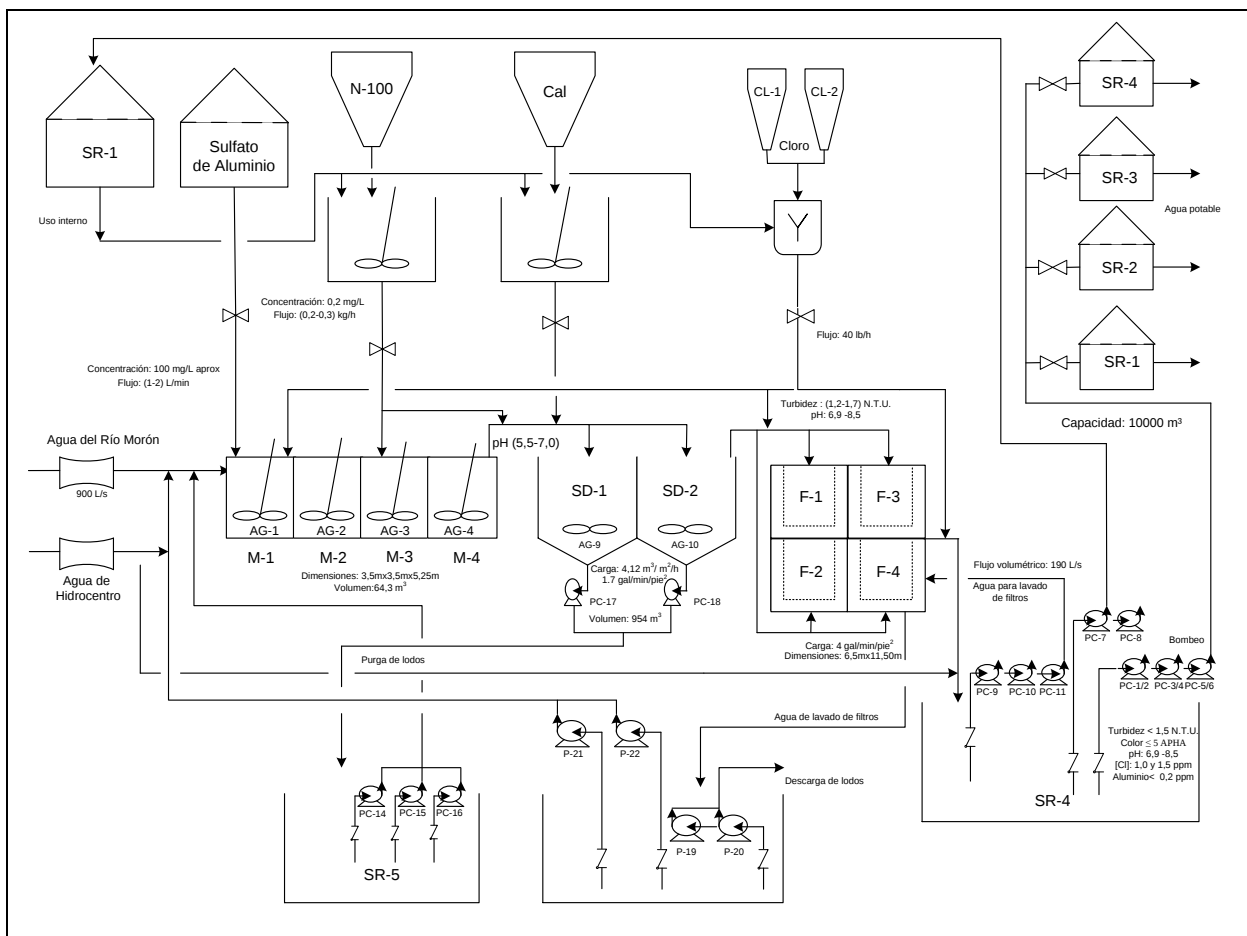


Figura 4.12 Diagrama de flujo del proceso de potabilización de la Planta de Agua Cruda I-106.

Se realizaron varias corridas de muestreo de agua por cuatro semanas consecutivas en las cuales se caracterizó el agua en diferentes puntos de la planta, con la finalidad de evaluar la capacidad de remoción de los contaminantes del agua cruda. A continuación se mostrará con más detalle los valores obtenidos.

En el muestreo realizado se basó fundamentalmente en las problemáticas observadas cuando se realizaron las visitas periódicas a la planta.



Turbidez

Se puede observar en primer lugar que la mayoría de los días para los cuales fue realizado el muestreo el clima era lluvioso, por tanto la turbidez del agua de entrada se encuentra en entre (50,0-100,0) N.T.U., por lo que se pudo evaluar la planta en condiciones críticas de entrada, debido a esto los valores de la concentración de sulfato de aluminio oscilaban entre 140 y 180 ppm, este coagulante anteriormente se adicionaba en forma sólida y antes de de ser aplicado se diluía previamente, y la concentración mínima oscilaba alrededor de 30 ppm, pues en la actualidad el reactivo es añadido en solución al 50% y la cantidad mínima suministrada es 60 ppm, es decir, que se añade el doble para poder llevar a cabo la reacción de coagulación.

La turbidez a la salida de los mezcladores rápidos fue difícil persuadir cual valor es el permitido, pues el agua contiene los sólidos sedimentables previamente formados en el tratamiento primario, por tanto son valores altos en un rango comprendido entre (50-400) N.T.U. para dos eventos se encontró que superan a los valores obtenidos del agua cruda, y por ende el porcentaje de remoción son negativos $(-203,5 \pm 0,2)$ N.T.U. y $(-20,74 \pm 0,2)$ N.T.U, una de las causas se debe al exceso de sulfato de aluminio agregado. En la etapa de sedimentación no se logró tomar muestra significativa del agua clarificada porque no existe un punto donde se unan los flujos de cada sección sin antes añadir la cal hidratada, por ende se tomaron las muestras en los canales de salida de los precipitadores, se tiene que de acuerdo a parámetros de control de proceso la turbidez en el efluente de esta etapa debe estar comprendido entre 1,2 y 1,7 N.T.U., más sin embargo en la figura 4.13 se puede notar que para ninguno de los días de muestreo se tiene una turbidez en dicho rango, esto es debido a la adición de la cal para incrementar el pH después de la etapa de coagulación, pero la dosificación no se realiza de manera uniforme, porque se puede observar que los valores de turbidez se incrementan en la sección 1-B y 2-A pues es allí donde se adiciona en mayor proporción dicho químico. Seguidamente hay dos canales donde se encuentran el agua de salida de las dos secciones que conforma cada clarificador, las cuales son las entradas directas a los filtros, allí se tiene que la turbidez a la entrada de los filtros 1-3 es más elevada en casi todos los casos, principalmente porque el agua proveniente del SD-2 tiene preferencia hacia dicho canal por la ubicación y este presenta floc en el agua

sobrenadante del mismo. Pero por lo general la turbidez que debe contener el agua que se transporta hacia los filtros tiene que ser menor o igual a 5 N.T.U. y en la mayoría de los casos se excede este valor para ambas entradas (Figura 4.14), lo que trae como consecuencia pérdida de eficiencia de los filtros ocasionando congestión del lecho filtrante.

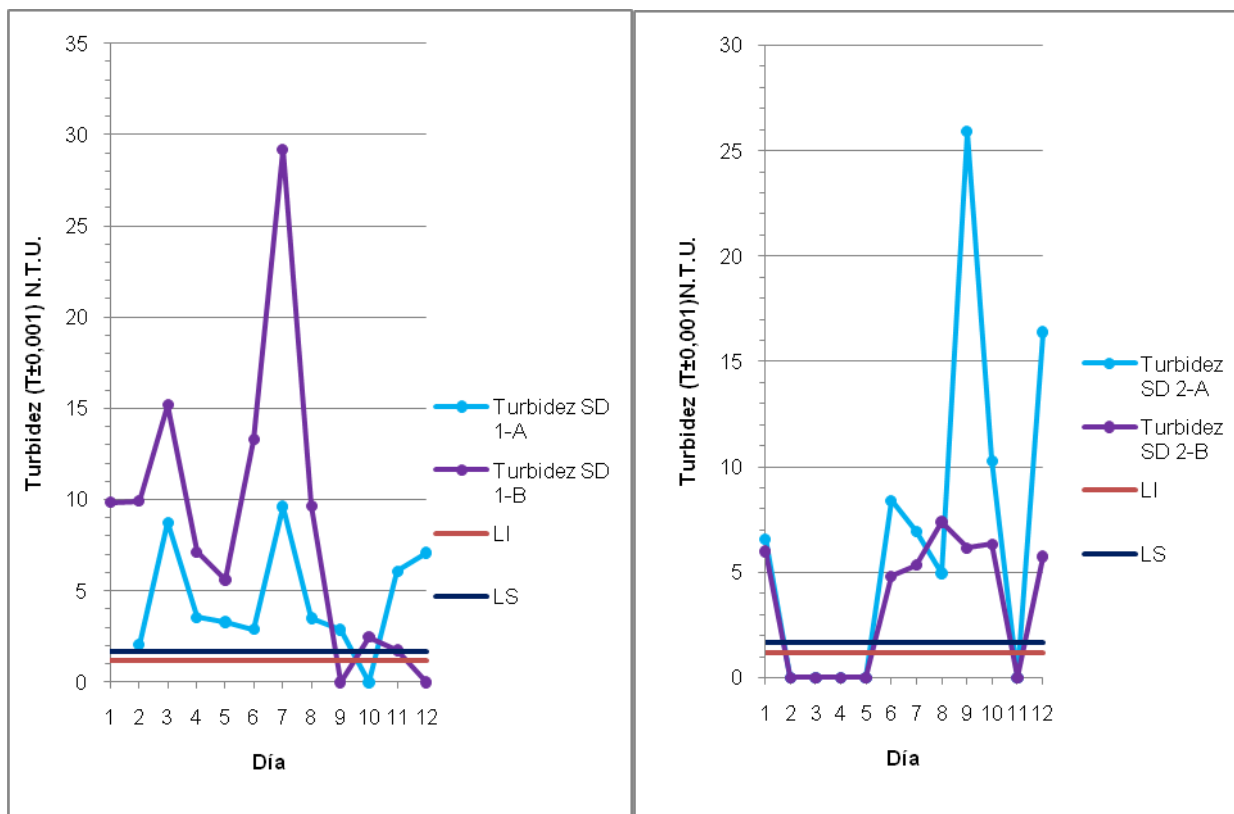


Figura 4.13 Variación de la turbidez a la salida del sedimentador 1 y 2

En cuanto a la salida de los filtros, para el caso del F-1 la semana 3 para los días 6,7 y 8 con fecha de 23, 24 y 25 del mes de Noviembre, se tienen turbidez elevadas en principio por las horas de operación para el caso de los dos días últimos pues se tienen 31 y 55 horas de operación según manual de operación estipula un máximo de 36 horas por lo que se tiene al filtro en exceso de horas de operación y con el lecho filtrante saturado.

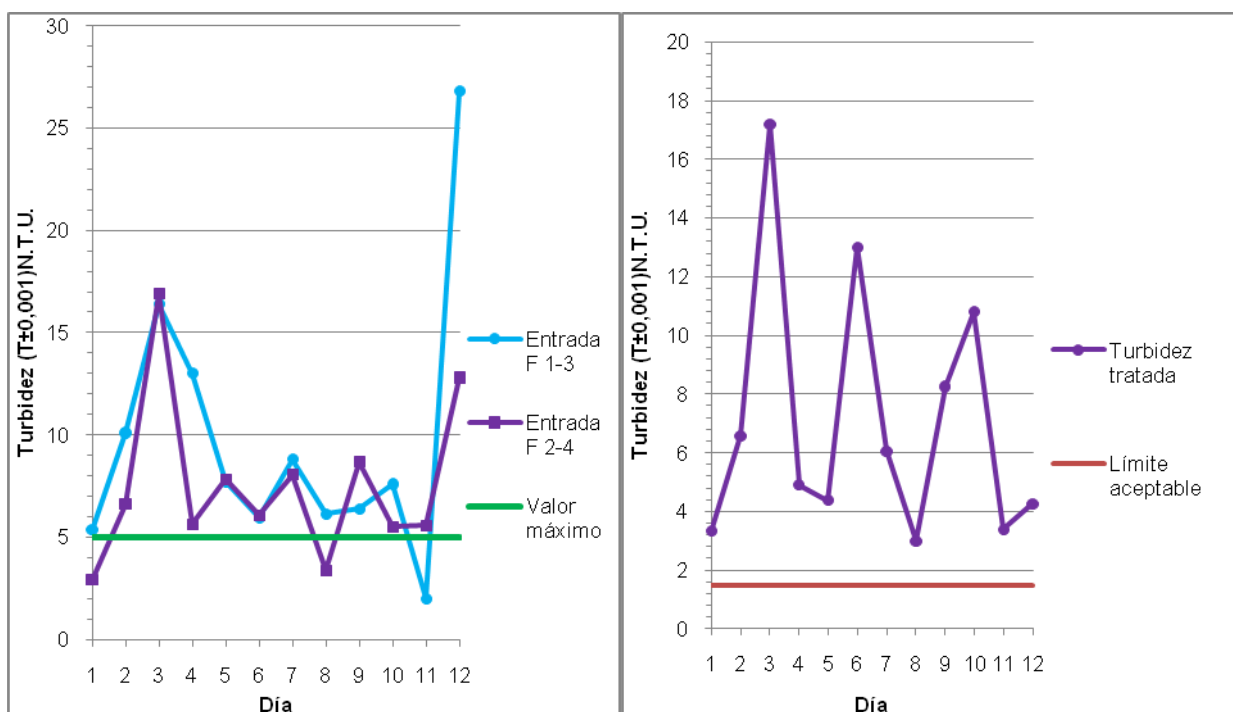


Figura 4.14 Variación de la turbidez a la entrada de los filtros y del agua tratada

Para el filtro 2 se tienen turbidez de $(19,40 \pm 0,01)$ N.T.U para la sección A el día 3 con fecha 16 de Noviembre para ese día se tenían 30 horas de operación más sin embargo la sección B del filtro arrojó una turbidez de $(0,34 \pm 0,01)$ N.T.U., esto ocurre también porque operacionalmente en la planta no se lleva un control en cuanto a las horas de operación por sección de cada filtro, pues no siempre las secciones se encuentran funcionando en paralelo, ya que existen ocasiones donde una sección se encuentra fuera de servicio cuando el caudal de entrada es muy bajo, o en tal caso el filtro se mantiene en reserva, para el día en estudio se manejaban 300L/s y en servicio sólo el sedimentador 1, por tanto no es necesario que los 4 filtros operen de forma simultánea. Esto también se ve influenciado por la carrera de filtración la cual no hay forma de medir y a su vez para que el filtro tenga el agua suficiente y no provoque burbujas de aire que ocasionan caminos preferenciales entre el lecho filtrante.

Para el caso del filtro 3 es uno de los más críticos según los operadores en planta y se consolida con los valores obtenidos como es el caso de la sección B que nunca se obtuvieron valores de turbidez menores a 1,5 N.T.U., así como también ocurre para el



filtro 4 implica muy directamente las horas de operación y el control directo del funcionamiento de las secciones de cada filtro.

Cabe destacar que para la mayoría de las corridas realizadas el SD-2 se encontró fuera de servicio por mantenimiento, por fallas operacionales ya que el agua sobrenadante de los módulos principalmente de la sección B se les observaba presencia de flocs en gran proporción, donde las posibles causas de deficiencia del sedimentador es la excesiva agitación en la mezcla rápida y así como también no se puede obviar el tiempo de vida útil de la unidad de tratamiento.

Como producto final se obtiene el agua tratada en la cual el parámetro máximo permitido es menor a 1,5 N.T.U., (Figura 4.14) pero dicha meta es difícil de alcanzar operacionalmente, de acuerdo a lo mencionado anteriormente.

pH

El agua de entrada en términos generales se encuentra en el rango de pH donde es efectivo el sulfato de aluminio (alumbre) entre (5,5-7,2) unidades pues los valores obtenidos en el diagnóstico están alrededor de (6,0-6,8) Adim. La reacción de este reactivo con el agua baja el pH de la misma pues se prepara a partir de bauxita y ácido sulfúrico, por tanto es una sal proveniente de un ácido fuerte. Para corregir el pH se hace uso de la lechada de cal, se añade a la salida de los precipitadores donde dicho parámetro debe oscilar en un rango de (6,9-8,0) unidades, más sin embargo se observa que para el día 1, con fecha de 10/11, existen valores de (9,12±0,01) Adim. y (9,79±0,0)Adim., en la sección B del SD-1 y A del SD-2 respectivamente, lo mismo ocurre para el día 7, con fecha de 24/11, para ambas secciones y tal situación se presenta por la falta de proporcionalidad en la dosificación de la cal (Figura 4.16). Cabe resaltar que el pH disminuye a la salida de cada sección de los filtros y por tanto el agua tratada tiene un valor dentro del rango de la norma, 6,9 y 8,0 respectivamente, dando como resultado que los filtros remueven la materia sólida a parte de la orgánica, y a su vez la disuelta que pueden contener muchos compuestos y sales que se son íntimamente relacionados con el pH.

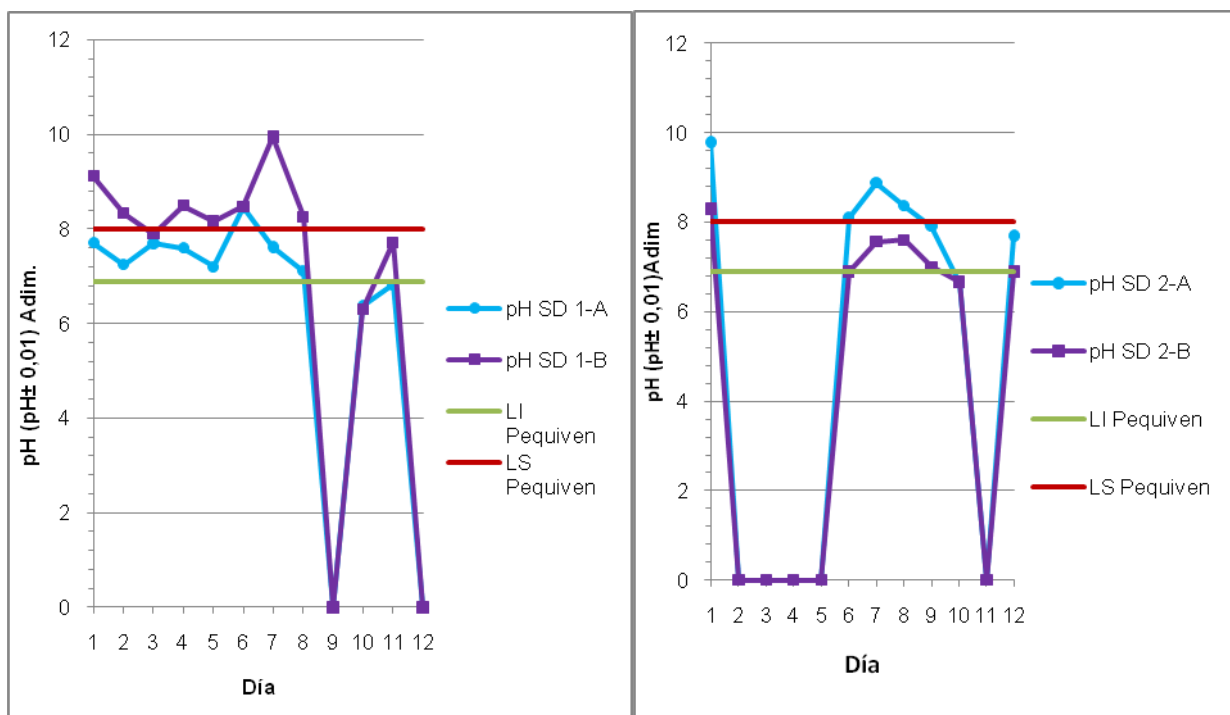


Figura 4.15 Variación del pH a la salida de los sedimentadores

El comportamiento del pH en los filtros se evidencia en las Figuras 4.17 y la 4.18, se observa que los valores de pH se reducen y en la mayoría de los casos se encuentran dentro del rango establecido. Cabe resaltar que en la Figura 4.16 se muestra el pH que entra a los filtros toma valores bajos en comparación a los obtenidos a la salida de los sedimentadores esto se debe a la unión del agua proveniente de las 4 secciones.

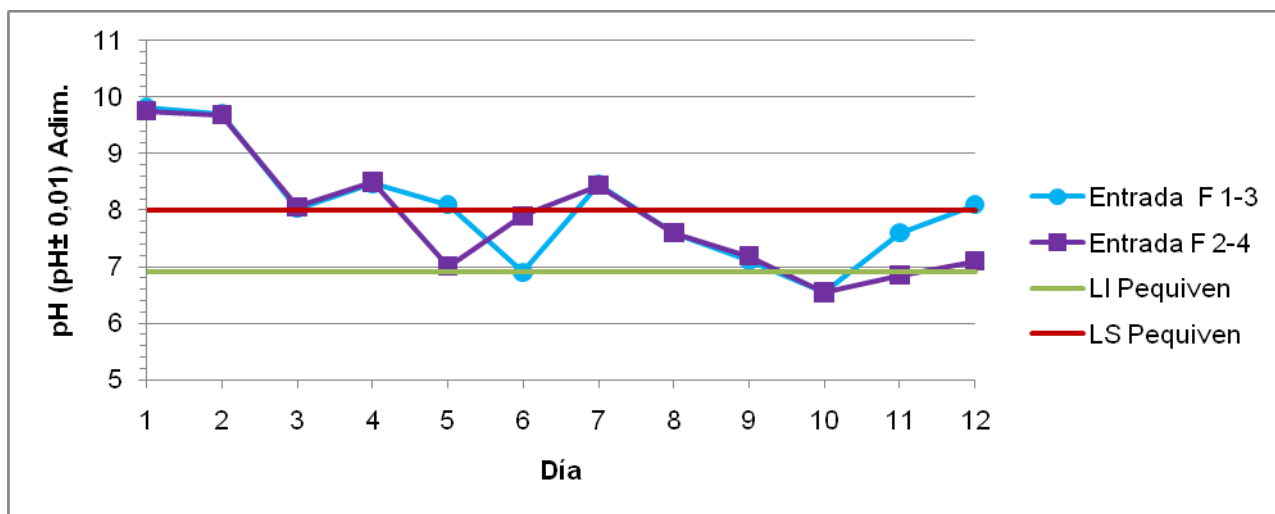


Figura 4.16 Variación del pH a la entrada de los filtros 1, 2, 3 y 4

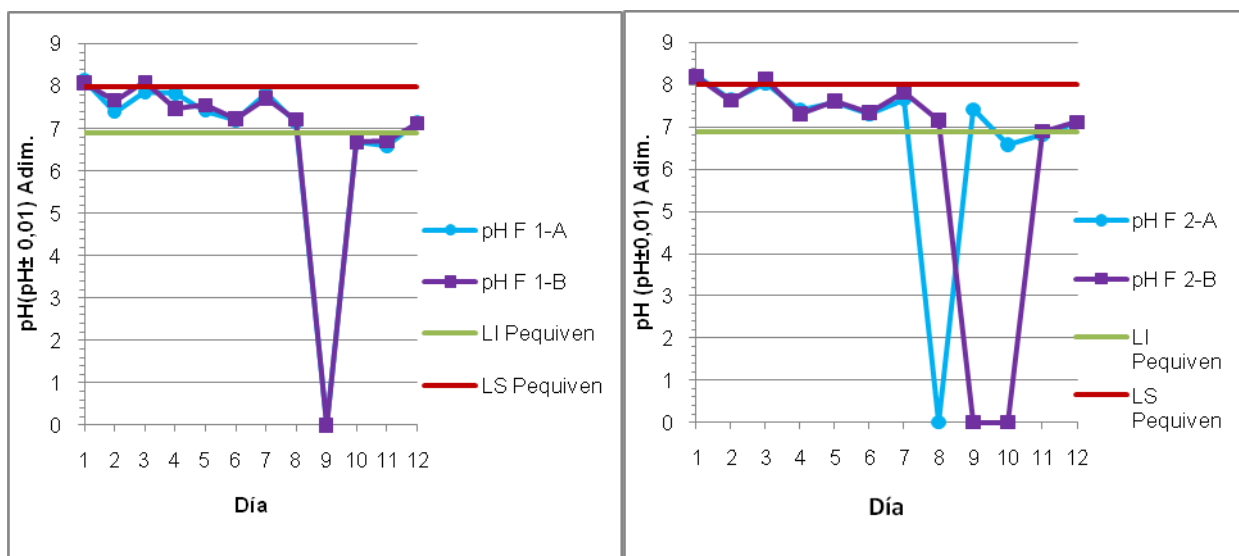


Figura 4.17 Variación del pH a la salida de los filtros 1 y 2

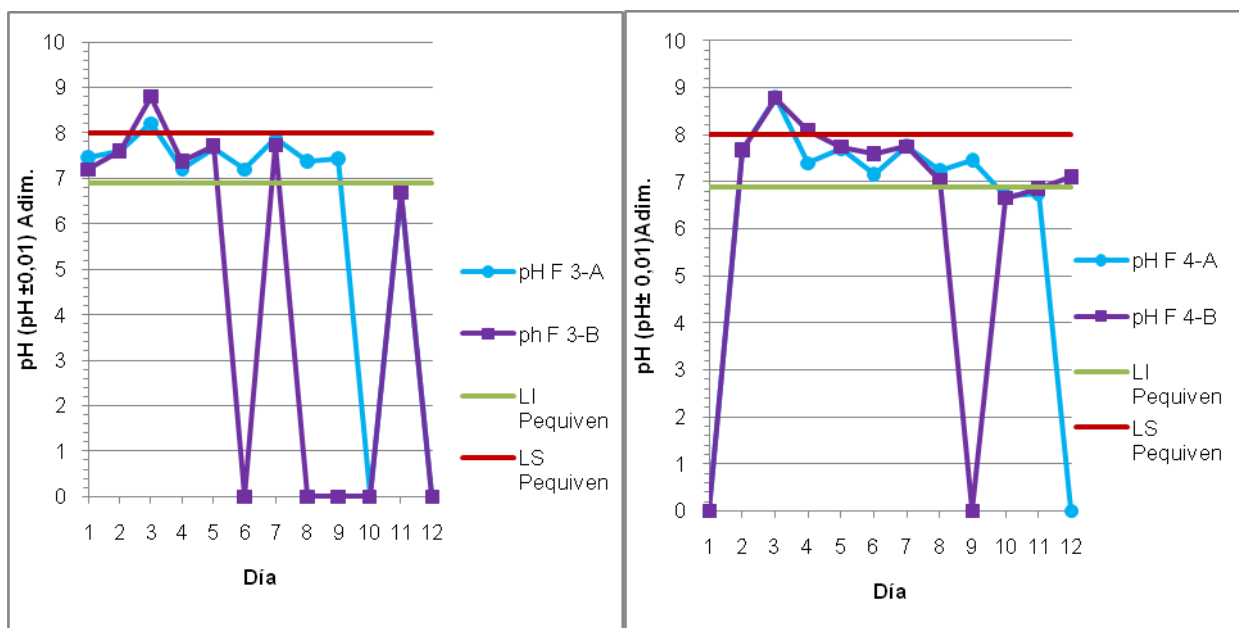


Figura 4.18 Variación del pH a la salida de los filtros 3 y 4.

Por otro lado para el día 12, con fecha de 15/12, se puede observar como el pH se incrementa a la salida de los filtros y cuando a la salida de los sedimentadores se tienen valores de pH alrededor de 6 unidades, aquí se ve influenciado con la turbidez de entrada a los filtros 1-3 y 2-4 que para esas condiciones de operación se encontraban en $(26,80 \pm 0,01)$ N.T.U. y $(12,80 \pm 0,01)$ N.T.U. respectivamente y al mismo tiempo el F-2



tenía 30 horas de operación por ejemplo, con lo que se entrelaza la importancia de la operación de los filtros con la dosificación de cal.

Más sin embargo hay eventos donde el pH del agua tratada es bajo y está por fuera del límite inferior del rango, específicamente en los días 10, 11 y 12 (08, 09 y 15/12), donde la concentración de sulfato de aluminio era 200, 180 y 80 ppm respectivamente, que para los dos primeros días se dosificaba cal en el M-2 y para el 15/12 no se tenía dicha aplicación, por tanto dicho punto operativo no es efectivo en cuanto al ajuste de pH en esa zona. De lo anterior se puede inferir que es necesario el ajuste de pH del agua de entrada ya que el tratamiento utilizado presenta deficiencia.

Dureza y alcalinidad

Para el agua cruda se obtuvieron valores en un rango de (12-24) ppm para ambos parámetros, en el proceso se ven afectados por la adición de químicos para la remoción de contaminantes y a su vez genera la formación de compuestos en el agua que son solubles y otros insolubles, los cuales deben ser removidos en las unidades posteriores. Se tiene que a la salida de los sedimentadores los valores de alcalinidad se ven considerablemente elevados como es el caso del día 1 (16/11) y siendo más notorios en la sección donde se aplica en gran proporción la cal hidratada, que para el caso sólo estaba en servicio el SD-1, cuyos valores fueron de 140 y 124 ppm para las secciones A y B respectivamente (Figura 4.19). Donde también se tiene que el agua tratada posee valores bajos dentro del rango establecido para control el cual es (25 -35) ppm en alcalinidad, para el caso se tiene 28 ppm y en dureza 56 ppm donde el rango es (37-87) ppm, es decir, aquí se involucra el papel relevante de los filtros como tercera etapa de tratamiento del proceso al remover los sólidos que no se pudieron eliminar en las etapas anteriores del proceso.

Para el caso del día 7 (24/11), se tienen valores de pH ($9,95 \pm 0,01$) Adim. y ($8,88 \pm 0,01$) Adim. en el SD 1-B y SD 2-A de aquí se puede visualizar las figuras 4.19 y 4.20 se tienen valores 120 y 90 ppm en dureza y en alcalinidad 188 y 120 ppm, respectivamente en las secciones mencionadas, en las cuales se aplica exceso de cal y de acuerdo a la tabla 4.5, el agua se clasifica como moderadamente dura.

Tabla 4.5 Clasificación de la dureza del agua de acuerdo a su concentración

Rango (mg/L)	Clasificación descriptiva
1 a 60	Suave
61 a 120	Moderadamente dura
121 a 180	Dura
Superior a 180	Muy dura

Fuente: Powell, 1987

Este punto de aplicación de cal la finalidad es aumentar el pH pero lo que trae como consecuencia el aumento del Ca^{+2} y los carbonatos haciendo un tratamiento alusivo a la precipitación química como se muestra en la reacción (III) donde la dureza solapa a la alcalinidad o dureza temporal (HCO_3) a la formación de CaCO_3 .

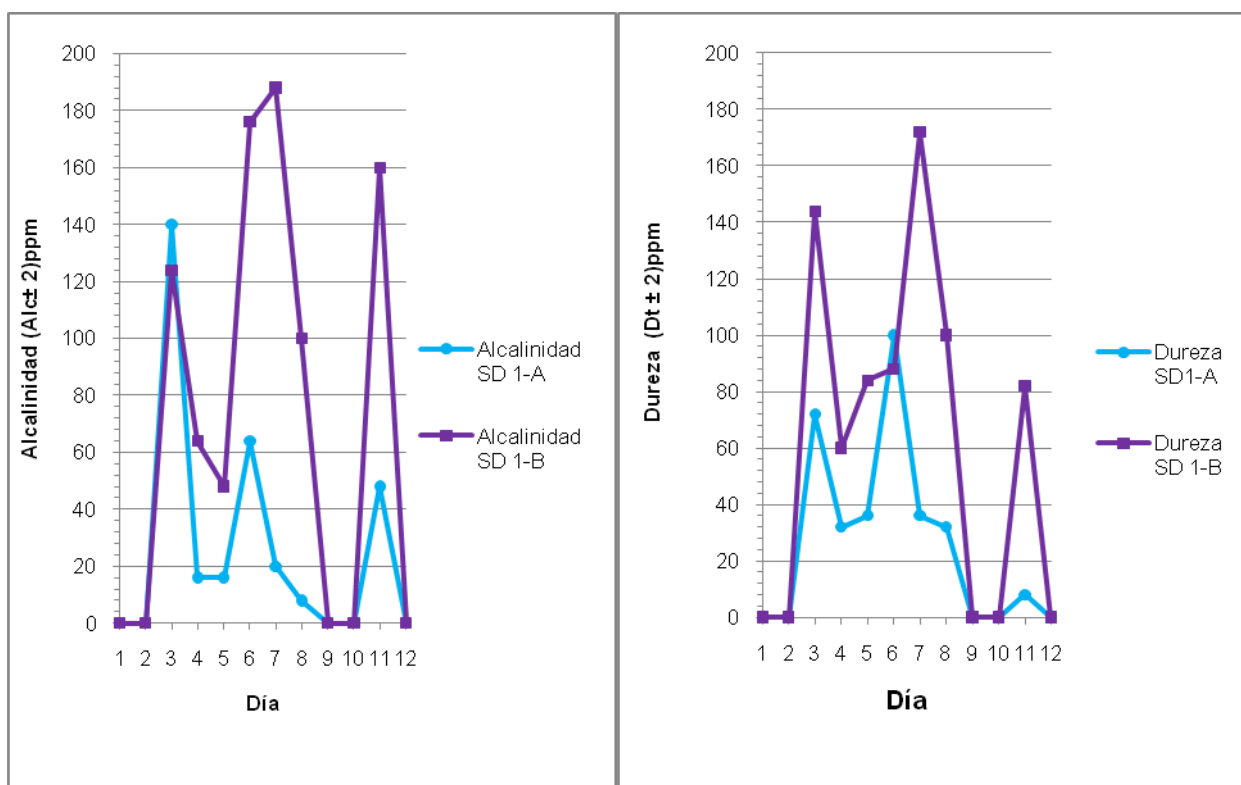


Figura 4.19 Variación de la alcalinidad y dureza en el sedimentador 1

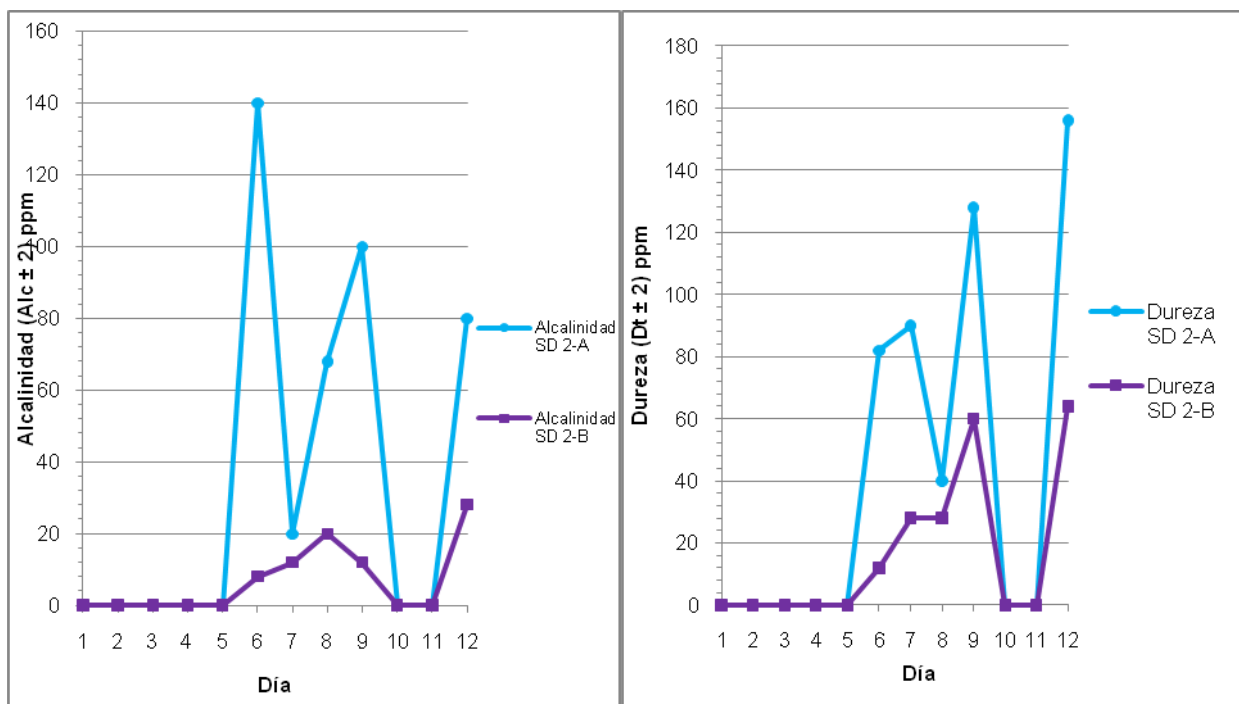


Figura 4.20 Variación de alcalinidad y dureza en el sedimentador 2

Cabe destacar que la alcalinidad y la dureza están directamente relacionados con el pH, primeramente la dureza se incrementa considerando que la adición de $\text{Ca}(\text{OH})_2$, lechada de cal, formando CaCO_3 (carbonatos) a partir de los bicarbonatos que se encuentran en el agua, los cuales precipitan pues éstos son netamente insolubles, donde el agua posee pH alrededor de 8,3 como es el caso del día 7 y valores menores a este se tiene presencia de bicarbonatos, que es directamente la alcalinidad del bicarbonato hasta un pH no menor de 4,3. Más sin embargo cuando se tienen pH mayores 8,3, no sólo se cuenta con la presencia de sales de carbonato, como se muestra en la figura 2.6 del capítulo 2, se encuentran compuestos a base de OH^- , la cual se conoce como alcalinidad hidroxílica, el cual se combina con los iones Al^{+3} , Fe^{+3} y a su vez al Mg^{+2} y Ca^{+2} , entre otros que se encuentran en solución, provenientes de la coagulación que no se removieron en su totalidad en la etapa de sedimentación. En la Tabla 4.6 se muestran los posibles compuestos formados y la solubilidad de los mismos en el agua.

En los análisis realizados no se pudo verificar la concentración de dichos compuestos básicos por falta de reactivo.

Tabla 4.6 Solubilidad en agua de algunos compuestos básicos

Compuestos	Solubilidad en 100 g de agua
Al(OH)_3	Insoluble
Mn(OH)_2	2×10^{-4}
Fe(OH)_3	Insoluble
Fe(OH)_2	$6,7 \times 10^{-4}$
CaCO_3	2×10^{-4}
Ca(OH)_2	0,17
Mg(OH)_2	9×10^{-4}
MgCO_3	0,09

Fuente: Welcher y Hanhn, 1960.

En el apéndice A se muestra en la Tabla A.4 los porcentajes de remoción de ambos parámetros lo que indica para la mayoría valores negativos, pues era de esperarse dichos resultados por el aumento de dichos contaminantes en las etapas del proceso, como ya se ha explicado anteriormente.

Debido a que el agua sufre alteraciones críticas en su composición en las diferentes etapas del proceso, se procedió a determinar que tan corrosiva o incrustante es el agua a la salida de los sedimentadores y el agua tratada, mediante el índice de Langelier utilizando una hoja de cálculo de “Análisis de Ciclos de Torres de Enfriamiento”, suministrada por el SGA, C.A.

De acuerdo a la Tabla 2.3 del capítulo 2, si el LSI a valores positivos el agua es incrustante y si son negativos el agua es corrosiva. Por tanto al analizar los valores obtenidos en la Tabla 4.7 se tiene que para el agua cruda y a la salida de los mezcladores rápidos se tienen valores menores a cero debido que el pH es muy bajo y al efecto ácido de la adición del coagulante, de hecho para los días 23 y 24/11 se tiene adición de sulfato de aluminio de 160 y 180 ppm, el efecto ácido de este provoca el descenso del pH a valores de 5 y la estabilización del agua en el proceso con la cal no es satisfactoria de acuerdo a lo ya mencionado.



Tabla 4.7 Índice de Langelier en las diferentes etapas del proceso de potabilización en la Planta de Agua Cruda I-106

Fecha/ muestra	Cruda	Sal M-R	SD 1-A	SD 1-B	SD 2-A	SD 2-B	Entrada F 1-3	Entrada F 2-4	Tratada
10-nov-10	-	-	-	-	-	-	-	-	-
11-nov-10	-	-	-	-	-	-	-	-	-
16-nov-10	-1,78	-1,94	0,18	0,49	-	-	0,51	0,25	0,34
17-nov-10	-2,15	-2,41	-0,20	0,47	-	-	0,1	0,07	-0,18
18-nov-10	-0,94	-1,04	-0,58	0,21	-	-	0,21	-2,09	-1,06
23-nov-10	-1,46	-3,68	0,68	1,32	0,58	-2,67	-1,01	0,19	-0,86
24-nov-10	-1,75	-2,46	-1,08	2,79	1,23	-1,45	0,79	0,9	-1,39
25-nov-10	-1,30	-1,85	-1,98	0,63	0,21	-1,20	-0,61	-0,99	-0,52
07-dic-10	-2,37	-3,40	-	-	0,38	-1,72	-0,91	-1,10	-0,92
08-dic-10	-2,91	-	-	-	-	-	-1,95	-2,05	-2,29
09-dic-10	-2,89	-3,15	2,16	0,42	-	-	0,47	-1,91	-2,23
15-dic-10	-1,70	-2,23	-	-	0,19	-1,63	0,51	-1,21	-1,18



Para el caso de los sedimentadores las secciones 1-B y 2-A arrojan valores mayores a cero en su mayoría Tabla 2.4 del capítulo 2 entre ligera y moderada incrustación y para los días 23 y 24/11 se tiene valores 1,32 y 2,79 respectivamente en la sección B del sedimentador 1, se observa severa incrustación por el exceso de cal aplicado para esos días de muestreo se obtuvieron valores elevados de dureza y alcalinidad. En cambio para la sección A del sedimentador 1 y la sección B del sedimentador 2, se obtienen valores intermedios entre incrustante y corrosivo por la desproporción de la lechada de cal, notoriamente en la SD 2-B.

Cabe resaltar que existe una canal donde se suma el agua proveniente de las cuatros secciones que conforma la etapa de sedimentación, la cual no homogeneíza del todo porque el SD 1 tiene preferencia a los filtros 2 y 4 como el SD 2 por los filtros 1 y 3. Es por ello que la entrada de los filtros los valores de LSI difieren respecto a los obtenidos a salidas de los sedimentadores y por tanto se tienen valores moderadamente incrustantes y severamente corrosivos sobre todo en el canal de entrada de los filtros 2-4.

Por último se tiene que el agua tratada para todos los casos es corrosiva por ende se justifica el uso del inhibidor de corrosión utilizado en planta, implica que no está apta para consumo y es un veneno para el desgaste y/o deterioro de tuberías y equipos en las plantas donde se utiliza el vital líquido como servicio industrial.

Sólidos totales disueltos y conductividad

Los sólidos totales disueltos son aquellos que miden el grado de mineralización del agua, éstos en todas las corridas se observa que aumentan considerablemente luego de la coagulación-floculación debido a que existe en esa etapa adición de alumbre, el cual es añadido en exceso y este no reaccione por completo, por tanto queda en solución y este es netamente soluble en agua; a su vez el ion sulfato SO_4^{-2} y el catión Al^{+3} quedan en solución y pueden combinar con los iones que están contiene el agua ó que se van proporcionando a partir de la lechada de cal y el cloro, que forman CaCO_3 , MgCO_3 y HCl , respectivamente y por ende generar nuevos compuestos como se pueden mostrar en la Tabla 4.8.



Para el agua cruda se nota una baja concentración de sólidos disueltos lo que trae como consecuencia conductividad ínfima, en casi todas las muestras analizadas.

En el apéndice A, específicamente en la Tabla A.4 se determinó el factor de remoción de dicho parámetro en cada fase del proceso y se tienen que los eventos realizados en campo la mayoría de los casos se obtuvieron valores negativos, considerando las posibles causas las comentadas anteriormente. En la Tabla 4.8 se muestran los posibles compuestos formados y la solubilidad de éstos en el agua de acuerdo a los iones que se van sumando a medida que se trata el agua.

Tabla 4.8 Solubilidad en agua de algunos compuestos inorgánicos

Compuestos	Solubilidad en 100 g de agua
$\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18\text{H}_2\text{O}$	107,4
MnCl_2	75
FeCl_2	70
$\text{Fe}(\text{OH})_2$	$6,7 \times 10^{-4}$
$\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	48
$\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$	Muy soluble
$\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$	0,02
CaSO_4	0,21
$\text{Ca}(\text{OH})_2$	0,17
$\text{MnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	71
$\text{Mn}_3(\text{PO}_4)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$	0,02
NaOH	109
NaCl	36
Na_2CO_3	21,4
Na_2SO_4	19,5

Fuente: Welcher y Hanhn, 1960.

Color

Para el caso de color se determinó un porcentaje de remoción por cada etapa donde se puede observar (Tablas A.4 en apéndice A) que en algunos casos a la salida de la mezcla rápida el porcentaje de remoción fue bajo e incluso en una oportunidad arrojó un



valor negativo: $(11,72 \pm 0,01)$ Pt/Co, $(8,03 \pm 0,01)$ Pt/Co y $(-263,5 \pm 0,01)$ Pt/Co, debido a que la muestra tomada en esa sección es el agua floculada y la presencia de sólidos en suspensión es elevada lo que genera color y turbiedad. Cabe destacar que en la mayoría de los casos el tamaño del floc visualmente se mostró semejante al esquema D, de la figura 2.2 del Capítulo 2, de hecho en esta etapa el floc no estaba definido por completo pues la etapa de mezcla lenta es complemento de la fase de sedimentación.

El color disminuye de manera considerable a la salida de los sedimentadores, por tanto a la entrada de los filtros, de hecho en oportunidades se tomaban muestras del agua netamente clarificada en uno de los módulos de cada sección tanto la turbidez y el color reportaban valores bajos de aproximadamente 2 N.T.U. y 5 APHA, dicha muestra no es significativa y por eso no se reportó ni se tomó como punto de análisis, porque también se observaba abundancia de flocs en alguno de los módulos de las secciones A del sedimentador 1 y la B del sedimentador 2 en la mayoría de los casos. Con esto se puede decir que la deficiencia de esta unidad de tratamiento se debe fundamentalmente a la cantidad de años de operación y fallas mecánicas que presenta.

En la etapa de filtración si existen fallas en cuanto a la remoción de color de hecho es aquí donde se obtiene el producto final de agua tratada, principalmente la falla de los filtros viene dada por la adición de cal a la salida de los sedimentadores, los flocs que no logran precipitar en dicha etapa y la cantidad de sulfato de aluminio suministrada cuando la turbidez del agua cruda es elevada. En algunos casos se podía observar la presencia de espuma en los canales de entrada a los mismos y en el agua sobrenadante de las piscinas. Así como también las horas de operación para el lavado de las secciones. Y por ello se tienen valores negativos en remoción, más sin embargo el filtro 1 de las veces que estuvo en operación en los días de muestreo presento eficiencia de 90% en la mayoría de los casos, y siendo el más crítico el filtro 4, que para la mayoría de los eventos mostró porcentajes de remoción negativos.

Cloro libre y total

De acuerdo a una charla de instrucción del grupo Nalco Venezuela, C.A., al personal que conforma los servicios industriales de la empresa, se informó que la pre-cloración en la etapa de reacción provoca la formación de los trihalometanos (THMs), pero



(Parra, 2010) especifica que cuando la concentración de la materia orgánica en el agua cruda no excede los 20 ppm, el cloro adicionado no generará la formación de sustancias cancerígenas a base de cloro-aminas. Como se mencionó en el objetivo 1, la fase de pre-cloración en la mezcla rápida es para disminuir la materia orgánica que compite con la formación del coágulo lo que implica deficiencia en la coagulación.

Por otro lado la pre-cloración existente a la entrada de los filtros es para eliminar la cantidad de materia orgánica restante y la que se pueda formar en los diferentes canales de la planta y a su vez la que se concentran en la superficie del lecho filtrante como capa biológica. De acuerdo a los resultados obtenidos la cantidad de cloro residual a la salida de los filtros se encontraban por debajo de 2 ppm de concentración y pocas veces superaba este valor, exceptuando el día 9 (07/12) que a la salida de las secciones del filtro 2 se obtuvo una concentración de 5 ppm, más sin embargo en la muestra del agua tratada se obtuvo 0,90 ppm, debido a que el agua de todas las secciones se unen en un tanque denominado galería de filtros. Los puntos dosificadores de solución clorada tienen válvulas que regulan el flujo y operacionalmente se encuentran con el mismo porcentaje de apertura para ambas entradas.

Por último la post-cloración se hace en el canal de la galería de los filtros donde se unen el agua tratada de las secciones de cada piscina de filtración y la cantidad de cloro residual es aceptable más sin embargo el estricto rango de control en planta es 2 ppm de concentración como máximo para evitar el crecimiento microbiano en los tanque de almacenamiento.

En la realización del muestreo y diseño experimental se fijó medir el caudal con la finalidad de cuantificar el flujo volumétrico en cada etapa de la planta, por ende se tiene que de los caudales medidos en los canales abiertos ubicados en la planta se tiene que se obtiene el flujo aproximado que entra a la planta medido mediante un medidor tipo Venturi como se muestra en la Tabla 4.9.

Cabe resaltar que los flujos del canal de mezcla rápida y entrada a los sedimentadores poseen mucha turbulencia, el área trapezoidal de cada sedimentador en cada evento ocupaba todo el volumen de la canal.

La entrada a los filtros 1-3 la mayoría de los casos cuando se medía velocidad siempre arrojaban valores bajos debido a que el SD-2 estaba fuera de servicio por fallas



mecánicas y solo operaba SD-1 por lo que la canal de entrada de los filtros 2-4 tenía mayor flujo y mucha turbulencia.

Las discrepancias que existen entre los valores arrojados por el medidor de velocidad de canal abierto y el área húmeda con el que mide el Venturi de la planta es por pérdidas de energía y por la sensibilidad del medidor de velocidad ya que los valores al tomar la medida variaban mucho por la turbulencia del fluido.

Pero de manera general se verificó que el flujo de entrada se bifurca en las diferentes unidades de tratamiento de la planta de manera equivalente.

Tabla 4.9 Caudal experimental de cada una de las etapas del proceso de potabilización de la Planta de Agua Cruda I-106

Caudal de entrada (L/s)	Entrada a los SD	Salida de los SD	Entrada a los Filtros
350	303	338	319
500	464	484	489
400	360	400	393
300	286	294	310
300	177	240	169
350	270	65	199
300	162	202	155
320	261	267	197
350	250	297	274
450	355	560	785
450	511	393	379



Tabla 4.9 Caudal experimental de cada una de las etapas del proceso de potabilización de la Planta de Agua Cruda I-106 (continuación).

Caudal de entrada (L/s)	Sal M-R	Entrada SD 1	Entrada SD 2	SD 1-A	SD 1-B	SD 2-A	SD 2-B	Entrada F 1-3	Entrada F 2-4
350	325	122	196	90	70	66	78	163	174
500	497	237	252	157	75	145	86	232	251
400	452	180	212	120	55	96	90	122	279
300	288	310	0	156	129	0	0	139	156
300	263	169	0	78	99	0	0	138	103
350	365	199	0	173	96	0	0	0	65
300	217	155	0	112	50	0	0	2	200
320	212	197	0	129	133	0	0	54	213
350	461	132	142	56	63	75	56	15	282
450	439	397	388	148	50	96	61	171	390
450	386	205	173	110	113	171	118	33	360



De acuerdo a lo diagnosticado se enfatizó en un diagrama causa- efecto con todas las posibles causas que generan las distintas deficiencias que presenta el proceso de potabilización en la Planta de Agua Cruda I-106, con lo que se tiene a continuación lo siguiente:

- **Aditivos químicos:** en primer lugar la dosificación de la lechada de cal a la entrada de los filtros, es un punto crítico operacionalmente e impide que los parámetros de calidad del agua tratada no se encuentran dentro de la norma. Por otro lado se tiene la aplicación del floculante a la misma intensidad de mezcla la cual se dosifica el sulfato de aluminio con 100 rpm. Así como también se tiene que no se controla la dosificación óptima del coagulante, donde una deficiencia o exceso del mismo no produce la formación del floc y trae como consecuencia el aumento de la turbidez y la clarificación no se alcanza.
- **Equipos:** se corroboró que la velocidad de agitación de los tanques M-1 y M-2, es 60 rpm la cual no es suficiente para la reacción de coagulación. El tiempo de vida útil de los equipos es un factor influyente porque debido a esto existen muchas fallas operacionales y por último las horas de operación de los mismos haciendo énfasis en las horas de servicio de los filtros, ya que éstas no se controlan por calidad de agua tratada obtenida en cada sección y existen un aumento de la turbidez del agua tratada cuando a estos se les hace el mantenimiento respectivo que no es más que el contralavado con agua para retirar la materia sólida retenida por el lecho filtrante.
- **Operadores:** existen cuatro (4) grupos con criterios diferentes de acuerdo a la experiencia y a la forma como cada integrante adquirió los conocimientos donde la falta de pericia y el estado de ánimo es imprescindible al momento de realizar una maniobra para solventar una falla operacional.
- **Proceso:** criterio muy asociado a los operadores en cuanto efectúan actividades que no competen al proceso, por otro lado no se controlan los parámetros de entrada,



por ende no se sabe cuán eficiente es la planta porque se desconocen las concentraciones de entrada.

De acuerdo a los cuatro factores, lo cuales se observan críticos en el proceso de potabilización, se obtiene la Figura 4.21 donde se muestra en resumen las causas de las fallas operacionales de la planta enfatizada como se comentó al principio en un diagrama causa-efecto.

Finalmente se pudo encontrar que una de las deficiencias en el proceso, se ubica en los aditivos químicos de la planta potabilizadora, tomando en cuenta ciertas consideraciones del previo diagnostico:

- El ajuste del pH a la entrada
- La dosificación de cal en la mezcla rápida y salida de los precipitadores
- Exceso de dosificación de sulfato de aluminio.
- Aumento de sólidos cuando el agua de entrada posee turbidez menor a 20 N.T.U., donde es usual la recirculación de lodos de la purga de los sedimentadores.
- Punto de de dosificación de polímero.

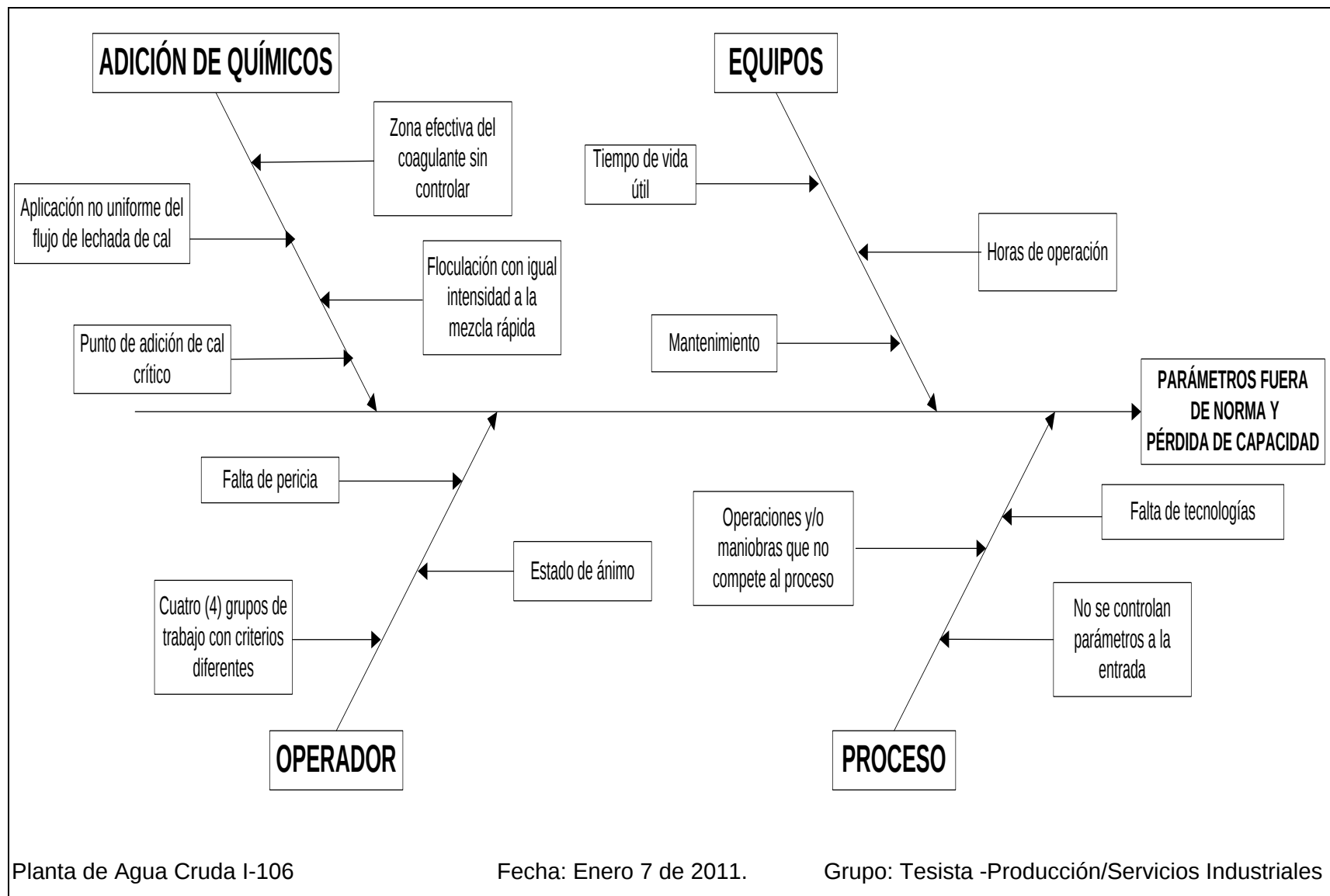


Figura 4.21 Diagrama de Causa-Efecto (ISHIKAWA)

4.3 Proponer alternativas Proponer alternativas que solventen las limitaciones diagnosticadas en las etapas del tratamiento de agua.

Se plantearon las siguientes alternativas:

- Ajuste de pH a la entrada
- Agua + cloro+ NaOH + sulfato + polímero
- Agua + cloro + bentonita + sulfato+ polímero + NaOH
- Agua + cloro + NaOH + PAC + polímero (turbidez de entrada bajas).

4.3.1 Ajuste del pH del agua cruda con cal

Los ensayos realizados a escala de laboratorio, para la evaluación de la cal como ajuste de pH, se trabajó con agua cruda de aproximadamente $(10,00 \pm 0,01)$ N.T.U. en turbidez y pH de $(6,50 \pm 0,01)$ Adim., en primer lugar se obtuvo una disminución de sulfato de aluminio para los dos primeros ensayos (Tabla A.5, Apéndice A) ya que la dosis aplicada en campo es 60 ppm y la obtenida en los ensayos fue 50 ppm, para las mismas condiciones operación, de acuerdo al resultado se determinó el flujo de coagulante con la ecuación 4.1, pues para 60 ppm se tiene un flujo de 1,07 L/min y con 50 ppm se cuenta con 0,89 L/min; donde llevado a los dos turnos que operan la planta la cantidad de coagulante disminuye de 1547,5 L/día a 1289,6 L/día como se muestra en la Tabla 4.10. Seguidamente se determina el porcentaje de ahorro de sulfato de aluminio (Ecuación B.3, apéndice B) cuyo valor es 17%.

Tabla 4.10 Flujos de sulfato de aluminio de acuerdo a lo obtenido en escala laboratorio

Caudal de entrada (L/s)	Caudal de sulfato de aluminio (L/min)		Caudal de sulfato de aluminio (L/día)		Porcentaje de ahorro en sulfato de aluminio (%)
	50 ppm	60 ppm	50 ppm	60 ppm	
300	0,81	0,67	1160,6	967,2	17
350	0,94	0,78	1354,0	1128,4	
400	1,07	0,90	1547,5	1289,6	
450	1,21	1,01	1740,9	1450,7	
500	1,34	1,12	1934,3	1611,9	

Al variar los valores de pH en los ensayos para obtener la dosis óptima de coagulante, se verificó el pH de reacción de la mejor jarra, para el caso del ensayo 3 y 4 el pH de la mejor jarra resultó de $(5,10 \pm 0,01)$ Adim.; para el ensayo 5 y 6 con un pH operativo (apéndice B) de $(7,70 \pm 0,01)$ Adim. y $(7,90 \pm 0,01)$ Adim. se obtuvo un pH de agua sobrenadante de $(6,20 \pm 0,01)$ Adim.; por lo que se llegó a determinar experimentalmente el valor de ΔpH , siendo este cercano a 1,5. Para el ensayo 6 se obtuvo de igual forma que la cantidad de sulfato de aluminio es 50 ppm ajustando el pH del agua cruda con cal, se puede mostrar en la Figura 4.22 donde la dosis mínima de coagulante es 60 ppm sin ajustar el agua cruda, mientras que en las Figuras 4.23 y 4.24 se muestra en primer lugar el pH operativo que obtuvo menor turbidez residual de $(7,10 \pm 0,01)$ Adim y en segundo lugar una vez ajustado al pH operativo al test de jarra y se obtiene una concentración óptima de sulfato de aluminio de 50 ppm.

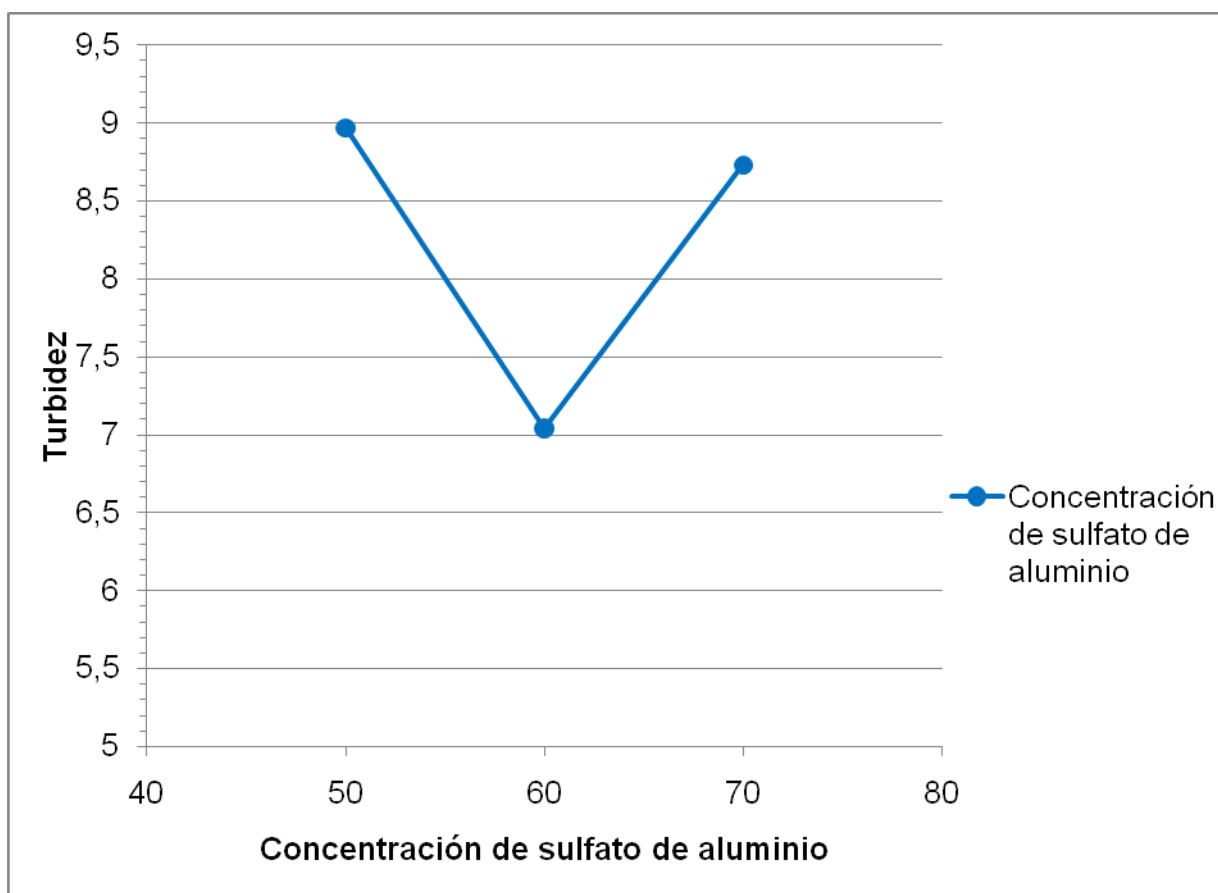


Figura 4.22 Prueba de jarra variando concentración de coagulante

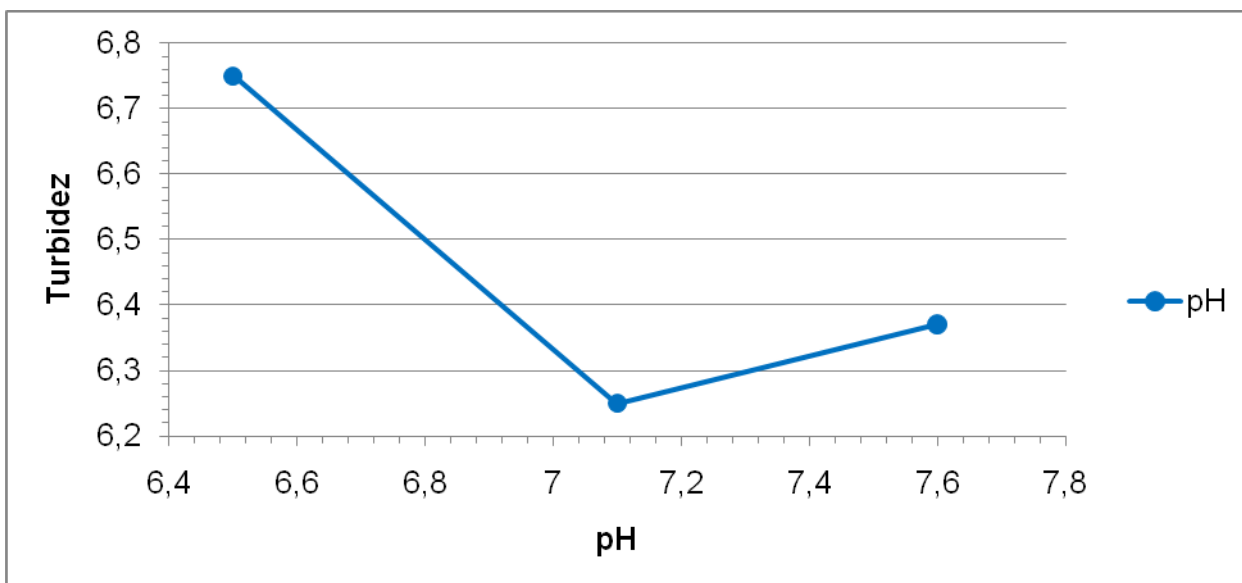


Figura 4.23 Prueba de jarra variando el pH con cal

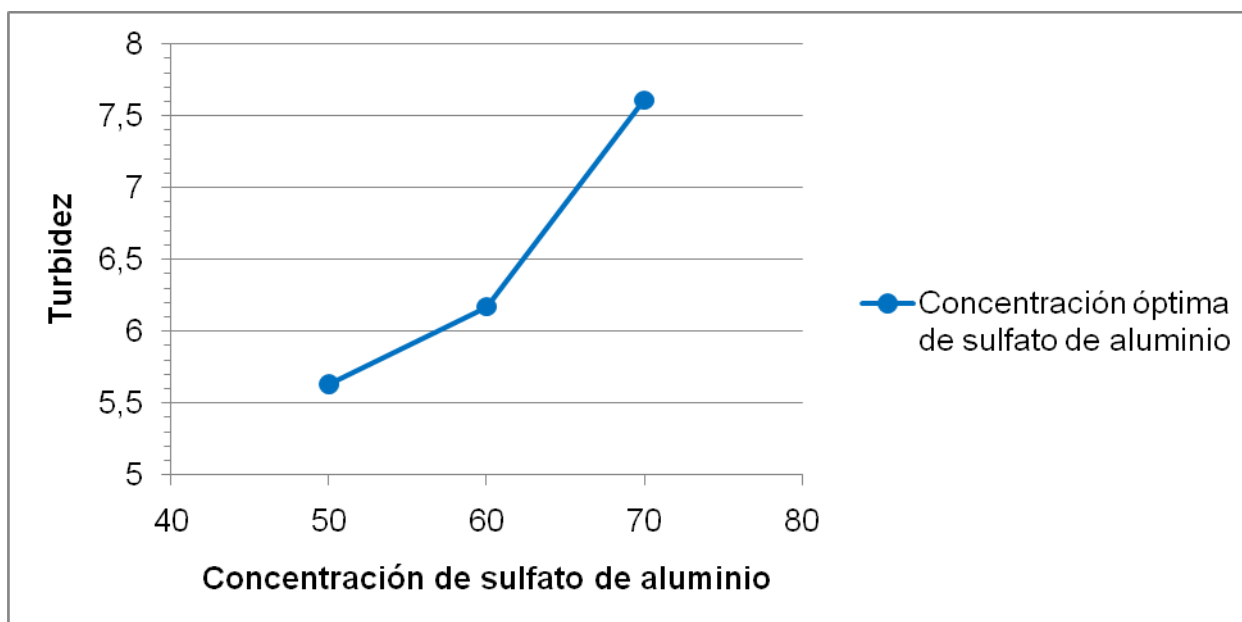


Figura 4.24 Prueba de jarra a pH constante y concentración óptima de coagulante.

Se realizó un último ensayo manteniendo constante el pH en las jarras con un valor igual a 8,5 como se muestra en la Tabla 4.11 De acuerdo a lo valores obtenidos se tiene que para 50 ppm de concentración de sulfato de aluminio se tiene menor turbidez y un pH igual a $(7,10 \pm 0,01)$ el cual se encuentra dentro del rango definido entre (6,9 – 8,0) Adim. De igual forma se obtiene que para el caudal de 500 L/s manejado en planta

al momento de realizar en el ensayo y la concentración del coagulante de 60 ppm, una disminución de la cantidad de sulfato de 17% como se muestra en la Tabla 4.10.

Tabla 4.11 Parámetros necesarios para la evaluación de la cal como ajuste al pH

Condición óptima de operación del Alumbre				
Concentración del alumbre	Pruebas de jarra			
	Parámetros	1	2	3
	Concentración de sulfato de aluminio (ppm)	50	60	70
	Turbidez (N.T.U.)	2,50	1,92	3,21
Concentración óptima de alumbre	Pruebas de jarra			
	Parámetros	1	2	3
	Turbidez (N.T.U.)	0,529	0,652	0,857
	pH _{agua sobrenadante} (Adim.)	7,10	6,75	6,12

pH _{cruda}: (6,83±0,01) Adim.

Turbidez_{cruda}: (6,300±0,001) N.T.U.

De acuerdo a la Figura 4.25 se tiene que el tamaño del floc es semejante al de una hojuela de avena y el lodo formado es aproximadamente 100 mL que es lo mínimo de capacidad del beaker debido a que la cal es higroscópica por ende se obtiene gran volumen de lodos y a su vez se ve influenciado porque los coagulantes a base de aluminio generan grandes cantidades de lodos, el cual en campo no posee ningún tratamiento en específico sino que es descargado mediante una canal hacia la playa.

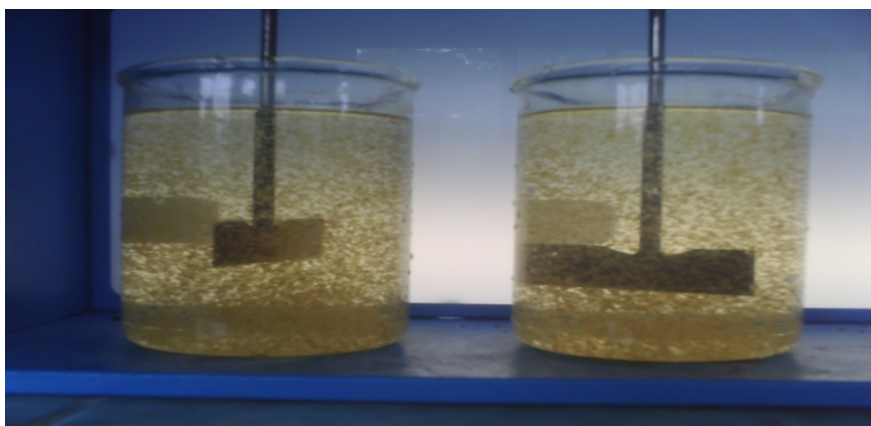


Figura 4.25 Prueba de jarras con adición de cal como ajuste de pH



4.3.2 Agua + cloro+ NaOH + sulfato de aluminio + polímero

A partir de una solución de soda cáustica de concentración 1% se procedió a variar el pH del agua cruda añadiendo 0,50; 0,75 y 1,0 mL de dicha solución, en donde se verificó el ajuste del pH proporcionado a cada jarra. Se determinó que 1,0 mL de base proporcionaba menor turbidez y considerando esta cantidad se realizó la prueba variando la concentración de coagulante donde se obtuvo que la mejor jarra fue la que contenía 60 ppm de sulfato de aluminio donde se obtuvo turbidez residual ($2,78 \pm 0,01$) N.T.U. con un tiempo de agitación de 2 min, esto para un caudal de entrada de 400L/s (Tabla 4.12). Más sin embargo el pH del agua sobrenadante resultó menor a 5 por lo que se decidió aumentar el volumen de NaOH y el pH aumentó considerablemente, siendo los valores entre 5 y 6 unidades como se puede mostrar en la Tabla 4.13, tomando en cuenta que el tiempo de agitación fue de 1 minuto.

Tabla 4.12 Parámetros obtenidos a partir de NaOH/sulfato de aluminio a escala de laboratorio con 1mL de soda.

Pruebas	ppm de sulfato de aluminio		
	50	60	70
Turbidez (N.T.U.)	4,0	2,78	3,60
pH sobrenadante (Adim.)	4,95	4,88	4,76

Cantidad de NaOH: 1mL

pH_{ajustado}: ($8,10 \pm 0,01$) Adim.

t_r: 2 min

Mezcla Rápida: 100 rpm

Mezcla Lenta: 30 rpm

Polímero en mezcla lenta

pH_{agua cruda}: ($6,76 \pm 0,01$) Adim.

Turbidez_{cruda}: ($8,27 \pm 0,01$) N.TU.

Observaciones: Floc según índice de Willcomb: tipo 6

Tabla 4.13 Parámetros obtenidos a partir de NaOH/sulfato de aluminio a escala de laboratorio con 3mL de soda.

Pruebas	ppm de sulfato de aluminio		
	50	60	70
Turbidez (N.T.U.)	3,15	2,25	4,0
pH sobrenadante (Adim.)	6,95	6,78	5,24

Cantidad de NaOH: 3mL

pH ajustado: (9,20±0,01) Adim.

t_r: 1 min

Mezcla Rápida: 100 rpm

Mezcla Lenta: 30 rpm

Polímero en mezcla lenta

pH agua cruda: (6,76±0,01) Adim.

Turbidez cruda: (8,27±0,01) N.TU.

Observaciones: Floc según índice de Willcomb: tipo 6

Por motivos de tiempo no se realizaron otros eventos probando con otras dosificaciones ajustando el pH. El floc obtenido en los ensayos no se observaba de gran peso ni tan fácil de sedimentar, más sin embargo al modificar la turbidez del agua a 100 N.T.U., (Tabla 4.14) se observó un floc más pesado y el lodo formado en las jarras ocupaba aproximadamente 100 mL, como se puede observar en la figura 4.26

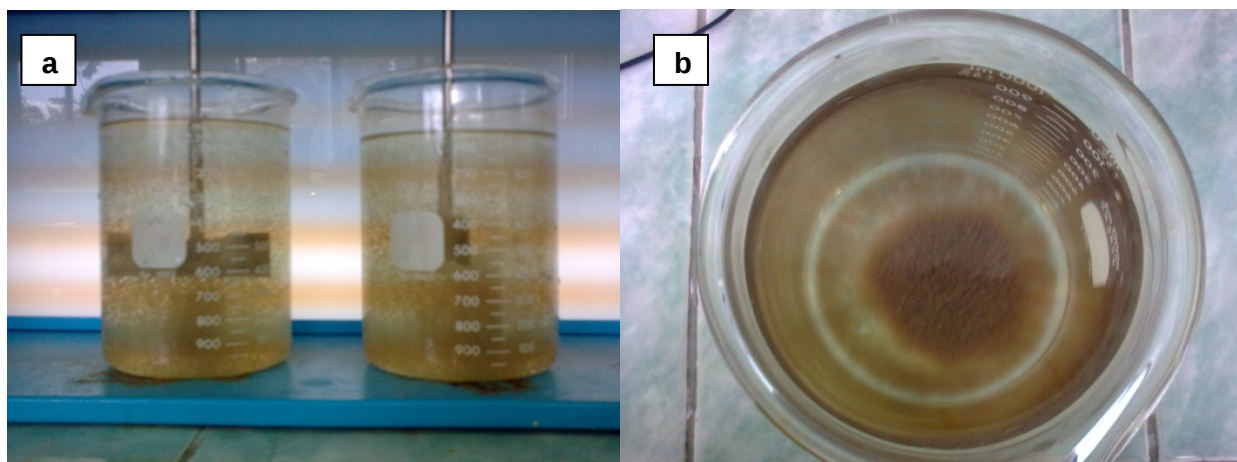


Figura 4.26 (a) Pruebas de jarra con turbidez de 100 N.T.U de la segunda propuesta. (b) Lodo obtenido en la mejor prueba de jarra.



Tabla 4.14 Parámetros obtenidos a partir de NaOH/sulfato de aluminio a escala de laboratorio con 100 N.T.U de agua cruda.

Pruebas	ppm de sulfato de aluminio		
	50	60	70
Turbidez (N.T.U.)	3,36	4,24	2,99
pH sobrenadante (Adim.)	6,70	6,35	5,20

Cantidad de NaOH: 3mL

pH_{ajustado}: (9,20±0,01) Adim.

t_r: 2 min

Mezcla_{Rápida}: 100 rpm

Mezcla_{Lenta}: 30 rpm

Polímero en mezcla lenta

pH_{agua cruda}: (6,76±0,01) Adim.

Turbidez_{cruda}: 100 N.T.U

Observaciones: Floc según índice de Willcomb: tipo 6

4.3.3 Agua + cloro + bentonita + sulfato+ polímero+ NaOH

Para las primeras pruebas se evaluó el efecto de la bentonita en el agua, donde se pudo verificar que el cambio de pH no es considerable cuando se aplica netamente al agua cruda y a su vez el pH del agua sobrenadante se encuentra alrededor de 4. El efecto de esta arcilla en el agua es aumentar la turbidez del agua, cuando esta se encuentra por debajo de los 20 N.T.U. sin necesidad de recircular lodo de la descarga de los decantadores.

Es importante mencionar que realizadas las pruebas a escala laboratorio se proporcionó a 1000mL de agua cruda una concentración de 60 ppm de Sulfato de Aluminio y luego de homogeneizar se midió el pH de la mezcla resultante fue de 4,2 aproximadamente, con esto comparando con las pruebas con bentonita en la Tabla 4.15 se verifica que la adición de esta no modifica el pH.



Tabla 4.15 Parámetros obtenidos de Bentonita/sulfato de aluminio/NaOH a escala de laboratorio con 3mL de bentonita.

Pruebas	ppm de sulfato de aluminio		
	50	60	70
Turbidez (N.T.U.)	1,35	0,92	1,17
pH sobrenadante (Adim.)	5,26	4,65	4,34

Cantidad de bentonita: 3 mL

t_r : 1 min

Mezcla Rápida: 100 rpm

Mezcla Lenta: 30 rpm

Polímero en mezcla lenta

pH agua cruda: (6,55±0,01) Adim.

Turbidez cruda: (6,27±0,01) N.T.U.

pH_{bentonita}: (6,60±0,01) Adim

Observaciones: Floc según índice de Willcomb: tipo 8

En la Tabla 4.16 se tiene un evento para turbidez de 100 N.T.U., cabe destacar que para realizar estos ensayos se tomó lodo virgen extraído del río Morón, para verificar la eficiencia de la alternativa a valores de turbidez elevada y se obtuvo que para 60 ppm una turbidez de (0,91±0,01) N.T.U., luego se ajustó el pH con soda cáustica siendo 2 mL lograr ajustar a (7,65±0,01) Adim. el pH del agua sobrenadante (Tabla 4.17).

Tabla 4.16 Parámetros obtenidos de Bentonita/sulfato de aluminio/NaOH a escala de laboratorio con 100 N.T.U.

Pruebas	ppm de sulfato de aluminio		
	50	60	70
Turbidez (N.T.U.)	1,88	0,60	1,37
pH sobrenadante (Adim.)	4,5	4,49	4,20

Cantidad de bentonita: 3 mL

t_r : 1min

Mezcla Rápida: 100 rpm

Mezcla Lenta: 30 rpm

Polímero en mezcla lenta

pH agua cruda: (6,77±0,01) Adim

pH_{bentonita}: (6,60±0,01) Adim

Observaciones: Floc según índice de Willcomb: tipo 8



Tabla 4.17 Ajuste de pH del agua sobrenadante de la prueba de jarras obtenidas a partir de bentonita/sulfato de aluminio/NaOH

Pruebas	Cantidad de NaOH (mL)		
	1	1,5	2,0
pH_{sobrenadante}(Adim.)	4,5 ⁽¹⁾	4,49 ⁽²⁾	4,2 ⁽³⁾
pH_{sobrenadante}(NaOH) (Adim.)	5,20	6,51	7,65

⁽¹⁾Jarra de 50 ppm de sulfato de aluminio

⁽²⁾Jarra de 60 ppm de sulfato de aluminio

⁽³⁾Jarra de 70 ppm de sulfato de aluminio

Con este resultado se hace una comparación con una prueba de jarras realizada el día 5 de diagnóstico y evaluación de la planta, la cual arrojó el siguiente resultado (Tabla 4.18):

Tabla 4.18 Prueba de jarra con los parámetros establecidos en la Planta de Agua Cruda I-106

	Concentración de Sulfato de Aluminio (ppm)		
	110	120	130
Turbidez (N.T.U.)	5,16	5,64	6,64

Concentración de sulfato de aluminio en campo: 130 ppm

De lo anterior se puede decir que existe un ahorro considerable en coagulante, a su vez la turbidez del agua sobrenadante es elevada para el día en estudio. Con la bentonita se reduce de manera satisfactoria la turbidez, por lo que al hacer pasar el agua clarificada a la siguiente unidad de tratamiento como lo es la filtración se obtendría un producto final apto para consumo y dentro de los parámetros establecidos.



4.3.4 Agua + cloro + NaOH + PAC + polímero

En el caso del policloruro de aluminio (PAC) se tiene que arroja muy buenos resultados en turbidez del agua sobrenadante en todos los casos menor a la unidad.

Se tomó una muestra del PAC y se le adicionó al agua cruda para verificar si este disminuía pH considerablemente y se obtuvo como resultado $(6,30 \pm 0,01)$ Adim., por eso cuando se ajusta con 1mL de soda cáustica se mantiene en el rango de 7 como se muestra en la Tabla 4.19.

Una de las deficiencias observadas al realizar los ensayos es el tamaño del floc formado, el cual era muy pequeño, de poco peso (según índice de Willcomb tipo 4) y cuando éstos sedimentaban se obtenía una disminución considerable del lodo formado en comparación al que genera las sales de aluminio, el cual no se pudo apreciar debido a que el beaker lo mínimo que mide es 100 mL, pero el lodo formado era ínfimo (Figura 4.27).

Tabla 4.19 Parámetros obtenidos a partir de NaOH/PAC a escala de laboratorio con 1mL de soda

Pruebas	ppm de PAC		
	50	60	70
Turbidez (N.T.U.)	0,35	0,56	0,25
pH sobrenadante (Adim.)	7,00	7,15	7,10

Cantidad de NaOH: 1mL

pH ajustado: $(8,10 \pm 0,01)$ Adim.

t_r : 2 min

Mezcla Rápida: 100 rpm

Mezcla Lenta: 30 rpm

Polímero en mezcla lenta

pH agua cruda: $(6,76 \pm 0,01)$ Adim.

Turbidez cruda: $(8,27 \pm 0,01)$ N.T.U

Se realizó una corrida variando la turbidez de agua cruda a 100 N.T.U. y se obtuvo de igual forma valores bajos de turbidez en el agua sobrenadante menores a 1 N.T.U., esto

para comparar con los primeros ensayos pues inicialmente lo que se quería era comprobar que el PAC es más efectivo que el alumbre cuando se tienen valores bajos de turbidez de entrada (Tabla 4.20).

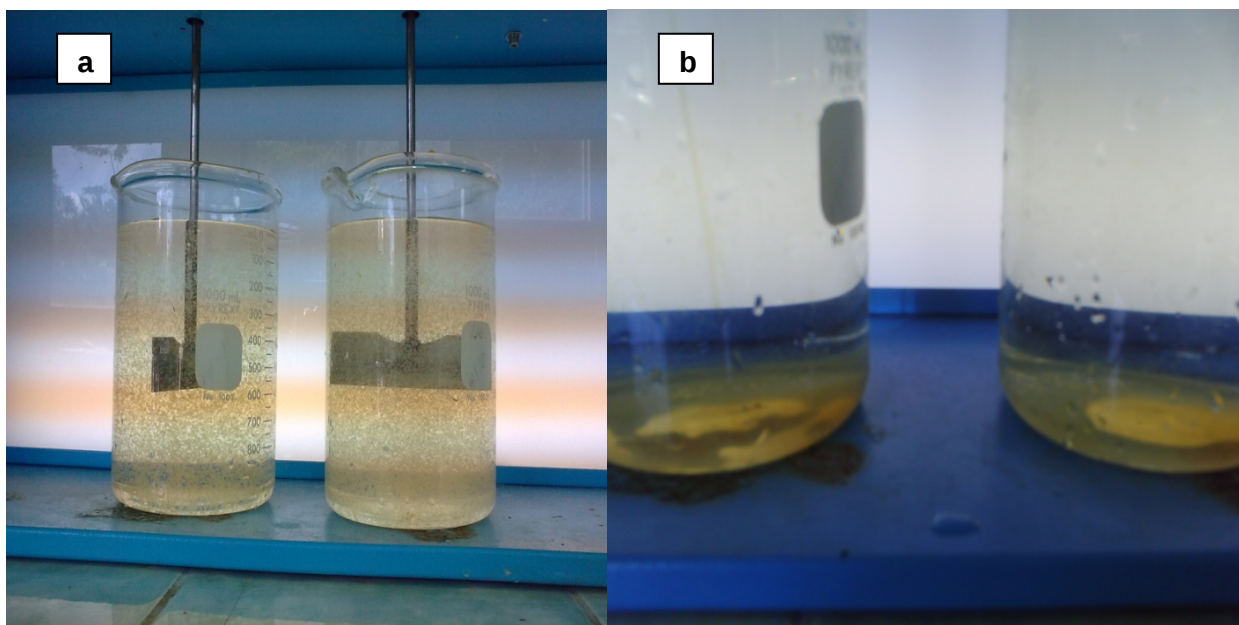


Figura 4.27 ^(a) Ensayo de jarras usando PAC como coagulante. ^(b) Prueba de jarra luego del tiempo de sedimentación.

Tabla 4.20 Parámetros obtenidos a partir de NaOH/PAC a escala de laboratorio con 100 N.T.U.

Pruebas	ppm de PAC		
	50	60	70
Turbidez (N.T.U.)	0,981	0,768	0,519
pH sobrenadante (Adim.)	7,10	7,15	7,30

Cantidad de NaOH: 0,75 mL

pH ajustado: (7,50±0,01) Adim.

t_r: 2 min

Mezcla Rápida: 100 rpm

Mezcla Lenta: 30 rpm

Polímero en mezcla lenta

pH agua cruda: (6,76±0,01) Adim.



A su vez se realizaron pruebas sin ajustar el agua con NaOH, utilizando únicamente el PAC como coagulante y no se obtiene una coagulación efectiva, el floc no sedimenta con facilidad y el agua sobrenadante es muy turbia (ver tabla A.10, apéndice A).

Es importante resaltar que por motivos de traslado al laboratorio central de la empresa, debido a lo distante que se encuentra la planta de potabilización del Complejo Petroquímico Morón, no se pudieron efectuar otros análisis de caracterización como aluminio, hierro, dureza, alcalinidad para comprobar con más exactitud la eficiencia de cada alternativa.

Como se explicó en el capítulo 3, para realizar las pruebas a escala de laboratorio de las alternativas planteadas se determinó el tiempo de residencia (ver apéndice B) el cual es equivalente al tiempo de de agitación de la mezcla rápida que se tiene en campo, por ello los tiempos variaron 1, 2 y 3 min, en donde la mayoría de los casos para 1 min de agitación proporcionó buenos resultados de remoción en sólidos suspendidos, teniendo en cuenta que son cuatro tanques dispuestos en serie y por ende el tiempo real son 4 min pero mientras se trabajó con 2 y 3 min se consideró 8 y 12 min de agitación y esto generó en las pruebas obtenidas un poco más de turbidez (cercanas a 2 N.T.U.) en comparación a 1 min o 4 min (incluyendo los 4 tanques), esto ocurre porque la agitación es muy prolongada y por tanto existe la ruptura del floc y esto ocasiona deficiencias como por ejemplo la presencia de floc en el agua sobrenadante de los módulos de cada sedimentador y así la turbidez se ve afectada.

Otra consideración fue la aplicación del polímero, pues en campo se realiza en los mezcladores rápidos y con lo cual también difiere con la teoría ya que este fenómeno físico se debe efectuar a velocidades bajas, cabe destacar que en planta se dispone de dicha agitación en los sedimentadores los cuales son ayudantes de la floculación. Por lo que para las pruebas se consideró añadirlo en la agitación lenta y se demostró que arroja buenos resultados que agregarlo en la mezcla rápida (Tabla A.6, apéndice A).

Por último como se mencionó en el objetivo 2 personal de predictivo de la empresa verificó los rpm de 2 de los 4 agitadores de los tanques de mezcla y difieren en 40 rpm al de diseño es decir tienen 60 rpm, con dicha velocidad se tiene una mezcla media que también influye directamente en la formación de coagulo. Para las pruebas se tomó 100



rpm, pues se realizaron algunos ensayos con 60 rpm con las condiciones operacionales actuales y se obtenían floc difícil de precipitar y turbidez elevada (Tabla A.6, apéndice A).

4.4 Seleccionar la(s) alternativa(s) más conveniente(s) en cuanto al criterio tecno-económico

Para la selección de la alternativa más conveniente fue necesario reunirse con personal calificado de Nalco, el grupo de Producción de Servicios Industriales del Área de Nitrogenados del Complejo Petroquímico Morón, entre otros expertos en el tratamiento de agua. Se realizó un cuadro comparativo de las cuatro (4) propuestas planteadas de acuerdo a lo obtenido en los ensayos como lo extraído en la bibliografía en donde se resume en la Tabla 4.21 y partiendo de esto se plantearon los criterios de evaluación tecno-económico y operacional:

- Seguridad e higiene operacional (SHO).
- Nivel de operatividad.
- Espacio disponible en planta
- Costos.
- Uso de químicos
- Generación de sub-productos y/o desechos.
- Fácil adquisición de aditivos
- Mantenimiento.
- Logro de calidad.

Una vez definidos los criterios se obtiene una matriz donde se determina el factor de ponderación en la cual se comparan los mismos de acuerdo a la importancia y relevancia que cada uno posee para la selección de la alternativa (Tabla 4.22).

Tabla 4. 21 Cuadro comparativo de las ventajas y desventajas de las alternativas planteadas

Alternativas	Cal/Alumbre	NaOH/Alumbre	Bentonita/Alumbre/NaOH	NaOH/PAC
Ventajas	-La cal adicionada antes de la adición del coagulante mejora la alcalinidad del agua que por lo general es baja para el agua cruda del río Morón ya que el coagulante reacciona con ésta. -Los iones divalentes Ca^{+2} y Mg^{+2} facilitan la desestabilización del coloide a vencer las fuerzas repulsivas, disminuyendo la intensidad de la barrera de energía. Esto se logra adicionando cal hasta alcanzar el pH óptimo (Arboleda, 2000). -Facilita la remoción de los bicarbonatos transformándolos a carbonatos y éstos precipitan fácilmente. -La cal es de fácil acceso y de muy bajo costo.	-Floc formado de tamaño medio. -Mejora la alcalinidad del agua de entrada.	-La bentonita es un coloide y actúa como coagulante por su capacidad de adsorción y de neutralización de las partículas, a su vez es capaz de remover materia orgánica. -Genera turbiedad cuando el agua de entrada posee valores bajos de turbidez y así mejorar la efectividad del sulfato de aluminio. -Las sales formadas a partir del la soda cáustica son netamente solubles en el agua y no generan incrustaciones, solo cuando no se tienen concentraciones excesivas. -Bentonita es de bajo costo y fácil adquisición es inerte y no tóxica (Powell, 1987).	-El PAC genera menos cantidad de lodos (Torra y col, 1998). -La turbidez del agua clarificada son menores a 1, y por lo general la turbidez residual es menor cuando se usan sales de aluminio y hierro. -Se ajusta el pH con NaOH porque el efecto del PAC sobre el pH no es tan severo como el del sulfato de aluminio y por ende mejora la alcalinidad del agua. -El PAC no genera aluminio residual en el agua clarificada.

Fuente: Parra, 2010; Powell, 1987; Arboleda, 2000, De Lora, 1975.



Tabla 4. 21 Cuadro comparativo de las ventajas y desventajas de las alternativas planteadas (continuación).

Alternativas	Cal/Alumbre	NaOH/Alumbre	Bentonita/Alumbre/NaOH	NaOH/PAC
Desventajas	-La cal es higroscópica y genera mayor volumen de lodos. -Las sales de aluminio generan de igual forma grandes cantidades de lodo.	-Volumen de lodo formado considerable. -Valores de turbidez del agua sobrenadante alto. - La cantidad de NaOH suministrada para ajustar el pH elevada y este es muy costoso. - Operacionalmente la soda cáustica se debe manejar con cuidado.	-Se debe controlar la presencia en la bentonita de levaduras y de moho, así como también de bacterias corrientes como lo son las del metabolismo azufrado que liberan compuestos sulfhídricos. -La bentonita requiere de mucha agitación y si es necesario calentar para la dilución de esta en el agua. -El NaOH tiene costos elevados. -La formación de lodos es considerable. -La Bentonita tiene capacidad absorción y neutralización solo con coloides positivos.	-El PAC y el NaOH poseen alto costo económico. -El tamaño del floc es pequeño y poco denso.

Fuente: Parra, 2010; Powell, 1987; Arboleda, 2000, De Lora, 1975.



Tabla 4.22 Factor de ponderación de cada criterio a evaluar

	SHO	Nivel de operatividad	Espacio disponible en planta	Costos	Uso de químicos	Generación de sub-productos y/o desechos	Fácil adquisición de aditivos	Mantenimiento	Logro de calidad	Suma	Factor de ponderación
Seguridad e higiene operacional (SHO)		5,00	5,00	1,00	5,00	0,20	5,00	5,00	1,00	27,20	0,11
Nivel de operatividad	5,00		0,10	0,20	10,00	0,20	5,00	5,00	5,00	30,50	0,13
Espacio disponible en planta	1,00	0,20		5,00	5,00	1,00	0,10	0,10	0,20	12,60	0,05
Costos	1,00	0,20	1,00		10,00	1,00	5,00	1,00	10,00	29,20	0,12
Uso de químicos	10,00	5,00	1,00	5,00		5,00	5,00	0,20	5,00	36,20	0,15
Generación de sub-productos y/o desechos	1,00	5,00	1,00	5,00	5,00		1,00	5,00	1,00	24,00	0,10
Fácil adquisición de aditivos	0,10	5,00	1,00	10,00	10,00	0,20		1,00	10,00	37,30	0,16
Mantenimiento	0,20	1,00	1,00	0,20	1,00	0,10	0,10		1,00	4,60	0,02
Logro de calidad	0,20	1,00	0,10	10,00	10,00	1,00	10,00	5,00		37,30	0,16
Total										238,90	

Seguidamente se obtienen los pesos de opción de cada criterio comparando con las cuatro (4) alternativas, obteniendo lo siguiente

- Seguridad e higiene operacional (SHO): en cuanto a criterio operacional se propone esta, debido a que existen en las propuestas 2,3 y 4 el uso de la soda cáustica la cual es corrosiva y es irritante al contacto con las misma. Así como también para la bentonita dicha arcilla se consigue en sacos de 50 kg y cuyo peso permitido de acuerdo a normas de internas de la empresa es 25 kg, en cambio para la cal el saco dispone de 20 kg, es por ello que es la opción de mayor peso de opción como se muestra en la Tabla 4.23.

Tabla 4.23 Peso de opción del criterio seguridad e higiene operacional

SHO	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3	Alternativa 4	Suma	Peso de opción
Alternativa 1		10,00	5,00	5,00	20,00	0,78
Alternativa 2	0,20		1,00	1,00	2,20	0,09
Alternativa 3	0,20	0,10		1,00	1,30	0,05
Alternativa 4	0,10	1,00	1,00		2,10	0,08
				Total	25,60	

- Nivel de operatividad: de acuerdo con lo que se establece se tiene que operacionalmente lo que se propone es ajustar el agua antes de hacerla pasar por las unidades de tratamiento que conforman el proceso de clarificación, más sin embargo lo complejo o variante está en el cambio o modificación de dosificación del aditivo y la preparación del mismo como es el caso de la bentonita, la soda cáustica y el PAC. Por lo que se tiene para la alternativa 4, los aditivos que ésta involucra son diluidos (PAC y NaOH), posee mayor puntuación y no requiere preparación de los mismos (Tabla 4.24), como es el caso de la cal, la bentonita que necesita de tolvas, tanque de preparación entre otras.

Tabla 4.24 Peso de opción del criterio nivel de operatividad

Nivel de operatividad	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3	Alternativa 4	Suma	Peso de opción
Alternativa 1		1,00	5,00	5,00	11,00	0,25
Alternativa 2	5,00		5,00	5,00	15,00	0,35
Alternativa 3	1,00	0,20		0,20	1,40	0,03
Alternativa 4	5,00	1,00	10,00		16,00	0,37
				Total	43,40	

- Espacio disponible en planta: en general las cuatro alternativas requieren del ajuste del agua de entrada, pero difieren en la implementación por ejemplo de tanques de almacenamientos para la alternativa 4 del PAC y soda, lo mismo sucede para la 2 y 3, pero para la 1 los dispositivos de dosificación ya están dispuestos en planta por ello posee el mayor peso de opción, como se muestra en la Tabla 4.25.

Tabla 4.25 Peso de opción del criterio espacio disponible en planta

Espacio disponible en planta	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3	Alternativa 4	Suma	Peso de opción
Alternativa 1		5,00	1,00	5,00	11,00	0,38
Alternativa 2	0,20		5,00	5,00	10,20	0,35
Alternativa 3	1,00	1,00		5,00	7,00	0,24
Alternativa 4	0,20	0,20	0,20		0,60	0,02
				Total	28,80	

- Costos: estos involucran el costo de los aditivos químicos e implementación de la propuesta, donde la alternativa 1 tiene una gran ventaja en cuanto a las demás en el caso de usar soda cáustica es costosa para ajuste de pH en cuanto a la cal contrastando 4,30 Bs/kg con 1,30 Bs/kg respectivamente. Por otro lado la alternativa 3 consta de usar bentonita 7Bs/kg aunado con el sulfato de aluminio como coagulante y además soda como ajuste en el pH, por ende el consumo en aditivos químicos se ve incrementado considerablemente y por último la alternativa 4 que es PAC con soda, ambos químicos costosos. Comparando el costo del PAC con el

alumbre se tiene 12 Bs/kg a 0,9 Bs/kg. Por tanto, la alternativa 1 posee mayor peso de opción en este criterio (Tabla 4.26).

Tabla 4.26 Peso de opción del criterio costos

Costos	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3	Alternativa 4	Suma	Peso de opción
Alternativa 1		5,00	5,00	10,00	20,00	0,63
Alternativa 2	0,10		0,10	5,00	5,20	0,16
Alternativa 3	0,20	1,00		5,00	6,20	0,20
Alternativa 4	0,10	0,10	0,10		0,30	0,01
				Total	31,70	

- Uso de químicos: la cantidad suministrada de aditivos químicos está directamente relacionada con el costo es por ello la gran ventaja de la primera alternativa pues se obtiene un ahorro en coagulante de 17 % cuyo valor se obtuvo en las pruebas realizadas a escala laboratorio. En el caso de las demás alternativas se tiene el gasto de NaOH cuyo flujo depende del caudal de agua que se maneje. La alternativa 3 propone 3 aditivos químicos, y la 4 requiere de 70 ppm de PAC para lograr mayor remoción de turbidez (Tabla 4.27).

Tabla 4.27 Peso de opción del criterio uso de químicos

Uso de químicos	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3	Alternativa 4	Suma	Peso de opción
Alternativa 1		10,00	5,00	10,00	25,00	0,61
Alternativa 2	0,10		5,00	5,00	10,10	0,25
Alternativa 3	0,20	0,20		5,00	5,40	0,13
Alternativa 4	0,10	0,10	0,10		0,30	0,01
				Total	40,80	

- Generación de sub-productos y/o desechos: el lodo generado en la etapa de sedimentación es un desecho producto de la etapa de coagulación-floculación, el cual las sales de aluminio y la cal producen grandes volúmenes de este en comparación al PAC que el lodo formado es muy ínfimo, por ello la alternativa 4 posee mayor peso de opción de 0,82 (Tabla 4.28).

Tabla 4.28 Peso de opción del criterio generación de sub-productos y/o desechos

Generación de sub-productos y/o desechos	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3	Alternativa 4	Suma	Peso de opción
Alternativa 1		1,00	1,00	0,10	2,10	0,06
Alternativa 2	1,00		1,00	0,20	2,20	0,06
Alternativa 3	1,00	1,00		0,10	2,10	0,06
Alternativa 4	10,00	10,00	10,00		30,00	0,82
				Total	36,40	

- Fácil adquisición de aditivos: el sulfato de aluminio es suministrado por Ferralca cuya empresa forma parte de las empresas mixtas a las cuales el Complejo Petroquímico Morón surte de agua potable, es decir, la ubicación de este ente para la obtención de dicha materia prima es una gran ventaja, en cuanto a la cal es proporcionada por Tecnical C.A., la cual se encuentra en Yaracuy. Por el contrario la soda cáustica puede ser adquirida en la Zona Industrial del Estado Carabobo así como también la bentonita, donde el yacimiento de la cual la extraen está ubicado en el estado Cojedes y el PAC en Yagua también del estado Carabobo. De lo anterior la alternativa 1 posee mayor peso de opción (Tabla 4.29).

Tabla 4.29 Peso de opción del criterio fácil adquisición de aditivos

Fácil adquisición de aditivos	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3	Alternativa 4	Suma	Peso de opción
Alternativa 1		5,00	1,00	10,00	16,00	0,48
Alternativa 2	0,10		5,00	5,00	10,10	0,30
Alternativa 3	1,00	1,00		5,00	7,00	0,21
Alternativa 4	0,10	0,10	0,10		0,30	0,01
				Total	33,40	

- **Mantenimiento:** en cuanto a este criterio se tiene que para la cal genera incrustaciones en las tuberías en las cuales es transportada, otro inconveniente es la soda cáustica que es corrosiva. Por el contrario en cuanto a las unidades de tratamiento por ejemplo la reducción de lodo trae consigo la disminución del mantenimiento de los sedimentadores (en el caso que se utilice PAC como coagulante), otro evento es si se modifica el punto de dosificación de la cal antes de la entrada de los filtros, aumentarían las horas de servicio de los mismos porque el congestionamiento se reduciría. De acuerdo a lo anterior, la alternativa 2 y 4 obtuvieron el mismo peso de ponderación (Tabla 4.30).

Tabla 4.30 Peso de opción del criterio mantenimiento

Mantenimiento	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3	Alternativa 4	Suma	Peso de opción
Alternativa 1		0,20	1,00	0,10	1,30	0,05
Alternativa 2	5,00		5,00	1,00	11,00	0,45
Alternativa 3	1,00	0,20		0,20	1,40	0,06
Alternativa 4	5,00	1,00	5,00		11,00	0,45
				Total	24,70	

- **Logro de calidad:** las alternativas 1 y 4 son las que arrojaron buenos resultados en cuanto a turbidez y pH, sin dejar a un lado el uso de la bentonita a valores de turbidez elevadas. Mientras que la alternativa 2 no presentó tan buenos resultados en dichos parámetros de control. Por la efectividad del PAC obtuvo mayor ponderación que la primera alternativa (Tabla 4.31).

Tabla 4.31 Peso de opción del criterio logro de calidad

Logro de calidad	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3	Alternativa 4	Suma	Peso de opción
Alternativa 1		10,00	1,00	1,00	12,00	0,30
Alternativa 2	0,10		0,20	0,10	0,40	0,01
Alternativa 3	1,00	5,00		0,20	6,20	0,16
Alternativa 4	1,00	10,00	10,00		21,00	0,53
				Total	39,60	



En la Tabla 4.32 se tiene que la alternativa 1 fue la seleccionada de forma cualitativa y de acuerdo a lo obtenido se puede decir que en primer lugar es la mejor alternativa porque se basa en los aditivos usados actualmente y ya se dispone de los sistemas dosificadores y de almacenamiento respectivo, más sin embargo lo que se propone es cambiar el punto de dosificación de la lechada de cal como se muestra en la Figura 4.28 y económicamente son más accesibles, considerando que la cal tiene sus desventajas como lo es la gran cantidad de lodo que se forma pero, al modificar dicho punto se obtendrían mejoras en la eficiencia de los filtros ya que esta trae como consecuencia el endurecimiento del lecho filtrante y caminos preferenciales en el mismo si es aplicada en los canales de salida de los precipitadores.

No se puede dejar pasar por alto la eficiencia del PAC para turbidez menor a 20 N.T.U. y que no afecta al pH con cambios bruscos, la gran desventaja es que posee precios elevados y para el tipo de agua superficial con la cual se trabaja se determinó que es baja su efectividad si ésta no es ajustada previamente.

En el caso de ajustar pH con soda pese a que en remoción se obtuvieron mayores a 1 N.T.U. su desventaja es que es algo costoso y el flujo suministrado para ajustar el pH es elevado considerando también los resultados obtenidos en el objetivo 3, no se logró alcanzar los parámetros (pH) dentro de los rangos de control y por tanto el logro de calidad en la Tabla 4.32 arrojó cero (0), con esto se puede decir que la alternativa se descarta.

Cabe destacar que básicamente la instalación e implementación de todas las alternativas es similar, es decir, se necesita ajustar el agua de entrada y la modificación de la adición del polímero, pero en comparación a la primera no es tan variante la modificación en planta, en cambio para dos últimas propuestas se requieren de más equipos.

En la tercera propuesta una de las fallas es la cantidad de químicos y se ve influenciado en el costo, como lo es el uso de la soda cáustica como ajuste de pH después de la etapa de sedimentación debido a que la aplicación de la arcilla no eleva el pH sino que suministra sólidos en el agua cuando existe baja turbidez en el agua cruda ayudando a que el coagulante de aluminio sea más eficiente en la formación del floc.



Tabla 4.32 Matriz final de selección de la alternativa

	SHO	Nivel de operatividad	Espacio disponible en planta	Costos	Uso de químicos	Generación de sub-productos y/o desechos	Fácil adquisición de aditivos	Mntto.	Logro de calidad	Suma
Alternativa 1	0,09	0,03	0,02	0,08	0,09	0,01	0,07	0,00	0,05	0,44
Alternativa 2	0,01	0,04	0,02	0,02	0,04	0,01	0,05	0,01	0,00	0,19
Alternativa 3	0,01	0,00	0,01	0,02	0,02	0,01	0,03	0,00	0,02	0,13
Alternativa 4	0,01	0,05	0,00	0,00	0,00	0,08	0,00	0,01	0,08	0,24

4.5 Diseñar la(s) alternativa(s) seleccionada (s)

Se procede a plantear un bosquejo de la alternativa seleccionada (Figura 4.28) donde lo que se propone se basa fundamentalmente en: (1) ajustar el pH del agua de entrada, (2) reducir el tiempo de agitación en la mezcla rápida y (3) modificar el punto de dosificación del floculante

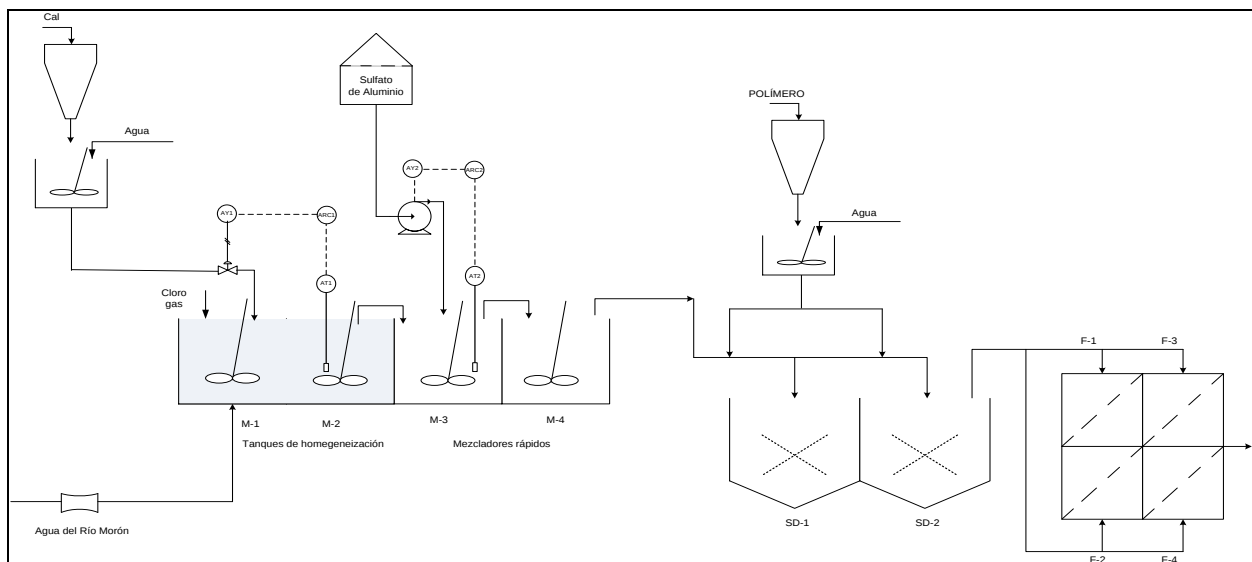


Figura 4.28 Diagrama representativo de la alternativa seleccionada

- **Ajuste de pH y disminución de tiempo de residencia en la mezcla rápida**

Basándose en los resultados obtenidos a escala laboratorio del objetivo 3 (Tabla 4.11) se propone una mejora en los tanques M-1, M-2, M-3 y M-4 de mezcla rápida, pues su tiempo de retención es variable en función al caudal de operación como se muestra en la tabla 4.24

Con el tiempo de agitación de 1 min por tanto para 4 tanques corresponde a 4min de agitación en la mezcla rápida para la mayoría de los eventos se obtuvieron los mejores resultados en remoción de turbidez de 20 N.T.U. a 1 N.T.U. en forma. Lo que se propone con esto es adecuar los tanques para que trabajen en un tiempo aproximado o cercano a los 4 min, porque tiempos de 8,10 y 12 min ocurre el rompimiento del floc, por tanto de acuerdo a la Figura 4.29 se plantea trabajar con dos tanques para la etapa de

coagulación y los otros dos adecuarlos para el ajuste del pH de agua cruda, de manera que M-3 y M-4 se dispongan sólo para la mezcla rápida y los dos restantes M-1 y M-2 para la homogeneización y/o igualación donde se adicionará la lechada de cal, el cloro gas (punto de dosificación actual), la especificación de la unión de los dos (2) tanques se muestra en la Tabla 4.34 de acuerdo a los datos de diseño de la Tabla D.1, apéndice D, así como también se sumarían las líneas de agua recirculada de los recuperadores de lodos, las cuales se encuentran ubicadas en campo.

Tabla 4.33 Tiempo de residencia de acuerdo a caudal de operación

Volumen efectivo de cada tanque (L)	Caudal (L/s)	Tiempo de residencia (s)	Tiempo de residencia (min)	Tiempo de residencia cuatro (4) tanques (min)	Tiempo de residencia dos (2) tanques (min)
57000	300	190	3	12	6
	350	163	3	11	5
	400	143	2	10	5
	450	127	2	8	4
	500	114	2	8	4

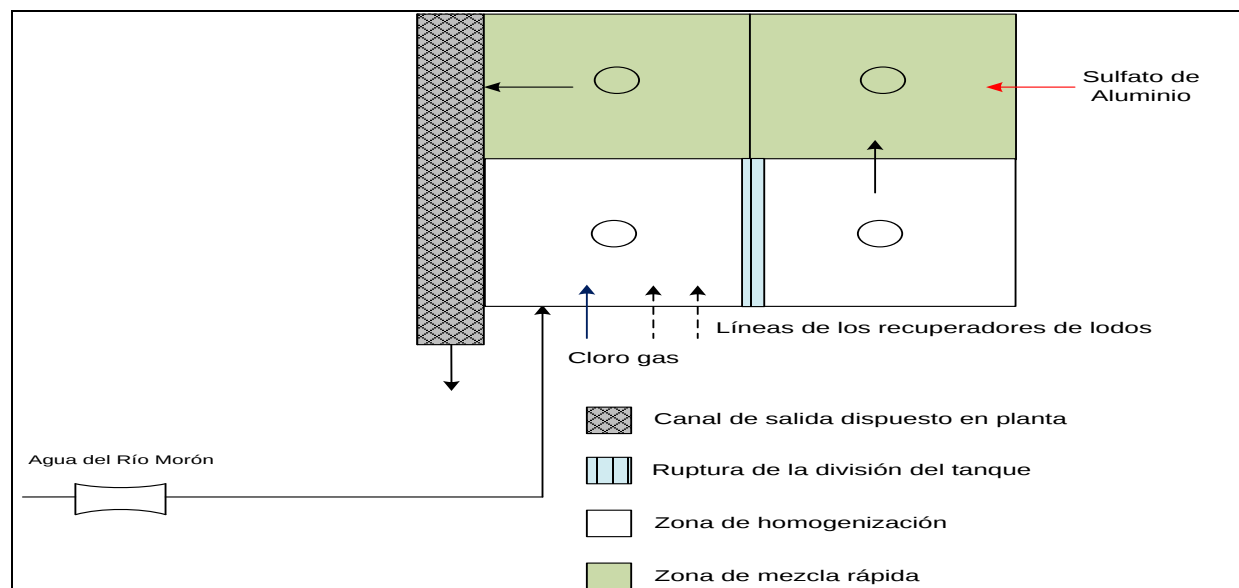
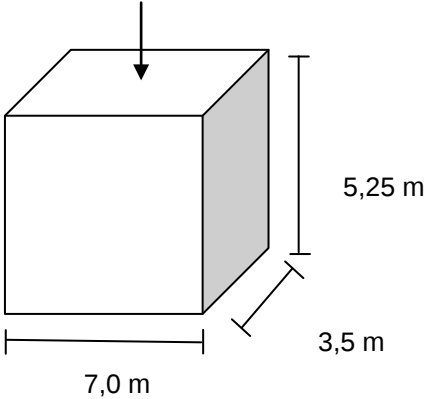


Figura 4.29 Esquema representativo del ajuste propuesto a los tanques de mezcla rápida visto desde arriba

Tabla 4.34 Hoja de especificación del tanque M 1-2

Identificación del equipo: Tanque de homogeneización Tipo: por carga Número de unidades: 1 Cuerpo: rectangular	
Función del equipo: ajustar el pH del agua de entrada	
Características: Capacidad: 128,62 m³ Altura: 5,25 m Ancho: 3,5 m Largo: 7,0 m Cantidad de agua alimentada: máx. 500 L Material: concreto Tipo de agitador: de propeles Potencia del motor: 10 hp	

Adicional a esto se plantea la implementación de dos lazos de control para el ajuste de pH (pH operativo), el primero en los tanques que se dispondrán para la homogeneización, de manera que de acuerdo a lo obtenido en los ensayos ajustar el pH en un rango de (8,5-9,0) Adim. con el sistema de dosificación actual de la planta. Cuyo lazo de control debe ser cerrado se muestra en la Figura 4.30, el cual es retroalimentado debido a que en este caso el controlador tiene la capacidad de tomar decisiones inmediatas comparando la variable a controlar (pH) con la variable

controlada (flujo de lechada de cal). La acción del controlador es inversa ya que al haber un aumento de pH mayor a 8,5 unidades, éste debe responder a cerrar el paso de la solución básica, es decir, si existe un aumento de la variable de salida provoca una disminución en la variable de entrada. También se debe fijar que si se presentan fallas operacionales la válvula debe cerrarse porque un aumento de pH podría generar un aumento de sólidos sedimentables los cuales provoquen congestionamiento en las fases de precipitación y filtración.

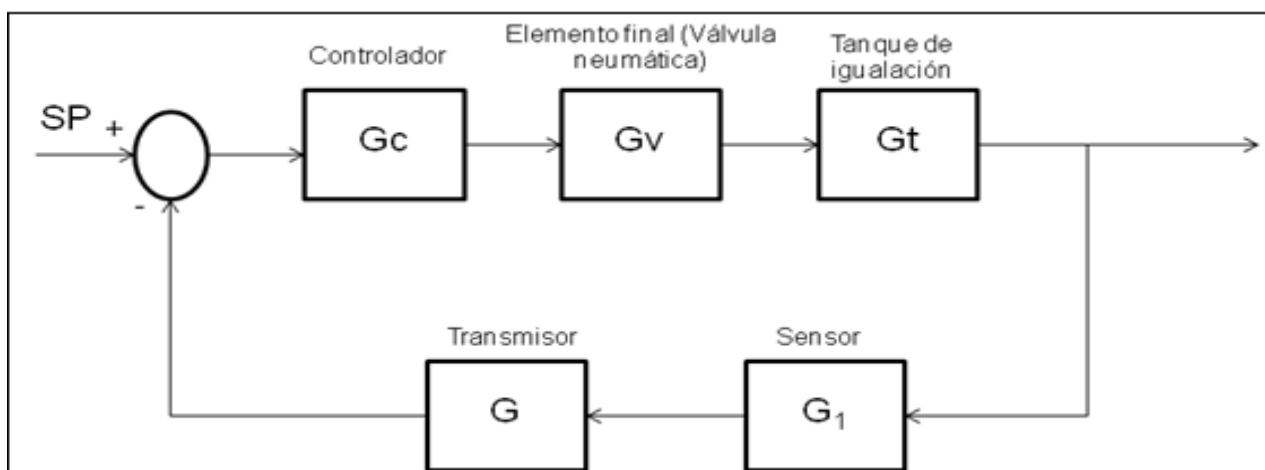


Figura 4.30 Lazo cerrado de control de ajuste de pH del agua cruda

Donde:

SPa: punto de ajuste del pH

Gc: algoritmo de control del controlador.

Gv: elemento final de control para regular el flujo de lechada de cal.

Gt: función que representa el proceso, para el caso el tanque de igualación.

G: conversión de la señal de eléctrica a neumática de la acción del controlador.

G₂: señal que envía el sensor de controlador de pH.

El segundo consta en medir de igual forma el pH pero donde se regule el flujo de dosificación de coagulante a la concentración estequiométrica obtenida en la pruebas de jarras, como parámetro de control de manera que se garantice que el pH (pH de reacción) se encuentre en el rango de (7,0-8,0), en el caso de los ensayos realizados el agua de entrada presentaba turbidez bajas menor a 20 N.T.U. y la concentración óptima

fue 50 ppm. En la Figura 4.31 se muestra como es el lazo de control similar al propuesto para el ajuste de pH, la diferencia radica es que el elemento final es una bomba dosificadora, donde lo que se controla es el motor de la misma y la señal de que recibe es eléctrica. De igual forma la acción del controlador es inversa ya que la variable controlada es el caudal de sulfato de aluminio y a controlar el pH, por lo que si ese último aumenta la dosificación del coagulante debería disminuir.

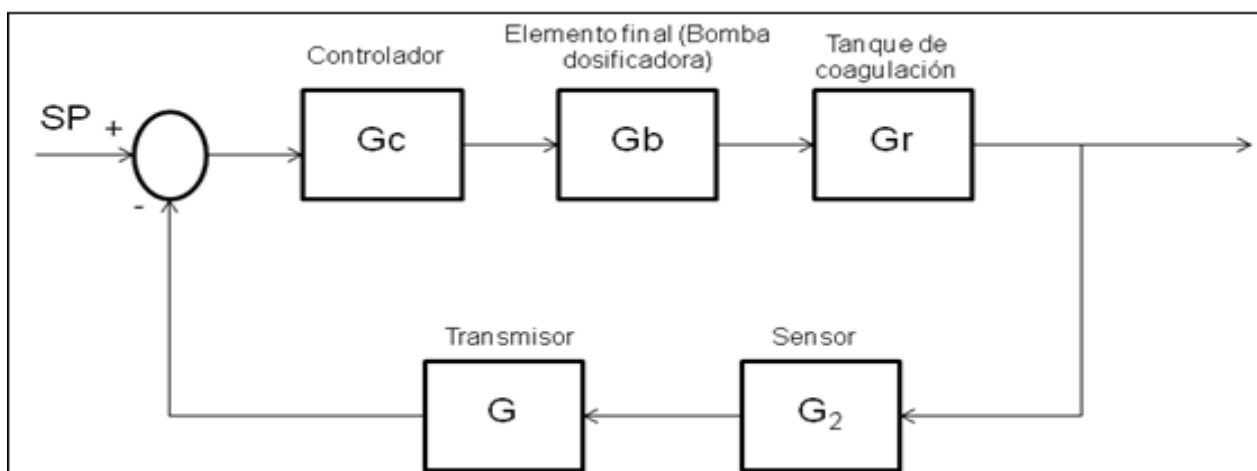


Figura 4.31 Lazo cerrado de control de pH del agua resultante después de la etapa de reacción

Donde:

SPa: punto de ajuste del pH

Gc: algoritmo de control del controlador.

Gv: elemento final de control para regular el flujo de sulfato de aluminio.

Gt: función que representa el proceso, para el caso el tanque de coagulación.

G: conversión del sensor al controlador..

G₂: señal que envía el sensor de controlador de pH.

En la Tabla 4.35 se muestra las especificaciones de los equipos necesarios para la implementación de la propuesta seleccionada.

Tabla 4.35 Especificaciones de los equipos y/o accesorios para implementar la propuesta seleccionada

Medidor/controlador de pH - Modelo: Dulcometer D1CAW1P20000G000S - Marca: ProMinent - Indicación: amplia pantalla digital - Rango de medición : 0-14 pH - Alimentación: 115 V / 50-60 Hz - Salida analógica 4-20 mA (valor medido) - Relé de aviso de fallas y 2 relés para valores umbrales.	
Electrodo sensor de pH - Rango de medición: 1-12 Cable coaxial conectores 2xSN6 - Longitud: 2 m	
Válvula neumática - Válvula motorizada de bola - Tipo Modutrol de honeywell ó equivalente - Brida - D= 2"	
Tuberías de PVC de 2" y 3"	
Codos de 90° para tuberías de 2" y 3"	

Fuente: ProMinent, 2011; SGA, C.A., 2011

- **Dosificación del polímero**

Por último el punto de dosificación del polímero se propone realizar la aplicación en el canal de salida de los cuatro (4) tanques y eliminar el punto de aplicación dispuesto en la etapa de mezcla rápida, para garantizar que la formación completa del floc se realice en la mezcla lenta la cual se encuentra en los sedimentadores.

- **Cambio de las líneas de tubería que dosifican la cal en el proceso**

Se propone la sustitución de las tuberías de acero al carbón por líneas de PVC de 2", porque esta genera severas incrustaciones. Por otro lado el embudo de la cal se encuentra distante de los tanques de mezcla rápida, se requieren 25 m.

4.6 Evaluar la relación costo-beneficio de las (s) alternativa (s) seleccionada (s).

Se determina la relación costo-beneficio de la propuesta seleccionada como indicador económico para la evaluación e implementación del proyecto, debido a que no se genera ningún producto adicional que genere ganancias sino que existe un ahorro y una mejora en el proceso de potabilización.

En primer lugar se requiere de la adecuación de los tanques M-1 y M-2 para ello es necesario eliminar una pared de concreto y éstos se combinen, el gasto asociado se muestra en la Tabla 4.36:

Tabla 4.36 Costo asociado a la unión de los tanques M-1 y M-2

Volumen de la pared de concreto m³	Bs
2,75	634,00

Luego de haber establecido el diseño de la propuesta y las características de cada uno de los equipos que la conforman, se procedió a realizar la cotización de dichos equipos en las empresas (ProMinent, SGA, C.A.), con la finalidad de contabilizar los costos asociados para la implementación de la propuesta la cual se fundamenta principalmente en dos lazos de control lo cual requiere de equipos de instrumentación digitales o analógicos, válvulas, accesorios y tuberías para el cambio de puntos de



dosificación de los aditivos químicos, todo los requerimientos se resume en la Tabla 4.37

Tabla 4.37 Costo de los materiales y equipos necesarios para la implementación de la propuesta

Equipo/accesorio	Cantidad	Precio (Bs)
Medidor controlador de pH	2 unidades	11.602,00
Electrodo sensor pH	2 unidades	2.311,00
Cable coaxial	2 unidades	834,00
Válvula neumática	1 unidad	6.300,00
Tubería para PVC 2"	25 m	2.465,00
Tubería de PVC 3"	5 m	561,75
Codos de 90° para tuberías de 2"	4 unidades	140,0
Codos de 90° para tuberías de 3"	2 unidades	83,40
TOTAL		39.678,09

Fuente: ProMinent, 2011; SGA, C.A., 2011

Se requieren dos lazos de control para regular el pH en primera instancia para la homogeneización del agua de entrada y por último para controlar el pH de reacción luego de la aplicación del coagulante como se observa en la Figura 4.28.

Al implementar la propuesta esta genera directamente costos de mantenimientos, debido a que operacionalmente no se ve afectado pues sólo se debe instruir a los operarios el funcionamiento y la teoría asociada al por qué de la modificación propuesta. Por tanto el costo de mantenimiento es aproximadamente 2.040,24 Bs/año de acuerdo a la proporcionad por la gerencia de Finanzas del Complejo Petroquímico Morón.

A su vez la propuesta genera pocos gastos en electricidad, y requiere de aire para instrumentos, para la acción del actuador de la válvula neumática, dicho insumo lo suministra un compresor ubicado en planta el cual también suministra aire para las válvulas motorizadas del lavado de los filtros.



El beneficio que se obtiene al implementar la propuesta es en primer lugar en el ahorro de sulfato de aluminio como se muestra en la Tabla 4.38, de la concentración mínima dosificada en campo es 60 ppm y la obtenida en la alternativa es de 50 ppm.

Cabe resaltar que la modificación del punto de cal, beneficia de forma directa el buen funcionamiento de la etapa de filtración como se ha dicho anteriormente, y éste se refleje en las horas de servicio del mismo, pero dicho número no se pudo probar porque no se tenían los medios para simular el filtro a escala laboratorio y cuantificar las horas de operación con las condiciones establecidas en la propuesta.

Tabla 4.38 Ahorro de sulfato de aluminio anual de acuerdo al caudal de entrada

Caudales de operación (L/s)	Bs/año ⁽¹⁾	Bs/año ⁽²⁾	Ahorro
300	488.843,46	407.369,55	81.473,91
350	570.317,37	475.264,48	95.052,90
400	651.791,28	543.159,40	108.631,88
450	733.265,19	611.054,33	122.210,87
500	814.739,10	678.949,25	135.789,85

⁽¹⁾Concentración de Sulfato de Aluminio: 60 ppm

⁽²⁾Concentración de Sulfato de Aluminio: 50 ppm

Como se tienen los costos que implica implementar la propuesta y el beneficio que ésta trae consigo, se procede a determinar la relación costo-beneficio, de acuerdo a la Ecuación 3.5 del capítulo 3, dando como resultado lo reportado en la Tabla 4.39. Se tomó como beneficio el valor obtenido para 450 L/s, el cual es donde opera la planta mayormente.

Tabla 4.39 Relación costo-beneficio de la alternativa seleccionada

Relación costo-beneficio (Adim.)	0,52
----------------------------------	------

Del resultado anterior se tiene que es rentable implementar la propuesta, ya que se obtuvo un valor menor a uno, si arrojava un valor mayor a 1 el costo es mayor que el beneficio y no es rentable poner en marcha la propuesta seleccionada, por último si es igual a 1, da lo mismo que se lleve a cabo o no.



CAPÍTULO V

A continuación se presentan las conclusiones y recomendaciones más relevantes en el trabajo de investigación realizado

5.1 CONCLUSIONES

- Los parámetros de control de calidad del agua tratada como lo son: alcalinidad, dureza cálcica, pH, turbidez y color son los que permanecen fuera del rango establecido.
- El agua del río Morón no posee descarga contaminante de desechos urbanos y/o industriales.
- El punto de dosificación de cal es crítico operacionalmente luego de la etapa de sedimentación.
- La etapa de filtración es deficiente en el proceso de clarificación del agua debido a las fallas operacionales existentes en las unidades anteriores, como la adición de cal y la formación del floc.
- Muchas de las deficiencias del proceso se debe a fallas mecánicas y tiempo de vida útil de las unidades de tratamiento, principalmente los sedimentadores.
- El policloruro de aluminio (PAC) como coagulante actúa de manera eficiente en la remoción de sólidos suspendidos para turbidez menor a 20 N.T.U., siempre y cuando se ajuste el pH de agua de entrada.
- El decrecimiento del pH del agua al aplicar el PAC es aproximadamente 0,5 unidades mientras que adicionando sulfato de aluminio se tiene 1,5 unidades.
- La bentonita como ayudante a la coagulación arroja buenos resultados en remoción de sólidos suspendidos con $(100,00 \pm 0,01)$ N.T.U. de turbidez de agua cruda.
- Ajustando el pH del agua cruda a $(8,50 \pm 0,01)$ Adim. se obtiene un ahorro de sulfato de aluminio de 17 %.
- La alternativa seleccionada es rentable llevarla a cabo de acuerdo a la relación costo-beneficio, cuyo valor es igual a 0,52 Adim.



5.2 RECOMENDACIONES

- Caracterizar el agua de entrada una vez al día como se procede para el agua potable.
- Determinar la concentración de sulfato al agua potable, pues esto es también indicativo si se presenta o no exceso de dosificación del sulfato de aluminio en la etapa de reacción.
- Controlar las horas de operación de los filtros de acuerdo a turbidez de agua tratada por sección.
- Evaluar las características físico-químicas del lodo generado en el proceso.
- Realizar pruebas a escala laboratorio ajustando el agua con cal utilizando como coagulante el policloruro de aluminio.



REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Arboleda, J (1977). *Coagulación, mezcla rápida, floculación*. [Documento en línea]. Disponible en: [http://www.bvsde\(Biblioteca virtual de desarrollo sostenible y salud ambiental\).ops-oms.org/bvsacd/scan/020867/020867-14.pdf](http://www.bvsde(Biblioteca virtual de desarrollo sostenible y salud ambiental).ops-oms.org/bvsacd/scan/020867/020867-14.pdf). [Consulta: 12 de Octubre de 2010].
- Arboleda, J (2000). *Teoría y práctica de la purificación del agua*. (3^{era} ed.) Colombia: Editorial McGraw-Hill, Tomo I y II, págs. 21-31, 48-49, 106-126, 169-170, 200, 264-269, 363-364, 402-405, 440-445 y 633-647.
- Arias, F. (1999). *El proyecto de investigación*. (3^{era} ed.). Caracas: Editorial Episteme, págs. 19-21.
- Barona R., Wilson O. (2009). *Diseño de una planta para la producción de agua apta para el consumo humano en la Planta de Producción de familia Sancela S.A-Biobamba Ecuador*. Escuela superior politécnica de Chimborazo. Facultad de ciencias. Escuela de ingeniería. Trabajo Especial de Grado.
- Bracho N. y Castillo J. (2009). *Formation of trihalomethanes during the disinfection process in the potabilisation of water*. Revista Tecnológica Universidad del Zulia, vol. 32, N°33, págs. 231-237.
- Cárdenas, Y. (s.f). Efecto de la coagulación en las sustancias contenidas en el agua. [Documento en línea]. Disponible en: <http://www.fortunecity.es/felices/andorra/51/coagulacion-floculacion.htm>. [Consulta: 12 de Octubre de 2010].
- CEPIS, (s.f) *Teoría, diseño y control de los procesos de clarificación del agua*. Disponible en <http://www.bvsde.ops-oms.org/bvsacd/scan/002320/002320-14c.pdf> [Consulta: 12 de Octubre de 2010].



- Corripio, S. (2008). *Control automático de procesos*. Editorial Limusa, págs.615-616.
- Díaz D., Carlos; García P., Daury y Solis M., Carlos (2000). *Abastecimiento de agua potable para pequeñas comunidades rurales por medio de un sistema de colección de lluvia-planta potabilizadora*. Toluca, México. Ciencia Ergo Sum, vol. 7, N° 2, págs. 129-134.
- De Lora, F. (1975). *Control de calidad y tratamiento del agua*. Madrid: Editorial McGraw-Hill, págs. 108-109.
- Ferralca C.A., (2010). Proveedor del sulfato de aluminio líquido <http://www.ferralca.com.ve>
- Giugni, L., De Betancourt, C., De Salama, I. y Guerra, V. (2009). *Evaluación de proyectos de inversión*. Valencia: Universidad de Carabobo, págs. 320-322.
- Grupo IDEA (Instituto para el Desarrollo Empresarial Administrativo) (1999) [Documento en línea] Disponible en: <http://www.idea.edu.pe/.../6taherramientadecalidad.matrizdeselección.doc> [Consulta: 15 de Enero de 2011].
- Hurtado, J. y asociados. (1973).Manual de operación de la instalación 106 vol. II, págs. 6-29.
- Kemmer, F. y McCallion, J. (1997). *Manual del agua (Nalco)*. U.S.A: Editorial McGraw-Hill, Tomo I y II, págs. 4-7, 4-16, 8-2, 8-3, 10-17, 19-6 y 19-7.
- La Littorale Enología, (s.f). *Bentonitas, usos y aplicación en los vinos*. Disponible en http://www.lalittorale.com/es/ACTUALIDAD/Feb09/internet_Bentonit_E.pdf. [Consulta: 27 de Enero de 2011].



- Metcalf y Eddy. (1996). *Tratamiento y depuración de las aguas residuales*. Editorial McGraw-Hill. Tomo I, págs 232-234.
- Norma vigente para el agua potable, (1998). Gaceta oficial de la República Bolivariana de Venezuela 36.395, 13 de Febrero de 1998.
- Parra, I. (2010) Tratamientos de aguas blancas de procesos I (Exposición). Valencia: Grupo Ecológico Ambiental, Ingeniería Química- Universidad de Carabobo.
- Pequiven (2009). Guía para el control de tratamiento de agua.
- Pérez, J (s.f). Sedimentación. Disponible en: <http://www.bvsde.ops-oms.org/bvsacd/scan/016322/016322-03.pdf>. [Consulta: 27 de Noviembre de 2011].
- Powell, S. (1987 a). *Manual de aguas para usos industriales*. (1^{era} ed.). México: Editorial Limusa, vol. 1, págs. 21, 40-45, 50-51, 118
- Powell, S. (1987 b). *Manual de aguas para usos industriales*. (1^{era} ed.). México: Editorial Limusa, vol. 3, págs. 24, 27, 69, 84-86.
- Powell, S. (1987 c). *Manual de aguas para usos industriales*. (1^{era} ed.). México: Editorial Limusa, vol. 4, págs. 237-285.
- . Rivas, G. (1978). *Tratamiento de aguas residuales*. (2^{da} ed.). Madrid: Ediciones Vega. Págs., 273-293.
- Rodríguez M., J. P.; Lugo U., I. P.; Rojas C.; A. V. y Malaver, C. (2007). *Evaluación del proceso de coagulación para el diseño de una planta potabilizadora*. Bogotá, Colombia. Umbral Científico Semestral, N° 11, págs. 8-16.
- Romero C. y Solórzano R. (2007). *Síntesis de un polímero inorgánico y su uso para clarificación de agua*. Revista de Ingeniería UC, vol. 14, N° 3, págs.16-23.



- Romero, J. (2000). *Purificación del agua*. (1^{era} ed.). Colombia: Editorial Nomos, págs. 54-59.
-
- Rondeau, V., Jacqmin, H., Commenges, D. y Helmer, C. (2008). Aluminum and Silica in Drinking Water and the Risk of Alzheimer's Disease or Cognitive Decline: Findings From 15-Year Follow-up of the PAQUID Cohort. [Resumen]. Disponible en <http://aje.oxfordjournals.org/content/169/4/489.abstract>. Universidad de Oxford. Estados Unidos. [Consulta: 15 de Enero de 2011].
- Silva, J. (2003). *Transporte de momento para ingenieros de procesos*. Valencia: Universidad de Carabobo, pág. 115.
- Sistema de Gestión Ambiental C.A., 2011
- Torra, A., Valero, F., Bisbal, J. y Tous J. (1998). *Policloruro de Aluminio en el proceso de potabilización de aguas superficiales*. [Artículo publicado en el Centro de Investigación y Desarrollo Tecnológico del Agua]. Disponible en: http://cidta.usal.es/residuales/libros/logo/pdf/policloruro_aluminio.pdf, [Consulta: 19 de Abril de 2011].
- Welcher, F. y Hanhn, R. (1960). Seminary cualitative analysis. Págs. 220-232

APÉNDICE A

TABLA A.1

PARÁMETROS DE CARACTERIZACIÓN DEL AGUA DE ENTRADA A LA PLANTA DE AGUA CRUDA I-106

Parámetro/ Día	10/11/2010	11/11/2010	16/11/2010	17/11/2010	18/11/2010	23/11/2010
Alcalinidad total (ppm)	20,00	25,00	29,00	17,16	11,80	20,00
Aluminio (ppm)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Cloro libre (ppm)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Cloruros (ppm)	8,90	10,10	75,00	6,31	3,60	74,00
Color (APHA)	100,00	100,00	50,00	100,00	100,00	100,00
Conductividad (µS/cm)	75,00	80,00	80,00	88,70	69,20	80,50
Dureza cálcica (ppm)	11,50	10,00	6,80	14,66	11,60	11,90
Dureza total (ppm)	24,00	22,00	16,00	24,00	21,58	20,00
Fosfato total (ppm)	1,10	1,00	1,15	1,55	1,10	0,90
Hierro en aguas (ppm)	5,80	4,30	8,30	5,40	12,70	3,38
Hierro total (ppm)	-	-	-	-	-	-
Materia orgánica (ppm)	5,00	6,65	6,75	5,56	8,90	10,25
pH (Adim.)	7,20	6,00	6,53	6,27	5,96	6,54
Sílice (ppm)	11,80	6,78	13,40	16,64	17,66	13,40
Sólidos totales disueltos (ppm)	155,00	114,00	40,00	44,00	34,00	40,00
Turbidez (N.T.U)	115,00	72,00	150,00	96,00	400,00	300,00
Manganeso (ppm)	0	0	0,01	0,01	0,01	0,01

Fuente: Laboratorio Central del Complejo Petroquímico Morón, 2010

TABLA A.1 (CONTINUACIÓN)

PARÁMETROS DE CARACTERIZACIÓN DEL AGUA DE ENTRADA A LA PLANTA DE AGUA CRUDA I-106

Parámetro/ Día	24/11/2010	25/11/2010	07/12/2010	08/12/2010	09/12/2010	15/12/2010
Alcalinidad total (ppm)	12,00	20,00	29,70	18,00	35,00	29,80
Aluminio (ppm)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Cloro libre (ppm)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Cloruros (ppm)	74,00	76,00	73,00	70,00	72,00	76,00
Color (APHA)	50,00	80,00	100,00	100,00	100,00	50,00
Conductividad (µS/cm)	91,55	105,70	145,00	187,00	200,00	307,00
Dureza cálcica (ppm)	15,00	14,45	8,60	8,90	14,00	25,00
Dureza total (ppm)	20,00	20,00	20,00	12,00	20,00	36,00
Fosfato total (ppm)	1,00	1,00	0,50	1,75	2,00	0,90
Hierro en aguas (ppm)	7,30	8,70	13,00	12,00	14,35	3,46
Hierro total (ppm)	-	-	-	-	-	-
Materia orgánica (ppm)	7,25	4,40	11,15	10,88	6,75	8,55
pH (Adim.)	6,53	6,47	6,37	6,70	6,40	6,50
Sílice (ppm)	12,80	14,20	15,10	14,80	15,00	13,20
Sólidos totales disueltos (ppm)	45,00	55,00	65,00	74,00	90,00	166,00
Turbidez (N.T.U)	200,00	240,00	570,00	400,00	260,00	50,00
Manganeso (ppm)	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01

Fuente: Laboratorio Central del Complejo Petroquímico Morón, 2010

TABLA A.2

PARÁMETROS DE CARACTERIZACIÓN DEL AGUA TRATADA EN LA PLANTA DE AGUA CRUDA I-106

Parámetro/ Día	10/11/2010	11/11/2010	16/11/2010	17/11/2010	18/11/2010	23/11/2010	Rangos
Alcalinidad total (ppm)	23,52	23,40	30,18	23,38	16,38	9,78	(25-35)ppm
Aluminio (ppm)	0,32	0,28	0,19	0,33	0,28	0,19	< 2ppm
Cloro libre (ppm)	0,03	0,01	0,01	0,28	0,29	0,13	(0,5-1,5)ppm
Cloruros (ppm)	16,80	16,22	20,44	19,46	18,68	17,07	(16-23)ppm
Color (APHA)	20,00	15,00	24,00	20,00	5,00	27,00	< 5 APHA
Conductividad (μS/cm)	210,00	182,53	235,00	185,20	174,30	251,00	(160-250) (μS/cm)
Dureza cálcica (ppm)	44,00	52,00	52,00	52,00	56,00	52,00	(25-50)ppm
Dureza total (ppm)	60,00	76,00	72,00	72,00	80,00	76,00	(37-83)ppm
Fosfato total (ppm)	0,50	0,60	0,60	0,60	0,50	0,60	(0,5-1,5)ppm
Hierro en aguas (ppm)	0,00	0,12	0,00	0,00	0,00	0,00	Máx. 0,3 ppm
Hierro total (ppm)	22,00	0,12	0,97	0,12	0,08	0,46	Máx. 0,3 ppm
Materia orgánica (ppm)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0ppm
pH (Adim.)	7,01	6,90	6,22	6,09	6,11	6,01	(6,9-8,0)
Sílice (ppm)	8,40	9,30	10,00	11,00	10,50	11,00	(8-17)ppm
Sólidos totales disueltos (ppm)	122,57	127,77	130,75	129,64	122,01	176,00	(120-180)ppm
Turbidez (N.T.U)	2,09	6,58	17,20	4,21	4,38	13,00	<1,5 N.T.U.
Manganeso (ppm)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	(0,1-1,5)ppm

Fuente: Laboratorio Central del Complejo Petroquímico Morón, 2010

TABLA A.2 (CONTINUACIÓN)

PARÁMETROS DE CARACTERIZACIÓN DEL AGUA TRATADA EN LA PLANTA DE AGUA CRUDA I-106

Parámetro/ Día	24/11/2010	25/11/2010	07/12/2010	08/12/2010	09/12/2010	15/12/2010	Rangos
Alcalinidad total (ppm)	10,56	13,49	7,50	5,76	11,00	19,80	(25-35)ppm
Aluminio (ppm)	0,22	0,29	0,14	0,17	0,15	0,14	< 2ppm
Cloro libre (ppm)	0,07	0,02	0,66	0,18	0,18	1,10	(0,5-1,5)ppm
Cloruros (ppm)	19,44	17,98	19,10	26,27	23,00	20,80	(16-23)ppm
Color (APHA)	32,00	10,00	5,00	5,00	47,00	10,00	< 5 APHA
Conductividad (µS/cm)	262,00	190,30	347,00	269,00	269,00	376,00	(160-250) (µS/cm)
Dureza cálcica (ppm)	52,00	52,00	64,00	60,00	60,00	56,00	(25-50)ppm
Dureza total (ppm)	68,00	64,00	80,00	80,00	80,00	96,00	(37-83)ppm
Fosfato total (ppm)	0,70	0,50	0,60	0,50	0,50	0,60	(0,5-1,5)ppm
Hierro en aguas (ppm)	0,00	0,00	0,16	0,13	0,13	0,04	Máx. 0,3 ppm
Hierro total (ppm)	0,20	0,07	0,16	0,13	0,13	0,04	Máx. 0,3 ppm
Materia orgánica (ppm)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0ppm
pH (Adim.)	5,80	6,16	6,02	5,37	5,37	6,66	(6,9-8,0)
Sílice (ppm)	8,50	10,20	5,60	6,40	6,40	16,60	(8-17)ppm
Sólidos totales disueltos (ppm)	183,40	133,21	243,00	188,30	188,00	263,20	(120-180)ppm
Turbidez (N.T.U)	6,05	3,00	8,25	10,80	3,39	2,31	<1,5 N.T.U.
Manganeso (ppm)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	(0,1-1,5)ppm

Fuente: Laboratorio Central del Complejo Petroquímico Morón, 2010

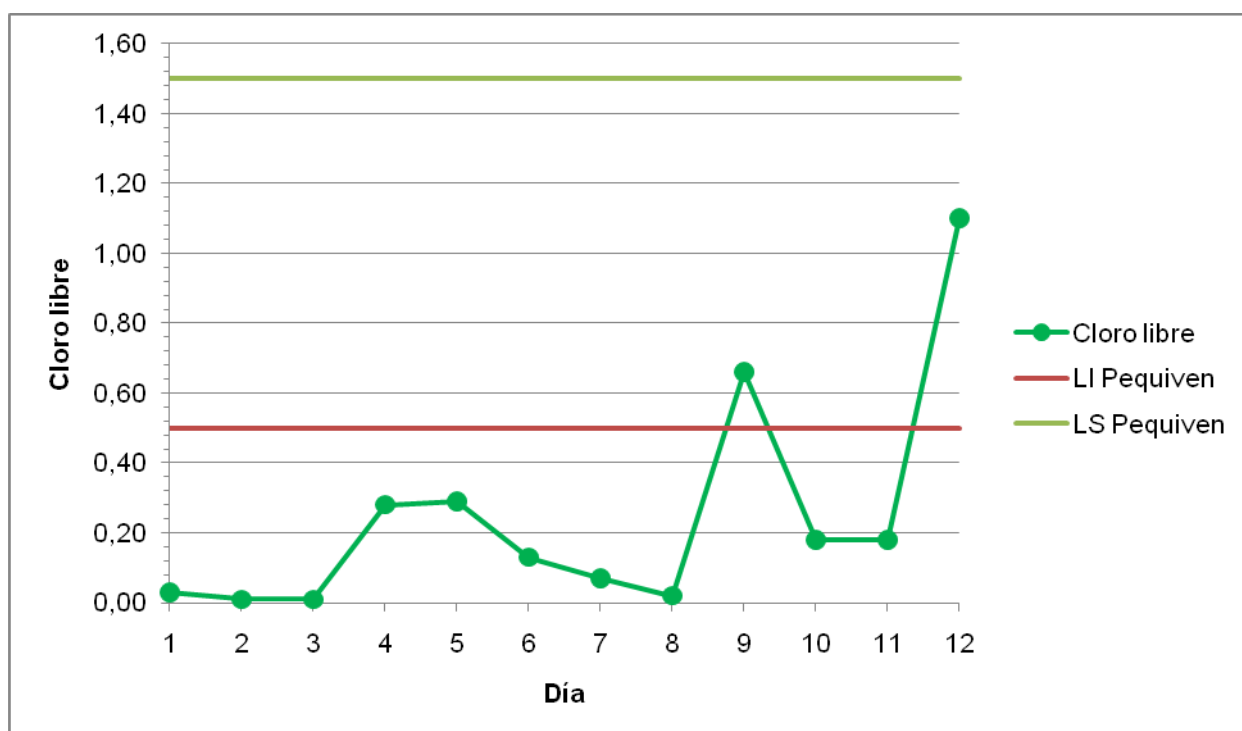


Figura A.1 Variación de cloro libre en el agua potable

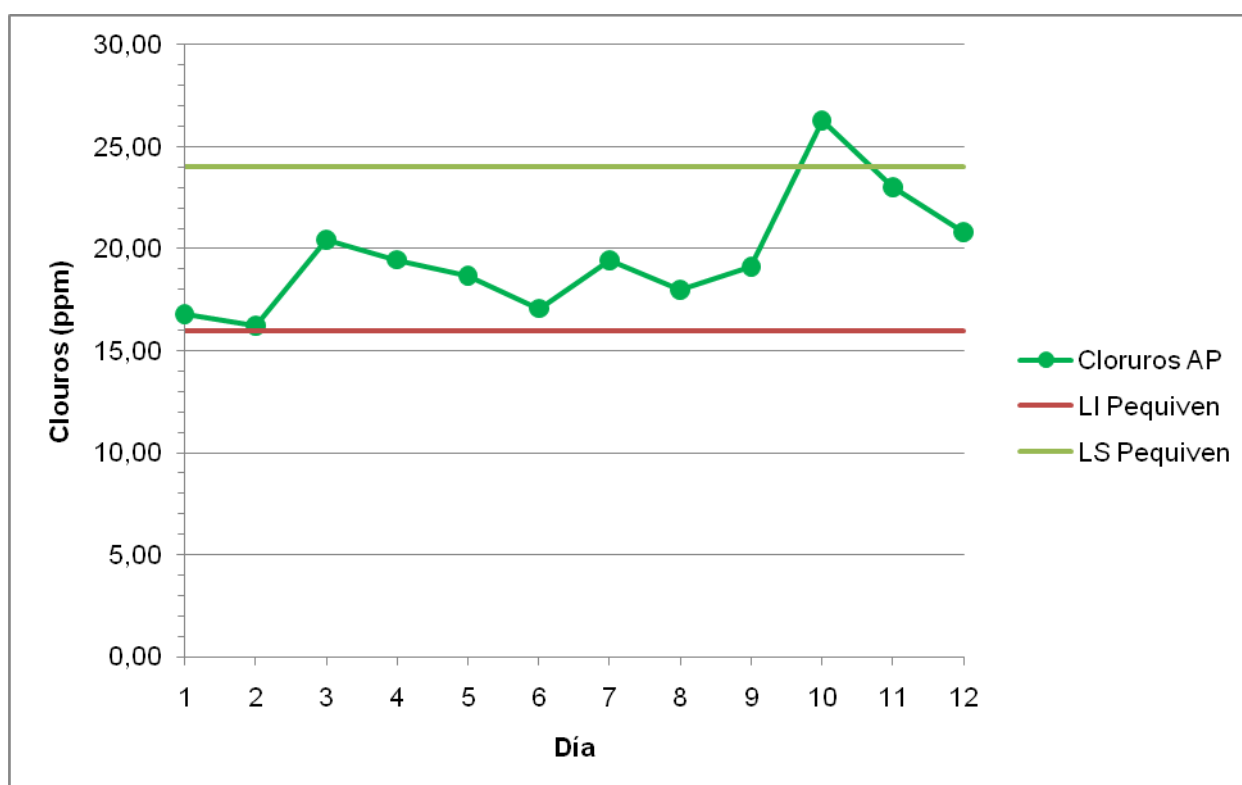


Figura A.2 Variación de cloruros en el agua potable

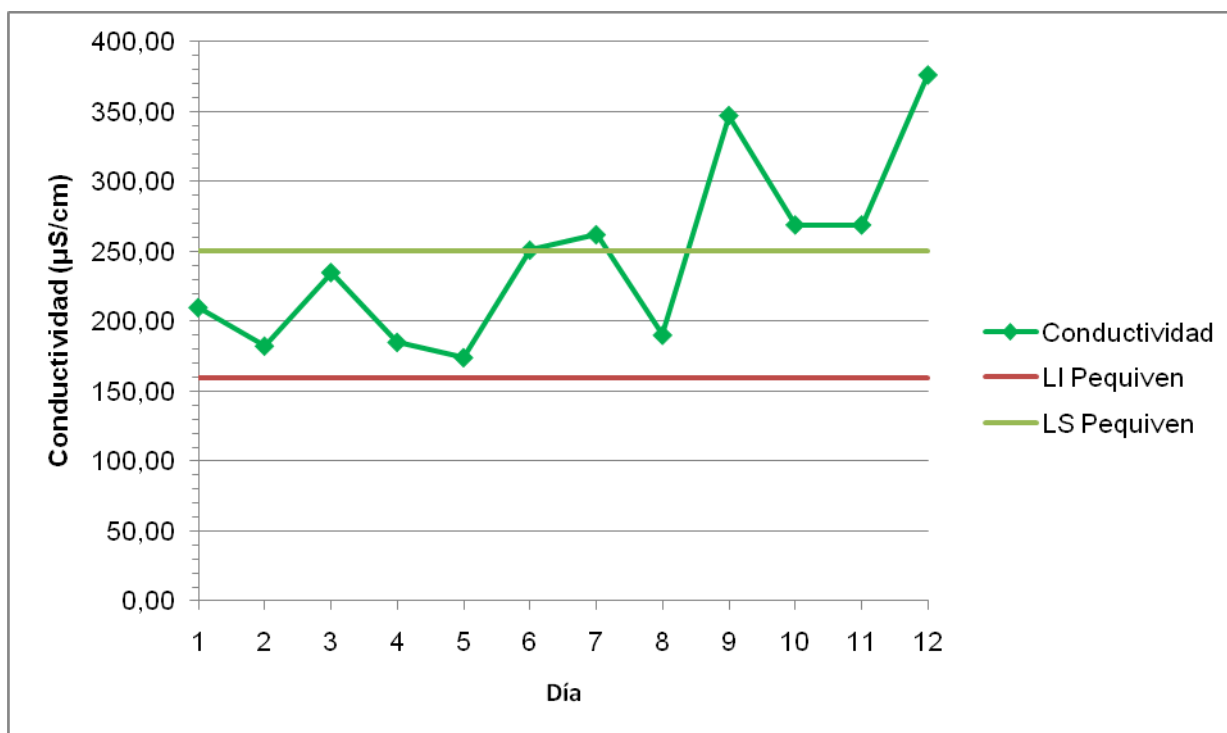


Figura A.3 Variación de conductividad en el agua potable

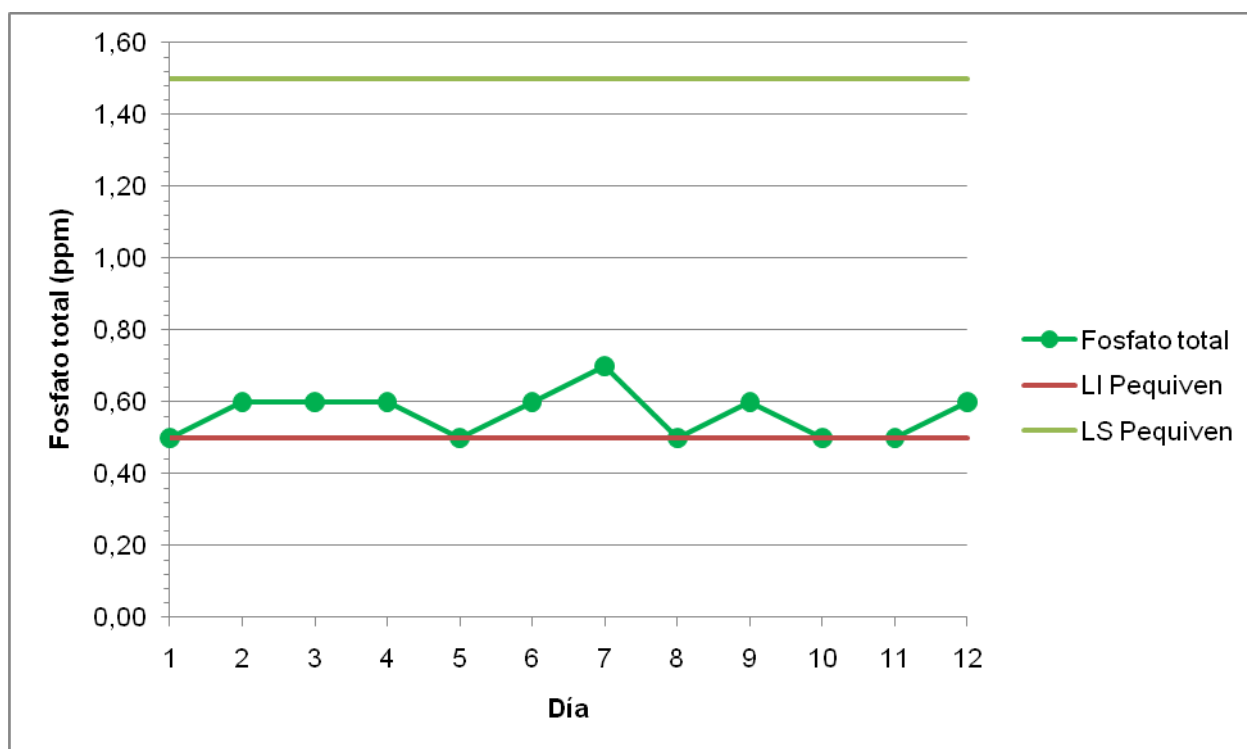


Figura A.4 Variación de fosfato total en el agua potable

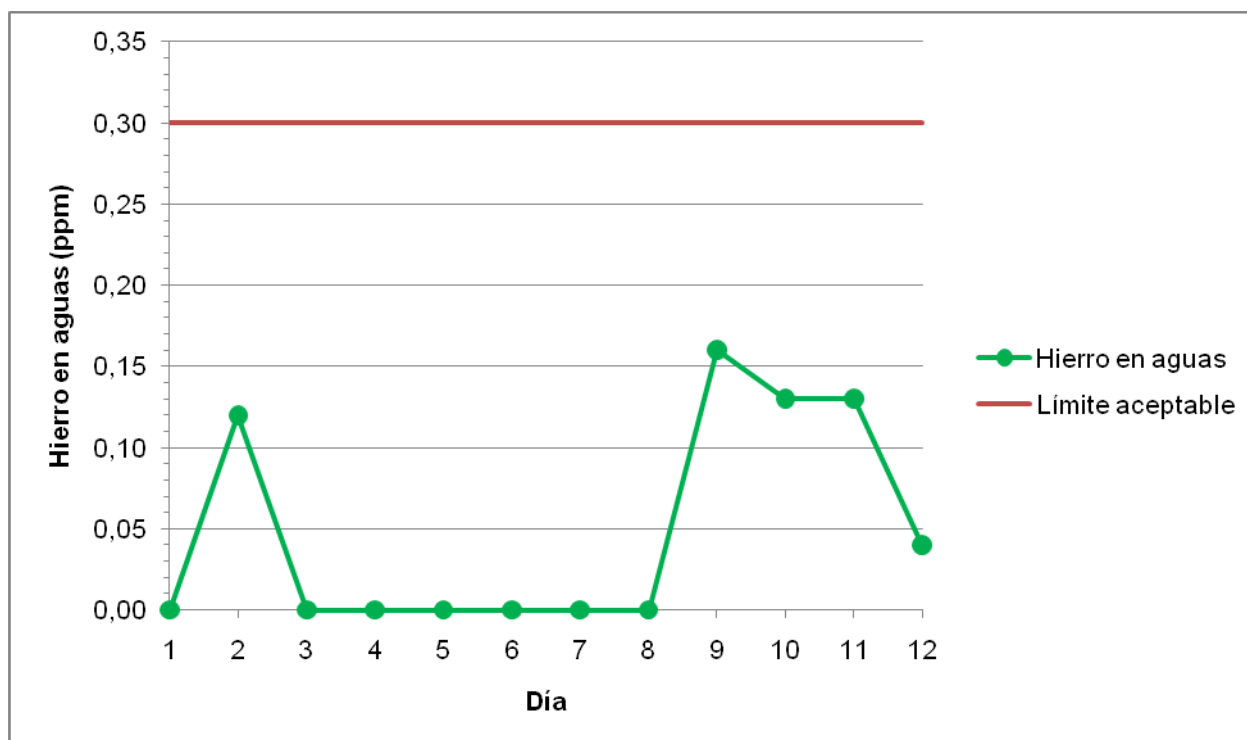


Figura A. 5 Variación de hierro en el agua potable

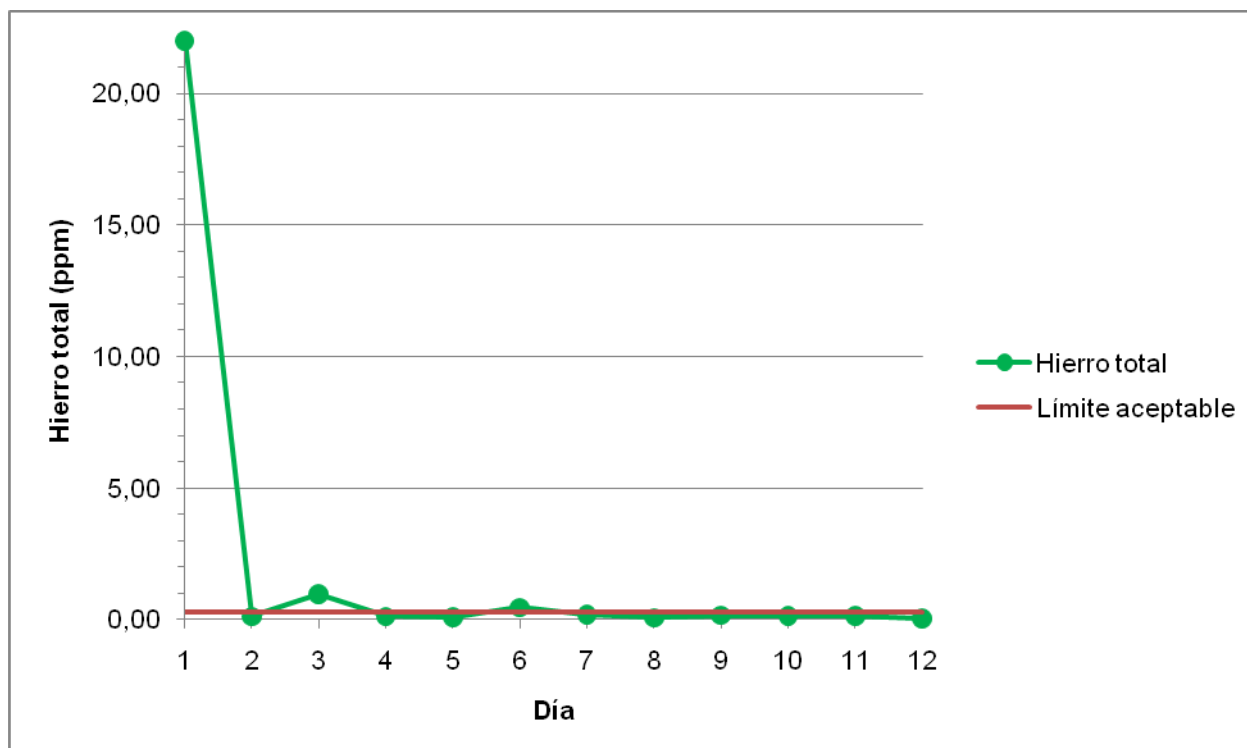


Figura A.6 Variación de hierro total en el agua potable

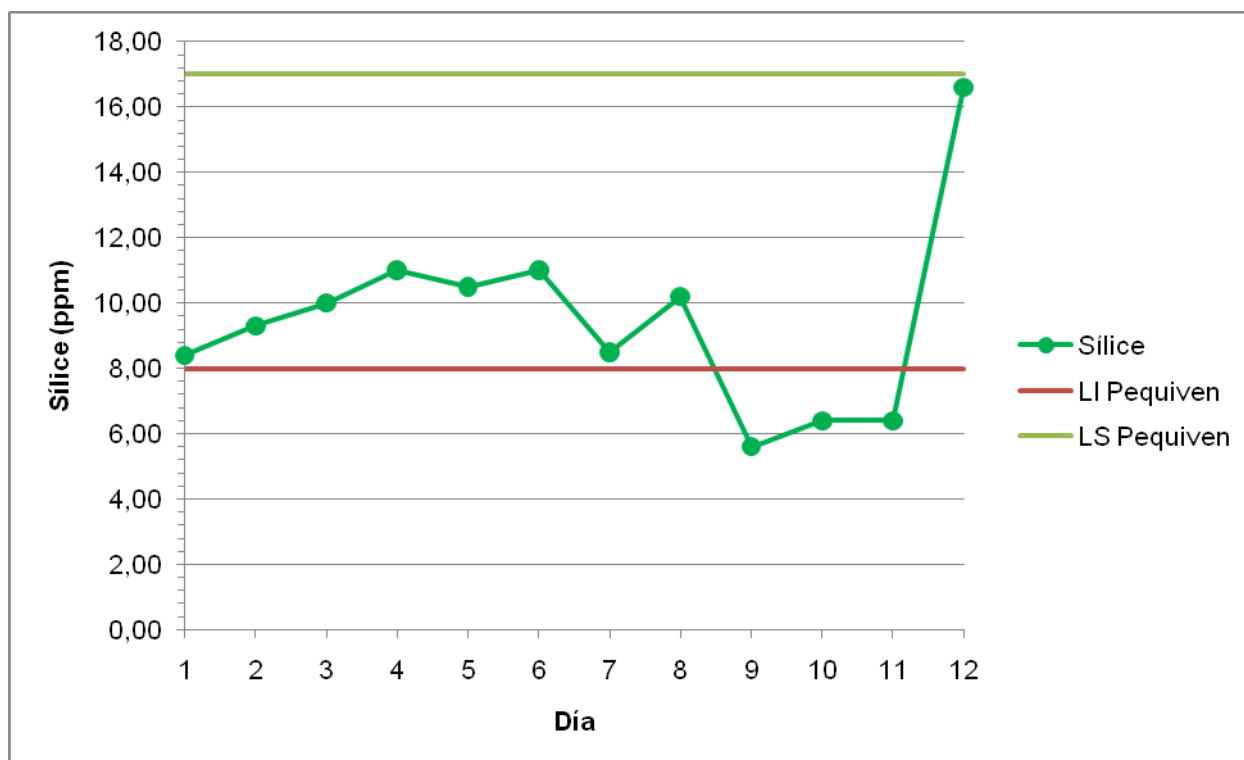


Figura A.7 Variación de sílice en el agua potable

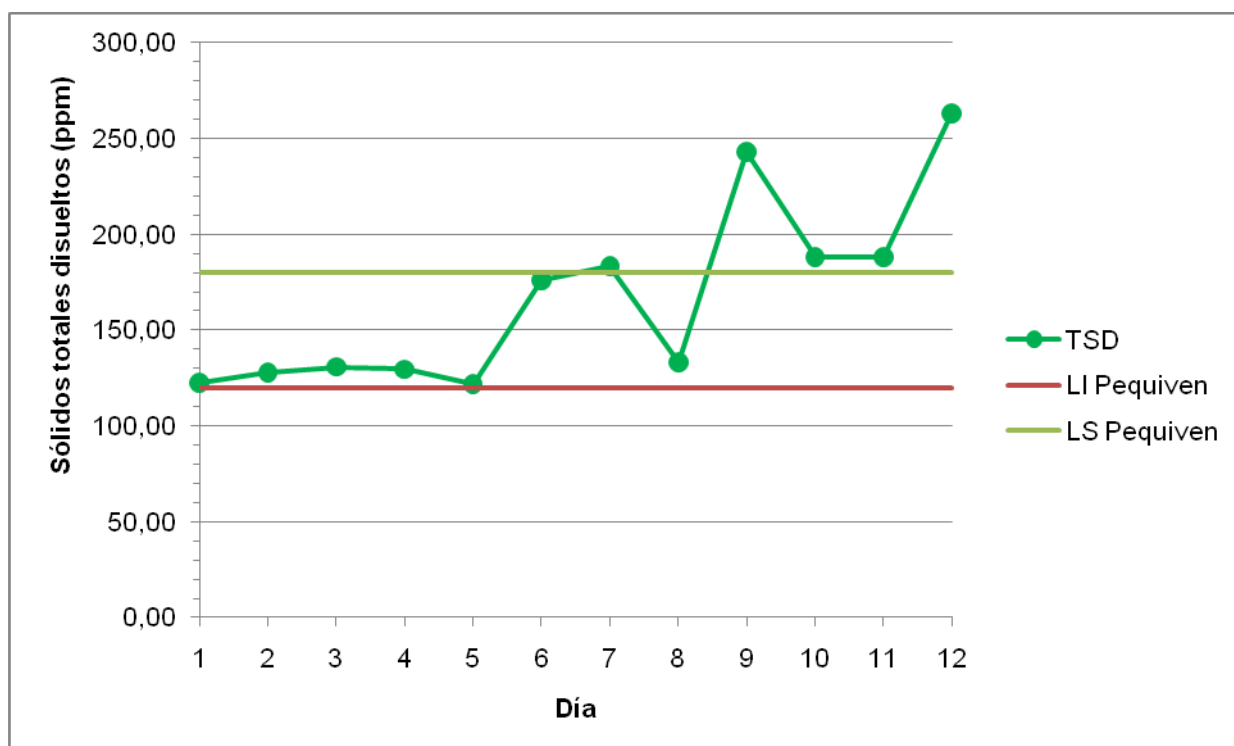


TABLA A.3
PARÁMETROS NECESARIOS PARA LA CARACTERIZACIÓN DEL AGUA EN LAS DIFERENTES ETAPAS DEL PROCESO DE
LA PLANTA DE AGUA CRUDA I-106 (10/11/2010)

Muestras	Turbidez (N.T.U.)	pH (Adim.)	Color (Pt/Co)	Conductividad (μ S/cm)	Sólidos disueltos (ppm)	Cloro Libre (ppm)	Cloro total (ppm)	Alcalinidad (ppm)	Dureza (ppm)
Cruda	150,00	6,58	288,0	79,70	39,00	0,00	0,00	20,00	16,00
Sal M-R	115,00	6,28	115,0	145,00	71,00	0,33	0,49	16,00	26,00
Sal SD 1-A	3,55	7,70	7,5	145,20	71,00	-	-	140,00	72,00
Sal SD 1-B	15,20	7,90	23,0	750,00	367,00	-	-	124,00	144,00
Sal SD 2-A	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Sal SD 2-B	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Ent F 1-3	16,40	8,03	25,4	679,00	332,00	0,79	0,83	90,00	140,00
Ent F 2-4	16,90	8,06	20,0	149,90	73,00	0,60	0,90	94,00	42,00
F 1-A	0,26	7,87	4,8	472,00	232,00	0,03	0,10	-	-
F 1-B	0,28	8,10	4,8	509,00	250,00	0,08	0,10	-	-
F 2-A	19,40	8,05	25,9	166,80	82,00	1,95	2,11	-	-
F 2-B	0,34	8,14	3,8	164,80	81,00	1,96	2,00	-	-
F 3-A	0,58	8,21	6,3	182,90	90,00	0,00	0,09	-	-
F 3-B	13,00	8,80	14,6	518,00	254,00	0,03	0,09	-	-
F 4-A	12,80	8,80	21,3	159,70	78,00	1,15	1,22	-	-
F 4-B	6,31	8,78	13,8	166,40	82,00	0,03	0,23	-	-
Tratada	17,20	8,77	40,7	204,20	100,00	0,79	0,91	28,00	56,00

Caudal: 400 L/s

Concentración de sulfato de aluminio:
100 ppm

Caudal de sulfato de aluminio: 1,791
L/min

Concentración de polímero: 0,2 ppm

Flujo másico de polímero: 0,3 kg/h

Flujo másico de cloro: 400 lb/h

Temperatura del agua: 27,0 °C

Fuera de servicio el filtro 4

Con adición de cal en el mezclador 2

Sin adición de agua del recuperador
de lodos viejo.

Horas de operación de los filtros.

F-1: 22 horas

F-2: 8 horas

F-3: 6 horas

F-4: fuera de servicio

TABLA A.3 (CONTINUACIÓN)
PARÁMETROS NECESARIOS PARA LA CARACTERIZACIÓN DEL AGUA EN LAS DIFERENTES ETAPAS DEL PROCESO DE LA PLANTA DE AGUA CRUDA I-106 (11/11/2010)

Muestras	Turbidez (N.T.U.)	pH (Adim.)	Color (Pt/Co)	Conductividad (μS/cm)	Sólidos disueltos (ppm)	Cloro Libre (ppm)	Cloro total (ppm)	Alcalinidad (ppm)	Dureza (ppm)
Cruda	92,20	6,13	202,0	78,70	39,00	-	-	-	-
Sal M-R	56,10	5,90	39,4	117,80	58,00	-	-	-	-
Sal SD 1-A	8,75	7,25	15,9	118,20	58,00	-	-	-	-
Sal SD 1-B	9,92	8,33	20,2	434,00	213,00	-	-	-	-
Sal SD 2-A	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Sal SD 2-B	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Ent F 1-3	10,11	8,70	18,5	399,00	195,00	-	-	-	-
Ent F 2-4	6,62	8,69	12,6	165,30	81,00	-	-	-	-
F 1-A	1,82	7,39	13,7	214,10	105,00	-	-	-	-
F 1-B	1,96	7,66	13,6	168,50	83,00	-	-	-	-
F 2-A	9,73	7,66	19,6	146,00	72,00	-	-	-	-
F 2-B	0,63	7,63	0,6	155,60	76,00	-	-	-	-
F 3-A	16,40	7,59	30,5	158,00	77,00	-	-	-	-
F 3-B	9,13	7,60	23,7	207,90	102,00	-	-	-	-
F 4-A	1,86	7,69	39,0	140,10	69,00	-	-	-	-
F 4-B	0,66	7,68	5,2	183,50	90,00	-	-	-	-
Tratada	6,58	7,66	15,1	151,50	74,00	-	-	-	-

Caudal: 350 L/s

Flujo másico de cal: 54 kg/h

Horas de operación de los filtros.

Concentración de sulfato de aluminio: 90 ppm

Flujo másico de cloro: 450 lb/h

F-1: 1 horas

Caudal de sulfato de aluminio: 1,412 L/min

Temperatura del agua: 27,0 °C

F-2: 32 horas (lavado)

Concentración de polímero: 0,2 ppm

Fuera de servicio el filtro el sedimentador 2 por inspección

F-3: 30 horas (lavado)

Flujo másico de polímero: 0,240 kg/h

Fuera de servicio las secciones B de los filtros.

F-4: 14 horas

TABLA A.3 (CONTINUACIÓN)
PARÁMETROS NECESARIOS PARA LA CARACTERIZACIÓN DEL AGUA EN LAS DIFERENTES ETAPAS DEL PROCESO DE
LA PLANTA DE AGUA CRUDA I-106 (16/11/2010)

Muestras	Turbidez (N.T.U.)	pH (Adim.)	Color (Pt/Co)	Conductividad (μS/cm)	Sólidos disueltos (ppm)	Cloro Libre (ppm)	Cloro total (ppm)	Alcalinidad (ppm)	Dureza (ppm)
Cruda	150,00	6,58	288,0	79,70	39,00	0,00	0,00	20,00	16,00
Sal M-R	115,00	6,28	115,0	145,00	71,00	0,33	0,49	16,00	26,00
Sal SD 1-A	3,55	7,70	7,5	145,20	71,00	-	-	140,00	72,00
Sal SD 1-B	15,20	7,90	23,0	750,00	367,00	-	-	124,00	144,00
Sal SD 2-A	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Sal SD 2-B	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Ent F 1-3	16,40	8,03	25,4	679,00	332,00	0,79	0,83	90,00	140,00
Ent F 2-4	16,90	8,06	20,0	149,90	73,00	0,60	0,90	94,00	42,00
F 1-A	0,26	7,87	4,8	472,00	232,00	0,03	0,10	-	-
F 1-B	0,28	8,10	4,8	509,00	250,00	0,08	0,10	-	-
F 2-A	19,40	8,05	25,9	166,80	82,00	1,95	2,11	-	-
F 2-B	0,34	8,14	3,8	164,80	81,00	1,96	2,00	-	-
F 3-A	0,58	8,21	6,3	182,90	90,00	0,00	0,09	-	-
F 3-B	13,00	8,80	14,6	518,00	254,00	0,03	0,09	-	-
F 4-A	12,80	8,80	21,3	159,70	78,00	1,15	1,22	-	-
F 4-B	6,31	8,78	13,8	166,40	82,00	0,03	0,23	-	-
Tratada	17,20	8,77	40,7	204,20	100,00	0,79	0,91	28,00	56,00

Caudal: 300 L/s

Concentración de sulfato de aluminio:
130 ppm

Caudal de sulfato de aluminio: 1,746
L/min

Concentración de polímero: 0,2 ppm

Flujo másico de polímero: 0,212 kg/h

Flujo másico de cal: 48 kg/h

Flujo másico de cloro: 350 lb/h

Temperatura del agua: 27,0 °C

Fuera de servicio el filtro el
sedimentador 2 por inspección
Con adición de cal en el mezclador 2

Horas de operación de los filtros.

F-1: 36 horas (lavado)

F-2: 6 horas

F-3: 28 horas

F-4: 32 horas

TABLA A.3 (CONTINUACIÓN)
PARÁMETROS NECESARIOS PARA LA CARACTERIZACIÓN DEL AGUA EN LAS DIFERENTES ETAPAS DEL PROCESO DE LA PLANTA DE AGUA CRUDA I-106 (17/11/2010)

Muestras	Turbidez (N.T.U.)	pH (Adim.)	Color (Pt/Co)	Conductividad (μS/cm)	Sólidos disueltos (ppm)	Cloro Libre (ppm)	Cloro total (ppm)	Alcalinidad (ppm)	Dureza (ppm)
Cruda	96,90	6,90	208,0	89,30	44,00	0,00	0,00	24,00	24,00
Sal M-R	117,00	6,50	53,2	148,80	73,00	0,91	1,4	26,00	32,00
Sal SD 1-A	3,300	7,60	12,6	142,10	70,00	-	-	16,00	32,00
Sal SD 1-B	7,14	8,50	20,7	213,80	105,00	-	-	64,00	60,00
Sal SD 2-A	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Sal SD 2-B	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Ent F 1-3	13,00	8,48	21,8	209,10	103,00	0,71	1,02	26,00	54,00
Ent F 2-4	5,63	8,50	16,3	142,00	69,00	1,01	1,12	48,00	28,00
F 1-A	0,21	7,84	8,1	219,10	107,00	0,00	0,12	-	-
F 1-B	0,36	7,47	6,7	184,50	90,00	0,91	1,18	-	-
F 2-A	2,32	7,4	2,25	168,20	82,00	0,85	0,90	-	-
F 2-B	0,80	7,32	10,6	182,10	89,00	1,49	1,55	-	-
F 3-A	0,34	7,21	7,2	232,00	114,00	0,77	0,86	-	-
F 3-B	1,32	7,38	7,8	184,00	90,00	1,07	1,11	-	-
F 4-A	3,92	7,40	22,4	175,30	86,00	0,83	0,91	-	-
F 4-B	22,90	8,10	41,2	173,50	85,00	0,70	0,82	-	-
Tratada	4,91	7,32	11,5	183,40	90,00	1,03	1,18	20,00	56,00

Caudal: 350 L/s

Concentración de sulfato de aluminio: 90 ppm

Caudal de sulfato de aluminio: 1,412 L/min

Concentración de polímero: 0,2 ppm

Flujo másico de polímero: 0,240 kg/h

Flujo másico de cal: 54 kg/h

Flujo másico de cloro: 450 lb/h

Temperatura del agua: 27,0 °C

Fuera de servicio el filtro el sedimentador 2 por inspección
Fuera de servicio las secciones B de los filtros.

Horas de operación de los filtros.

F-1: 1 horas

F-2: 32 horas (lavado)

F-3: 30 horas (lavado)

F-4: 14 horas

TABLA A.3 (CONTINUACIÓN)
PARÁMETROS NECESARIOS PARA LA CARACTERIZACIÓN DEL AGUA EN LAS DIFERENTES ETAPAS DEL PROCESO DE LA PLANTA DE AGUA CRUDA I-106 (18/11/2010)

Muestras	Turbidez (N.T.U.)	pH (Adim.)	Color (Pt/Co)	Conductividad (μ S/cm)	Sólidos disueltos (ppm)	Cloro Libre (ppm)	Cloro total (ppm)	Alcalinidad (ppm)	Dureza (ppm)
Cruda	396,00	6,64	255,0	70,10	34,00	0,00	0,00	20,00	20,00
Sal M-R	211,00	6,16	93,2	140,70	69,00	1,79	1,96	16,00	32,00
Sal SD 1-A	2,90	7,20	35	148,70	78,00	-	-	16,00	36,00
Sal SD 1-B	5,60	8,16	31,1	271,70	133,00	-	-	48,00	84,00
Sal SD 2-A	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Sal SD 2-B	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Ent F 1-3	7,70	8,10	24,5	345,00	169,00	0,97	1,02	60	88
Ent F 2-4	7,82	7,01	16,2	148,80	73,00	0	0,11	8	36
F 1-A	0,63	7,42	10,8	235,80	116,00	0	0,04	-	-
F 1-B	1,15	7,55	18,3	231,80	114,00	0	0,06	-	-
F 2-A	0,68	7,60	10,8	174,60	86,00	1,13	1,37	-	-
F 2-B	0,23	7,62	7,6	179,70	88,00	1,55	1,96	-	-
F 3-A	0,62	7,67	12,3	223,00	109,00	0,00	0,05	-	-
F 3-B	2,82	7,71	14,6	235,30	115,00	0,87	0,88	-	-
F 4-A	5,12	7,71	17,3	181,20	89,00	0,17	0,46	-	-
F 4-B	2,47	7,74	8,9	165,30	81,00	0,11	0,52	-	-
Tratada	4,38	7,76	18,9	183,20	90,00	1,27	1,53	12,00	44,00

Caudal: 320 L/s

Flujo másico de cal: 40 kg/h

Horas de operación de los filtros.

Concentración de sulfato de aluminio:
140 ppm

Flujo másico de cloro: 350 lb/h

F-1: 5 horas

Caudal de sulfato de aluminio: 1,881
L/min

Temperatura del agua: 23,0 °C

F-2: 30 horas

Concentración de polímero: 0,2 ppm

Fuera de servicio el filtro el
sedimentador 2 por inspección

F-3: 55 horas (lavado)

Flujo másico de polímero: 0,240 kg/h

Con adición de cal en el mezclador 2

F-4: 44 horas

TABLA A.3 (CONTINUACIÓN)
PARÁMETROS NECESARIOS PARA LA CARACTERIZACIÓN DEL AGUA EN LAS DIFERENTES ETAPAS DEL PROCESO DE
LA PLANTA DE AGUA CRUDA I-106 (23/11/2010)

Muestras	Turbidez (N.T.U.)	pH (Adim)	Color (Pt/Co)	Conductividad (μS/cm)	Sólidos disueltos (ppm)	Cloro Libre (ppm)	Cloro total (ppm)	Alcalinidad (ppm)	Dureza (ppm)
Cruda	264,00	6,50	941,0	79,60	39,00	0,00	0,00	20,00	20,00
Sal M-R	65,00	5,80	119,0	190,90	94,00	0,44	0,83	4,00	8,00
Sal SD 1-A	9,62	8,46	21,0	188,10	92,00	-	-	64,00	100,0
Sal SD 1-B	13,30	8,48	43,7	107,60	524,00	-	-	176,00	88,00
Sal SD 2-A	8,40	8,10	28,3	262,50	129,00	-	-	140,00	82,00
Sal SD 2-B	4,81	6,90	22,4	186,90	92,00	-	-	8,00	12,00
Ent. F 1-3	5,98	6,90	20,8	256,00	125,00	0,09	0,14	50,00	62,00
Ent. F 2-4	6,07	7,90	21,4	187,70	92,00	0,00	0,21	110,00	72,00
F 1-A	7,18	7,20	17,1	210,10	103,00	1,03	1,18	-	-
F 1-B	1,95	7,23	15,0	218,70	107,00	0,91	1,10	-	-
F 2-A	0,38	7,30	13,0	146,30	72,00	2,00	2,10	-	-
F 2-B	3,34	7,34	14,0	207,70	102,00	2,51	2,97	-	-
F 3-A	5,24	7,20	16,5	213,60	105,00	0,95	1,09	-	-
F 3-B	-	-	-	-	-	-	-	-	-
F 4-A	2,22	7,16	11,8	173,30	85,00	0,95	1,14	-	-
F 4-B	6,95	7,60	20,5	211,10	103,00	1,00	1,16	-	-
Tratada	13,00	7,80	37,7	208,40	102,00	0,20	0,56	12,00	52,00

Caudal: 350 L/s

Concentración de sulfato de
aluminio: 180 ppm

Caudal de sulfato de aluminio: 2,821
L/min

Concentración de polímero: 0,2 ppm

Flujo másico de polímero: 0,30 kg/h

Flujo másico de cal: 40 kg/h

Flujo másico de cloro: 400 lb/h

Temperatura del agua: 25,0 °C

Con adición de cal en el mezclador 2
Sin adición de agua del recuperador
de lodos viejo.

Horas de operación de los filtros.

F-1: 7 horas

F-2: 9 horas

F-3: 4 horas

F-4: 18 horas

TABLA A.3 (CONTINUACIÓN)
PARÁMETROS NECESARIOS PARA LA CARACTERIZACIÓN DEL AGUA EN LAS DIFERENTES ETAPAS DEL PROCESO DE
LA PLANTA DE AGUA CRUDA I-106 (24/11/2010)

Muestras	Turbidez (N.T.U.)	pH (Adim.)	Color (Pt/Co)	Conductividad (μS/cm)	Sólidos disueltos (ppm)	Cloro Libre (ppm)	Cloro total (ppm)	Alcalinidad (ppm)	Dureza (ppm)
Cruda	200,00	6,74	647,0	80,90	40,00	0,00	0,00	12,00	20,00
Sal M-R	196,00	5,20	210,0	183,40	90,00	1,19	1,59	8,00	32,00
Sal SD 1-A	3,50	7,62	19,8	180,00	88,00	-	-	20,00	36,00
Sal SD 1-B	29,20	9,95	51,3	798,00	391,00	-	-	188,00	172,00
Sal SD 2-A	6,94	8,88	25,2	198,50	97,00	-	-	120,00	90,00
Sal SD 2-B	5,34	7,56	22,4	180,10	88,00	-	-	12,00	28,00
Ent. F 1-3	8,81	8,45	19,4	209,50	103,00	0,89	0,99	160,00	48,00
Ent. F 2-4	8,05	8,44	20,6	209,20	103,00	0,84	0,99	120,00	96,00
F 1-A	5,13	7,83	22,3	179,80	88,00	1,00	1,03	-	-
F 1-B	6,76	7,72	19,8	183,30	79,00	1,15	1,30	-	-
F 2-A	4,03	7,66	15,2	199,50	99,00	0,90	0,92	-	-
F 2-B	6,76	7,83	23,0	203,30	100,00	0,82	1,00	-	-
F 3-A	5,00	7,87	18,9	188,50	92,00	0,91	0,99	-	-
F 3-B	18,50	7,73	34,9	176,00	86,00	0,98	1,24	-	-
F 4-A	6,16	7,76	20,7	203,10	100,00	0,60	0,90	-	-
F 4-B	21,90	7,75	35,9	207,00	101,00	0,75	0,93	-	-

Caudal: 350 L/s

Flujo másico de cal: 40 kg/h

Horas de operación de los filtros.

Tratada	6,05	7,71	19,8	190,60	93,00	0,08	0,36	12,00	24,00
----------------	------	------	------	--------	-------	------	------	-------	-------

Concentración de sulfato de aluminio: 160 ppm	Flujo másico de cloro: 400 lb/h	F-1: 31 horas
Caudal de sulfato de aluminio: 2,507 L/min	Temperatura del agua: 25,8 °C	F-2: 33 horas
Concentración de polímero: 0,2 ppm	Con adición de cal en el mezclador 2	F-3: 28 horas
Flujo másico de polímero: 0,240 kg/h	Sin adición de agua del recuperador de lodos viejo.	F-4: 42 horas (lavado)

TABLA A.3 (CONTINUACIÓN)
PARÁMETROS NECESARIOS PARA LA CARACTERIZACIÓN DEL AGUA EN LAS DIFERENTES ETAPAS DEL PROCESO DE LA PLANTA DE AGUA CRUDA I-106 (25/11/2010)

Muestras	Turbidez (N.T.U.)	pH (Adim.)	Color (Pt/Co)	Conductividad (μS/cm)	Sólidos disueltos (ppm)	Cloro Libre (ppm)	Cloro total (ppm)	Alcalinidad (ppm)	Dureza (ppm)
Cruda	240,00	6,32	909,0	98,70	48,00	0,00	0,00	16,00	20,00
Sal M-R	214,00	5,50	140,0	171,20	84,00	1,33	1,36	12,00	28,00
Sal SD 1-A	2,88	7,11	28,10	171,30	84,00	-	-	8,00	32,00
Sal SD 1-B	9,66	8,26	26,60	366,00	179,00	-	-	100,00	100,00
Sal SD 2-A	4,95	8,37	21,10	195,80	96,00	-	-	68,00	40,00
Sal SD 2-B	7,40	7,60	26,10	171,70	84,00	-	-	20,00	28,00
Entrada F 1-3	6,13	7,60	19,80	195,50	96,00	0,86	1,27	42,00	52,00
Entrada F 2-4	3,37	7,60	15,90	170,90	84,00	0,81	1,12	24,00	36,00
F 1-A	0,31	7,15	8,00	194,40	95,00	0,00	0,03	-	-
F 1-B	4,28	7,21	13,40	196,10	96,00	0,05	0,12	-	-
F 2-A	-	-	-	-	-	-	-	-	-
F 2-B	1,26	7,16	15,80	197,70	97,00	1,30	1,25	-	-
F 3-A	0,70	7,37	5,00	193,20	93,00	0,55	0,63	-	-
F 3-B	-	-	-	-	-	-	-	-	-
F 4-A	5,58	7,24	16,52	195,60	96,00	1,56	2,01	-	-
F 4-B	5,10	7,02	17,33	194,00	95,00	1,70	2,12	-	-
Tratada	3,00	7,88	11,20	192,40	94,00	2,30	2,32	36,00	42,00

TABLA A.3 (CONTINUACIÓN)
PARÁMETROS NECESARIOS PARA LA CARACTERIZACIÓN DEL AGUA EN LAS DIFERENTES ETAPAS DEL PROCESO DE
LA PLANTA DE AGUA CRUDA I-106 (07/12/2010)

Muestras	Turbidez (N.T.U.)	pH (Adim.)	Color (Pt/Co)	Conductividad (μ S/cm)	Sólidos disueltos (ppm)	Cloro Libre (ppm)	Cloro total (ppm)	Alcalinidad (ppm)	Dureza (ppm)
Cruda	570,00	6,57	984,0	127,20	62,00	0,00	0,00	20,00	16,00
Sal M-R	460,00	5,51	905,0	280,00	137,00	1,00	1,50	28,00	36,00
Sal SD 1-A	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Sal SD 1-B	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Sal SD 2-A	25,90	7,91	48,9	439,00	215,00	-	-	100,00	128,00
Sal SD 2-B	6,16	7,00	20,8	273,70	134,00	-	-	12,00	60,00
Ent. F 1-3	6,39	7,11	17,9	273,50	134,00	-	-	80,00	48,00
Ent. F 2-4	8,68	7,19	34,2	273,50	134,00	-	-	41,00	48,00
F 1-A	-	-	-	-	-	-	-	-	-
F 1-B	-	-	-	-	-	-	-	-	-
F 2-A	7,01	7,43	16,3	352,00	173,00	5,50	5,79	-	-
F 2-B	-	-	-	-	-	-	-	-	-
F 3-A	5,55	7,43	21,3	288,80	142,00	0,08	0,09	-	-
F 3-B	-	-	-	-	-	-	-	-	-
F 4-A	5,00	7,46	16,5	341,00	167,00	-	-	-	-
F 4-B	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Tratada	8,25	7,40	22,8	307,00	150,00	0,92	0,94	20,00	88,00

Caudal: 320 L/s
Caudal: 400 L/s
Concentración de sulfato de aluminio: 200 ppm
Concentración de sulfato de aluminio: 150 ppm
Caudal de sulfato de aluminio: 2,687 L/min
Caudal de sulfato de aluminio: 2,687 L/min
Concentración de polímero: 0,2 ppm
Concentración de polímero: 0,2 ppm
Flujo másico de polímero: 0,212 kg/h
Flujo másico de polímero: 0,30 kg/h

Flujo másico de cloro: 300 lb/h
Flujo másico de cal: 40 kg/h
Temperatura del agua: 24,6 °C
Flujo másico de cloro: 400 lb/h
Fuera de servicio el sedimentador 1
Temperatura del agua: 25,4 °C
Fuera de servicio filtro 1 y secciones B del resto de los filtros.
Con adición de cal en el mezclador 2

Horas de operación de los filtros.
Horas de operación de los filtros.
F-1: 25 horas
F-1: 55 horas
F-2: 10 horas
F-2: 4 horas
F-3: 20 horas
F-3: 52 horas (lavado)
F-4: 50 horas
F-4: 12 horas

TABLA.3 (CONTINUACIÓN)
PARÁMETROS NECESARIOS PARA LA CARACTERIZACIÓN DEL AGUA EN LAS DIFERENTES ETAPAS DEL PROCESO DE LA PLANTA DE AGUA CRUDA I-106 (08/12/2010)

Muestras	Turbidez (N.T.U.)	pH (Adim.)	Color (Pt/Co)	Conductividad (μS/cm)	Sólidos disueltos (ppm)	Cloro Libre (ppm)	Cloro total (ppm)	Alcalinidad (ppm)	Dureza (ppm)
Cruda	370,00	6,27	299,0	150,40	74,00	0,00	0,00	12,00	16,00
Sal M-R	160,00	6,16	132,0	146,30	72,00	0,01	0,10	ND	ND
Sal SD 1-A	6,09	6,38	19,6	250,40	123,00	-	-	ND	ND
Sal SD 1-B	2,48	6,30	14,8	248,30	122,00	-	-	ND	ND
Sal SD 2-A	10,30	6,65	28,8	365,00	179,00	-	-	ND	ND
Sal SD 2-B	6,33	6,67	30,5	248,30	122,00	-	-	ND	ND
Entrada F 1-3	7,60	6,55	21,9	270,80	133,00	0,00	0,19	16,00	60,00
Entrada F 2-4	5,51	6,55	16,4	250,00	122,00	0,03	0,90	16,00	72,00
F 1-A	36,50	6,68	28,7	287,50	141,00	0,11	0,15	-	-
F 1-B	10,70	6,68	27,0	283,60	139	0,23	0,26	-	-
F 2-A	1,99	6,59	10,2	259,90	127,00	2,03	2,11	-	-
F 2-B	-	-	-	-	-	-	-	-	-
F 3-A	-	-	-	-	-	-	-	-	-
F 3-B	-	-	-	-	-	-	-	-	-
F 4-A	5,97	6,70	17,0	254,10	124,00	1,00	1,64	-	-
F 4-B	6,20	6,65	15,0	284,00	139,00	1,15	1,64	-	-
Tratada	10,80	6,56	27,0	258,20	126,00	1,20	1,43	8,00	62,00

Caudal: 500 L/s

Concentración de sulfato de aluminio: 180 ppm

Caudal de sulfato de aluminio: 4,030 L/min

Concentración de polímero: 0,2 ppm

Flujo másico de polímero: 0,360 kg/h

Flujo másico de cal: 55 kg/h

Flujo másico de cloro: 450 lb/h

Temperatura del agua: 24,9 °C

Fuera de servicio el sedimentador 1

Fuera de servicio filtro 2 y secciones B del filtro

Horas de operación de los filtros.

F-1: 16 horas

F-2: lavado

F-3: lavado

F-4: 20 horas

TABLA A.3 (CONTINUACIÓN)
PARÁMETROS NECESARIOS PARA LA CARACTERIZACIÓN DEL AGUA EN LAS DIFERENTES ETAPAS DEL PROCESO DE LA PLANTA DE AGUA CRUDA I-106 (09/12/2010)

Muestras	Turbidez (N.T.U.)	pH (Adim.)	Color (Pt/Co)	Conductividad (μS/cm)	Sólidos disueltos (ppm)	Cloro Libre (ppm)	Cloro total (ppm)	Alcalinidad (ppm)	Dureza (ppm)
Cruda	260,0	6,31	755,0	186,6	91	0	0	24,00	20,00
Sal M-R	157,0	6,13	426,0	260,0	127	1,07	1,32	52,00	8,00
Sal SD 1-A	7,09	6,82	15,8	262,9	129	-	-	48,00	8,00
Sal SD 1-B	1,75	6,72	10,8	288,3	141	-	-	160,00	82,00
Sal SD 2-A	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Sal SD 2-B	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Ent. F 1-3	2,01	6,96	11,5	281,8	138	0,86	0,91	156,00	100,00
Ent. F 2-4	5,57	6,85	15,3	266,2	130	1,02	1,28	60,00	12,00
F 1-A	5,50	6,60	10,10	265,00	128,00	0,00	0,50	-	-
F 1-B	2,10	6,72	11,10	281,00	140,00	0,73	0,92	-	-
F 2-A	0,28	6,82	13,50	274,50	135,00	0,85	1,20	-	-
F 2-B	1,50	6,90	12,45	281,00	138,00	0,92	1,35	-	-
F 3-A	6,80	6,71	17,50	267,00	130,00	1,01	1,40	-	-
F 3-B	8,90	6,70	17,90	280,00	140,00	0,05	0,80	-	-
F 4-A	0,45	6,75	9,00	262,00	128,00	1,05	1,25	-	-
F 4-B	3,20	6,86	10,00	259,00	125,00	0,90	1,10	-	-
Tratada	3,39	6,70	10,1	276,20	135,00	1,02	1,28	40,00	12,00

Caudal: 350 L/s

Concentración de sulfato de aluminio:
160 ppm

Caudal de sulfato de aluminio: 2,507
L/min

Concentración de polímero: 0,2 ppm

Flujo másico de polímero: 0,240 kg/h

Flujo másico de cal: 42 kg/h

Flujo másico de cloro: 350 lb/s

Temperatura del agua: 24,9 °C

Fuera de servicio el sedimentador 2

Fuera de servicio filtro 1 y secciones B
del resto de los filtros.

Horas de operación de los filtros.

F-1: 30 horas

F-2: 19 horas

F-3: 32 horas

F-4: 14 horas

TABLA A.3 (CONTINUACIÓN)
PARÁMETROS NECESARIOS PARA LA CARACTERIZACIÓN DEL AGUA EN LAS DIFERENTES ETAPAS DEL PROCESO DE LA PLANTA DE AGUA CRUDA I-106 (15/12/2010)

Muestras	Turbidez (N.T.U.)	pH (Adim.)	Color (Pt/Co)	Conductividad (μS/cm)	Sólidos disueltos (ppm)	Cloro Libre (ppm)	Cloro total (ppm)	Alcalinidad (ppm)	Dureza (ppm)
Cruda	39,00	7,00	93,6	290,50	142,00	0,00	0,00	40,00	36,00
Sal M-R	135,00	6,73	340,0	320,00	157,00	1,55	1,90	20,00	40,00
Sal SD 1-A	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Sal SD 1-B	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Sal SD 2-A	16,40	7,70	32,1	327,00	160,00	-	-	80,00	156,00
Sal SD 2-B	5,74	6,90	19,9	350,00	172,00	-	-	28,00	64,00
Ent F 1-3	26,80	8,10	54,6	323,00	158,00	1,10	1,27	72,00	148,00
Ent F 2-4	12,80	7,10	29,0	363,00	178,00	0,93	1,06	28,00	68,00
F 1-A	0,34	7,14	7,2	352,00	172,00	0,0	0,05	-	-
F 1-B	1,62	7,12	14,4	356,00	175,00	0,05	0,9	-	-
F 2-A	2,37	7,11	21,1	377,00	185,00	0,20	0,33	-	-
F 2-B	0,88	7,12	14,7	379,00	286,00	0,45	0,50	-	-
F 3-A	-	-	-	-	-	-	-	-	-
F 3-B	-	-	-	-	-	-	-	-	-
F 4-A	-	-	-	-	-	-	-	-	-
F 4-B	0,61	7,10	15,6	375,00	184,00	0,75	0,91	-	-
Tratada	4,27	7,66	14,6	354,00	174,00	0,88	0,93	20,00	64,00

Caudal: 350 L/s

Concentración de sulfato de aluminio: 80 ppm

Caudal de sulfato de aluminio: 1,612 L/min

Concentración de polímero: 0,2 ppm

Flujo másico de cal: 50 kg/h

Flujo másico de cloro: 350 lb/h

Temperatura del agua: 27,2 °C

Fuera de servicio el sedimentador 1, filtro 3 y sección A del filtro 4

Sin adición de cal en el mezclador 2

Con adición de agua del recuperador de lodos viejo.

Horas de operación de los filtros.

F-1: 22 horas

F-2: 30 horas

F-3: 48 horas

F-4: 8 horas

TABLA A.4
PORCENTAJE DE REMOCIÓN DE ALGUNOS PARÁMETROS EN LAS
DIFERENTES ETAPAS DE LA PLANTA DE AGUA
CRUDA I-106 10/11/2010

Muestras / prueba	Turbidez (T± 0,2) N.T.U	Color (C± 0,01) Pt/Co	Sólidos disueltos (TSD ±0,01) ppm	Alcalinidad (Al ± 2) ppm	Dureza (Dr ± 2) ppm
Ent. SD	-203,5	11,72	-72,97	-	-
Sal SD 1-A	99,4	94,31	-3,13	-	-
Sal SD 1-B	99,4	94,31	-3,13	-	-
Sal SD 2-A	98,0	95,78	-50,00	-	-
Sal SD 2-B	98,2	97,35	-10,94	-	-
Ent. F 1-3	98,4	92,18	-17,19	-	-
Ent. F 2-4	99,2	95,73	-35,94	-	-
F 1-A	86,9	42,42	2,67	-	-
F 1-B	86,7	39,39	-17,33	-	-
F 2-A	73,9	-23,33	11,49	-	-
F 2-B	76,7	35,56	4,60	-	-
F 3-A	-43,5	-69,09	8,00	-	-
F 3-B	-0,2	23,64	9,33	-	-
F 4-A	-	-	-	-	-
F 4-B	-	-	-	-	-
Tratada	97,0	96,49	-124,32	-	-

(-) Prueba no realizada

TABLA A.4 (CONTINUACIÓN)
PORCENTAJE DE REMOCIÓN DE ALGUNOS PARÁMETROS EN LAS
DIFERENTES ETAPAS DE LA PLANTA DE AGUA
CRUDA I-106 11/11/2010

Muestras / prueba	Turbidez ($T \pm 0,01$) N.T.U	Color ($C \pm 0,01$) Pt/Co	Sólidos disueltos ($TSD \pm 0,01$) ppm	Alcalinidad ($Al \pm 2$) ppm	Dureza ($Dr \pm 2$) ppm
Ent. SD	39,2	80,50	-48,72	-	-
Sal SD 1-A	84,4	59,64	0,00	-	-
Sal SD 1-B	84,4	59,64	0,00	-	-
Sal SD 2-A	-	-	-	-	-
Sal SD 2-B	-	-	-	-	-
Ent. F 1-3	81,9	53,05	-236,21	-	-
Ent. F 2-4	88,2	68,02	-39,66	-	-
F 1-A	82,0	25,95	-53,85	-	-
F 1-B	80,6	26,49	57,44	-	-
F 2-A	-46,9	-55,56	11,11	-	-
F 2-B	90,4	95,24	6,17	-	-
F 3-A	-62,2	-64,86	60,51	-	-
F 3-B	9,6	-28,11	47,69	-	-
F 4-A	71,9	-209,52	14,81	-	-
F 4-B	90,03	58,73	-11,11	-	-
Tratada	92,8	92,52	-89,74	-	-

(-) Prueba no realizada

TABLA A.4 (CONTINUACIÓN)
PORCENTAJE DE REMOCIÓN DE ALGUNOS PARÁMETROS EN LAS
DIFERENTES ETAPAS DE LA PLANTA DE AGUA
CRUDA I-106 16/11/2010

Muestras / prueba	Turbidez (T± 0,2) N.T.U	Color (C± 0,01) Pt/Co	Sólidos disueltos (TSD ±0,01) ppm	Alcalinidad (Al ± 2) ppm	Dureza (Dr ± 2) ppm
Ent. SD	23,3	60,07	-82,05	20	-62
Sal SD 1-A	96,9	93,48	0,00	-775	-176
Sal SD 1-B	86,7	80,00	-416,90	-675	-453
Sal SD 2-A	-	-	-	-	-
Sal SD 2-B	-	-	-	-	-
Ent. F 1-3	85,7	77,91	-367,61	-462	-438
Ent. F 2-4	85,3	82,61	-2,82	-487	-150
F 1-A	98,3	81,10	30,12	-	-
F 1-B	98,3	81,10	24,70	-	-
F 2-A	-14,7	-29,50	-12,33	-	-
F 2-B	98,0	81,00	-10,96	-	-
F 3-A	96,4	75,20	72,89	-	-
F 3-B	20,7	42,52	23,49	-	-
F 4-A	24,2	-6,50	-6,85	-	-
F 4-B	62,6	31,00	-12,33	-	-
Tratada	88,5	85,87	-156,41	-40	-250

(-) Prueba no realizada

TABLA A.4 (CONTINUACIÓN)
PORCENTAJE DE REMOCIÓN DE ALGUNOS PARÁMETROS EN LAS
DIFERENTES ETAPAS DE LA PLANTA DE AGUA
CRUDA I-106 17/11/2010

Muestras / prueba	Turbidez (T± 02) N.T.U	Color (C± 0,01) Pt/Co	Sólidos disueltos (TSD ±0,01) ppm	Alcalinidad (Al ± 2) ppm	Dureza (Dr ± 2) ppm
Ent. SD	-20,7	74,42	-65,91	-8	-33
Sal SD 1-A	97,1	76,32	4,11	38	0
Sal SD 1-B	93,9	61,09	-43,84	-146	-87
Sal SD 2-A	-	-	-	-	-
Sal SD 2-B	-	-	-	-	-
Ent. F 1-3	88,8	59,02	-41,10	0	-68
Ent. F 2-4	95,1	69,36	5,48	-8	12
F 1-A	98,3	62,84	-3,88	-	-
F 1-B	97,2	69,27	-394,17	-	-
F 2-A	58,7	86,20	-18,84	-	-
F 2-B	85,8	34,97	-28,99	-	-
F 3-A	97,4	66,97	-10,68	-	-
F 3-B	89,8	64,22	12,62	-	-
F 4-A	30,3	-37,42	-24,64	-	-
F 4-B	-306,7	-152,76	-23,19	-	-
Tratada	94,9	94,47	-104,55	16	-133

(-) Prueba no realizada

TABLA A.4 (CONTINUACIÓN)
PORCENTAJE DE REMOCIÓN DE ALGUNOS PARÁMETROS EN LAS
DIFERENTES ETAPAS DE LA PLANTA DE AGUA
CRUDA I-106 18/11/2010

Muestras / prueba	Turbidez (T± 0,2) N.T.U	Color (C± 0,01) Pt/Co	Sólidos disueltos (TSD ±0,01) ppm	Alcalinidad (Al ± 2) ppm	Dureza (Dr ± 2) ppm
Ent. SD	46,7	63,45	-102,94	20	-60
Sal SD 1-A	98,6	62,45	-13,04	0	-12
Sal SD 1-B	97,3	66,63	-92,75	-200	-162
Sal SD 2-A	-	-	-	-	-
Sal SD 2-B	-	-	-	-	-
Ent. F 1-3	96,3	73,71	-144,93	-275	-175
Ent. F 2-4	96,2	82,62	-5,80	50	-12
F 1-A	91,8	55,92	31,36	-	-
F 1-B	85,0	25,31	32,54	-	-
F 2-A	91,2	33,33	-17,81	-	-
F 2-B	97,1	53,09	-20,55	-	-
F 3-A	91,9	49,80	35,50	-	-
F 3-B	63,3	40,41	31,95	-	-
F 4-A	34,5	-6,79	-21,92	-	-
F 4-B	68,4	45,06	-10,96	-	-
Tratada	98,8	92,59	-164,71	40	-120

(-) Prueba no realizada

TABLA A.4 (CONTINUACIÓN)
PORCENTAJE DE REMOCIÓN DE ALGUNOS PARÁMETROS EN LAS
DIFERENTES ETAPAS DE LA PLANTA DE AGUA
CRUDA I-106 23/11/2010

Muestras / prueba	Turbidez (T± 0,2) N.T.U	Color (C± 0,01) Pt/Co	Sólidos disueltos (TSD ±0,01) ppm	Alcalinidad (Al ± 2) ppm	Dureza (Dr ± 2) ppm
Ent. SD	75,3	87,35	-141,03	80	60,00
Sal SD 1-A	85,2	82,35	2,13	-1500	-1150
Sal SD 1-B	79,5	63,28	-457,45	-4300	-1000
Sal SD 2-A	87,0	76,22	-37,23	-3400	-925
Sal SD 2-B	92,6	81,18	2,13	-100	-50
Ent. F 1-3	90,8	82,52	-32,98	-1150	-675
Ent. F 2-4	90,6	82,02	2,13	-2650	-800
F 1-A	-20,0	17,79	17,60	-	-
F 1-B	67,3	27,88	14,40	-	-
F 2-A	93,6	39,25	21,74	-	-
F 2-B	44,9	34,58	-10,87	-	-
F 3-A	12,3	20,67	16,00	-	-
F 3-B	-	-	-	-	-
F 4-A	63,4	44,86	7,61	-	-
F 4-B	-14,5	4,21	-11,96	-	-
Tratada	95,0	95,99	-161,54	40	-160

(-) Prueba no realizada

TABLA A.4 (CONTINUACIÓN)
PORCENTAJE DE REMOCIÓN DE ALGUNOS PARÁMETROS EN LAS
DIFERENTES ETAPAS DE LA PLANTA DE AGUA
CRUDA I-106 24/11/2010

Muestras / prueba	Turbidez (T± 0,2) N.T.U	Color (C± 0,01) Pt/Co	Sólidos disueltos (TSD ±0,01) ppm	Alcalinidad (Al ± 2) ppm	Dureza (Dr ± 2) ppm
Ent. SD	2,0	67,54	-125,00	33	-60
Sal SD 1-A	98,2	90,57	2,22	-150	-12,
Sal SD 1-B	85,1	75,57	-334,44	-2250	-437
Sal SD 2-A	96,4	88,00	-7,78	-1400	-181
Sal SD 2-B	97,2	89,33	2,22	-50	12
Ent. F 1-3	95,5	90,76	-14,44	-1900	-50
Ent. F 2-4	95,8	90,19	-14,44	-1400	-200
F 1-A	41,7	-14,95	14,56	-	-
F 1-B	23,2	-2,06	23,30	-	-
F 2-A	49,9	26,21	3,88	-	-
F 2-B	16,0	-11,65	2,91	-	-
F 3-A	43,2	2,58	10,68	-	-
F 3-B	-109,9	-79,90	16,50	-	-
F 4-A	23,4	-0,49	2,91	-	-
F 4-B	-172,0	-74,27	1,94	-	-
Tratada	96,9	96,94	-132,50	0	-20

(-) Prueba no realizada

TABLA A.4 (CONTINUACIÓN)
PORCENTAJE DE REMOCIÓN DE ALGUNOS PARÁMETROS EN LAS
DIFERENTES ETAPAS DE LA PLANTA DE AGUA
CRUDA I-106 25/11/2010

Muestras / prueba	Turbidez (T$\pm$ 0,2) N.T.U	Color (C$\pm$ 0,01) Pt/Co	Sólidos disueltos (TSD $\pm$0,01) ppm	Alcalinidad (Al $\pm$ 2) ppm	Dureza (Dr $\pm$ 2) ppm
Ent. SD	10,8	84,60	-75,00	25	-40
Sal SD 1-A	98,6	79,93	0,00	33	-14
Sal SD 1-B	2,0	81,00	-113,10	-733	-257
Sal SD 2-A	97,7	84,93	-14,29	-466	-42
Sal SD 2-B	96,5	81,36	0,00	-66	0
Ent. F 1-3	97,1	85,86	-14,29	-250	-85
Ent. F 2-4	98,4	88,64	0,00	-100	-28
F 1-A	95,0	59,60	1,04	-	-
F 1-B	30,2	32,32	0,00	-	-
F 2-A	-	-	-	-	-
F 2-B	62,6	0,63	-15,48	-	-
F 3-A	88,6	74,75	3,13	-	-
F 3-B	-	-	-	-	-
F 4-A	-65,5	-3,90	-14,29	-	-
F 4-B	-51,3	-8,99	-13,10	-	-
Tratada	98,75	98,77	-95,83	-125	-110

(-) Prueba no realizada

TABLA A.4 (CONTINUACIÓN)
PORCENTAJE DE REMOCIÓN DE ALGUNOS PARÁMETROS EN LAS
DIFERENTES ETAPAS DE LA PLANTA DE AGUA
CRUDA I-106 07/12/2010

Muestras / prueba	Turbidez (T± 0,2) N.T.U	Color (C± 0,01) Pt/Co	Sólidos disueltos (TSD ±0,01) ppm	Alcalinidad (Al ± 2) ppm	Dureza (Dr ± 2) ppm
Ent. SD	19,3	8,03	-120,97	-40	-125
Sal SD 1-A	-	-	-	-	-
Sal SD 1-B	-	-	-	-	-
Sal SD 2-A	94,3	94,60	-56,93	-257	-255
Sal SD 2-B	98,6	97,70	2,19	57	-66
Ent. F 1-3	98,6	98,02	2,19	-185	-33
Ent. F 2-4	98,1	96,22	2,19	-46	-33
F 1-A	-	-	-	-	-
F 1-B	-	-	-	-	-
F 2-A	19,2	52,34	-29,10	-	-
F 2-B	-	-	-	-	-
F 3-A	13,1	-18,99	-5,97	-	-
F 3-B	-	-	-	-	-
F 4-A	42,4	51,75	-24,63	-	-
F 4-B	-	-	-	-	-
Tratada	98,5	97,68	97,68	0,00	-450

(-) Prueba no realizada

TABLA A.4 (CONTINUACIÓN)
PORCENTAJE DE REMOCIÓN DE ALGUNOS PARÁMETROS EN LAS
DIFERENTES ETAPAS DE LA PLANTA DE AGUA
CRUDA I-106 08/12/2010

Muestras / prueba	Turbidez (T± 0,2) N.T.U	Color (C± 0,01) Pt/Co	Sólidos disueltos (TSD ±0,01) ppm	Alcalinidad (Al ± 2) ppm	Dureza (Dr ± 2) ppm
Ent. SD	56,7	55,85	2,70	100	100
Sal SD 1-A	96,1	85,15	-70,83	-	-
Sal SD 1-B	98,4	88,79	-69,44	-	-
Sal SD 2-A	93,5	78,18	-148,61	-	-
Sal SD 2-B	96,0	76,89	-69,44	-	-
Ent. F 1-3	95,2	83,41	-84,72	-275	-33
Ent. F 2-4	96,5	87,58	-69,44	-350	-33
F 1-A	-380,2	-31,05	-6,02	-	-
F 1-B	-40,7	-23,29	-4,51	-	-
F 2-A	63,8	37,80	-4,10	-	-
F 2-B	-	-	-	-	-
F 3-A	-	-	-	-	-
F 3-B	-	-	-	-	-
F 4-A	-8,3	-3,66	-1,64	-	-
F 4-B	-12,5	8,54	-13,93	-	-
Tratada	97,0	90,97	-70,27	-287	33

(-) Prueba no realizada

TABLA A.4 (CONTINUACIÓN)
PORCENTAJE DE REMOCIÓN DE ALGUNOS PARÁMETROS EN LAS
DIFERENTES ETAPAS DE LA PLANTA DE AGUA
CRUDA I-106 09/12/2010

Muestras / prueba	Turbidez (T± 0,2) N.T.U	Color (C± 0,01) Pt/Co	Sólidos disueltos (TSD ±0,01) ppm	Alcalinidad (Al ± 2) ppm	Dureza (Dr ± 2) ppm
Ent. SD	39,6	43,58	-39,56	-116	60
Sal SD 1-A	95,5	96,29	-1,57	7	0
Sal SD 1-B	98,9	97,46	-11,02	-207	-925
Sal SD 2-A	-	-	-	-	-
Sal SD 2-B	-	-	-	-	-
Ent. F 1-3	98,7	97,30	-8,66	98	88
Ent. F 2-4	96,	96,41	-2,36	-15	-50
F 1-A	-173,6	12,17	7,25	-	-
F 1-B	-4,	3,48	-1,45	-	-
F 2-A	94,9	11,76	-3,85	-	-
F 2-B	73,0	18,63	-6,15	-	-
F 3-A	-238,3	-52,17	5,80	-	-
F 3-B	-342,8	-55,65	-1,45	-	-
F 4-A	91,	41,18	1,54	-	-
F 4-B	42,5	34,64	3,85	-	-
Tratada	98,7	98,66	-48,35	-66	40

(-) Prueba no realizada

TABLA A.4 (CONTINUACIÓN)
PORCENTAJE DE REMOCIÓN DE ALGUNOS PARÁMETROS EN LAS
DIFERENTES ETAPAS DE LA PLANTA DE AGUA
CRUDA I-106 15/12/2010

Muestras / prueba	Turbidez (T± 0,2) N.T.U	Color (C± 0,01) Pt/Co	Sólidos disueltos (TSD ±0,01) ppm	Alcalinidad (Al ± 2) ppm	Dureza (Dr ± 2) ppm
Ent. SD	-246,2	-263,25	-10,56	50	-11
Sal SD 1-A	-	-	-	-	-
Sal SD 1-B	-	-	-	-	-
Sal SD 2-A	87,9	90,56	-1,91	-300	-290
Sal SD 2-B	95,8	94,15	-9,55	-40	-60
Ent. F 1-3	80,2	83,94	-0,64	-260	-270
Ent. F 2-4	90,5	91,47	-13,38	-40	-70
F 1-A	98,7	86,81	-8,86	-	-
F 1-B	93,9	73,63	-10,76	-	-
F 2-A	81,5	27,24	-3,93	-	-
F 2-B	93,1	49,31	-60,67	-	-
F 3-A	-	-	-	-	-
F 3-B	-	-	-	-	-
F 4-A	-	-	-	-	-
F 4-B	-	-	-	-	-
Tratada	89,0	84,40	-22,54	50	-77

(-) Prueba no realizada

PROPUESTA N°1

TABLA A.5
PARÁMETROS NECESARIOS PARA LA EVALUACIÓN DE LA CAL COMO AJUSTE
AL pH (ENSAYO1)

Condición óptima de operación del Alumbre				
Concentración del alumbre	Pruebas de jarra			
	Parámetros	1	2	3
	Concentración de sulfato de aluminio (ppm)	40	50	60
	Turbidez (N.T.U.)	5,5	4,28	3,98
pH óptimo	Pruebas de jarra			
	Parámetros	1	2	3
	pH (Adim.)	6,6	7,1	7,6
	Turbidez (N.T.U.)	3,98	2,59	3,56
Concentración óptima de alumbre	Pruebas de jarra			
	Parámetros	1	2	3
	Concentración de sulfato de aluminio (ppm)	40	50	60
	Turbidez (N.T.U.)	0,47	0,17	0,98

pH_{cruda}: 6,66 Adim.

Turbidez agua cruda: 9,73 N.T.U.

pH_{reacción}: 7,1 Adim.

Turbidez agua potable: 2,78 N.T.U.

pH_{operativo}: 8,4 Adim.

pH_{potable}: 7,05 Adim.

Δ pH: 1,3 Adim.

pH_{sobrenadante}: 4,2 Adim. (mejor jarra)

TABLA A.5 (CONTINUACIÓN)
PARÁMETROS NECESARIOS PARA LA EVALUACIÓN DE LA CAL COMO AJUSTE
AL pH (ENSAYO 2)

Condición óptima de operación del Alumbre				
Concentración del alumbre	Pruebas de jarra			
	Parámetros	1	2	3
	Concentración de sulfato de aluminio (ppm)	40	50	60
	Turbidez (N.T.U.)	3,89	3,52	3,24
pH óptimo	Pruebas de jarra			
	Parámetros	1	2	3
	pH (Adim.)	6,5	7,2	7,7
	Turbidez (N.T.U.)	3,98	1,84	3,09
Concentración óptima de alumbre	Pruebas de jarra			
	Parámetros	1	2	3
	Concentración de sulfato de aluminio (ppm)	40	50	60
	Turbidez (N.T.U.)	3,88	1,84	3,09

pH_{cruda}: 6,66 Adim.

Turbidez agua cruda: 9,73 N.T.U.

pH_{reacción}: 7,1 Adim.

Turbidez agua potable: 2,78 N.T.U.

pH_{operativo}: 8,4 Adim.

pH_{potable}: 7,05 Adim.

Δ pH: 1,3 Adim.

pH_{sobrenadante}: 4,2 Adim. (mejor jarra)

TABLA A.5 (CONTINUACIÓN)
PARÁMETROS NECESARIOS PARA LA EVALUACIÓN DE LA CAL COMO AJUSTE
AL pH (ENSAYO 3)

Condición óptima de operación del Alumbre				
Concentración del alumbre	Pruebas de jarra			
	Parámetros	1	2	3
	Concentración de sulfato de aluminio (ppm)	50	60	70
	Turbidez (N.T.U.)	6,8	3,65	2,91
pH óptimo	Pruebas de jarra			
	Parámetros	1	2	3
	pH (Adim.)	6,7	7,0	7,8
	Turbidez (N.T.U.)	1,6	2,07	3,17
Concentración óptima de alumbre	Pruebas de jarra			
	Parámetros	1	2	3
	Concentración de sulfato de aluminio (ppm)	50	60	70
	Turbidez (N.T.U.)	0,41	1,61	2,03

pH_{cruda}: 6,42 Adim.

Turbidez agua cruda: 8,78 N.T.U.

pH_{reacción}: 6,70 Adim.

Turbidez agua potable: 2,96 N.T.U.

pH_{operativo}: 7,9 Adim.

pH_{potable}: 6,92 Adim.

Δ pH: 1,2 Adim.

pH_{sobrenadante}: 5,1 Adim.(mejor jarra)

TABLA A.5 (CONTINUACIÓN)
PARÁMETROS NECESARIOS PARA LA EVALUACIÓN DE LA CAL COMO AJUSTE
AL pH (ENSAYO 4)

Condición óptima de operación del Alumbre				
Concentración del alumbre	Pruebas de jarra			
	Parámetros	1	2	3
	Concentración de sulfato de aluminio (ppm)	50	60	70
	Turbidez (N.T.U.)	6,8	3,65	2,91
pH óptimo	Pruebas de jarra			
	Parámetros	1	2	3
	pH (Adim.)	6,7	7,0	7,8
	Turbidez (N.T.U.)	1,6	2,07	3,17
Concentración óptima de alumbre	Pruebas de jarra			
	Parámetros	1	2	3
	Concentración de sulfato de aluminio (ppm)	50	60	70
	Turbidez (N.T.U.)	3,64	1,64	1,89

pH_{cruda}: 6,42 Adim.

Turbidez agua cruda: 8,78 N.T.U.

pH_{reacción}: 6,70 Adim.

Turbidez agua potable: 2,96 N.T.U.

pH_{operativo}: 7,9 Adim.

pH_{potable}: 6,92 Adim.

Δ pH: 1,2 Adim.

pH_{sobrenadante}: 5,1 Adim.(mejor jarra)

TABLA A.5 (CONTINUACIÓN)
PARÁMETROS NECESARIOS PARA LA EVALUACIÓN DE LA CAL COMO AJUSTE
AL pH (ENSAYO 5)

Condición óptima de operación del Alumbre				
Concentración del alumbre	Pruebas de jarra			
	Parámetros	1	2	3
	Concentración de sulfato de aluminio (ppm)	50	60	70
	Turbidez (N.T.U.)	2,35	3,38	2,65
pH óptimo	Pruebas de jarra			
	Parámetros	1	2	3
	pH (Adim.)	6,5	7,1	7,6
	Turbidez (N.T.U.)	2,35	1,14	0,43
Concentración óptima de alumbre	Pruebas de jarra			
	Parámetros	1	2	3
	Concentración de sulfato de aluminio (ppm)	50	60	70
	Turbidez (N.T.U.)	1,64	1,80	2,1

pH _{cruda}: 6,50 Adim.

Turbidez agua cruda: 6,98 N.T.U.

pH _{reacción}: 6,20 Adim.

Turbidez agua potable: 1,16 N.T.U.

pH _{operativo}: 7,5 Adim.

pH _{potable}: 6,62 Adim.

Δ pH: 1,2 Adim.

pH _{sobrenadante}: 6,20 Adim. (mejor jarra)

TABLA A.5 (CONTINUACIÓN)
PARÁMETROS NECESARIOS PARA LA EVALUACIÓN DE LA CAL COMO AJUSTE
AL pH (ENSAYO 6)

Condición óptima de operación del Alumbre				
Concentración del alumbre	Pruebas de jarra			
	Parámetros	1	2	3
	Concentración de sulfato de aluminio	50	60	70
	Turbidez	8,97	7,04	8,73
pH óptimo	Pruebas de jarra			
	Parámetros	1	2	3
	pH	6,5	7,1	7,6
	Turbidez	6,75	6,25	6,37
Concentración óptima de alumbre	Pruebas de jarra			
	Parámetros	1	2	3
	Concentración de sulfato de aluminio	50	60	70
	Turbidez	5,63	6,17	7,61

pH_{cruda}: 6,54 Adim.

Turbidez agua cruda: 20,0 N.T.U.

pH_{reacción}: 6,50 Adim.

Turbidez agua potable: 1,0 N.T.U.

pH_{operativo}: 7,9 Adim.

pH_{potable}: 7,72 Adim.

Δ pH: 1,3 Adim.

pH_{sobrenadante}: 6,20 Adim. (mejor jarra)

PRUEBAS REALIZADAS A ESCALA LABORATORIO CON LAS CONDICIONES ACTUALES EN PLANTA

Tabla A.6 Parámetros obtenidos de acuerdo a la situación actual de la planta a escala de laboratorio

	ppm de sulfato de aluminio		
Pruebas	50	60	70
Turbidez (N.T.U.)	4,70	4,34	5,82
pH sobrenadante (Adim.)	4,50	4,20	3,90

t_r : 1 min

Mezcla Rápida: 60 rpm

Mezcla Lenta: 30 rpm

Con adición de cal después del coagulante

Polímero en mezcla rápida

pH agua cruda: $(6,76 \pm 0,01)$ Adim.

Turbidez cruda: $(4,00 \pm 0,01)$ N.TU.

Observaciones: Floc según índice de Willcomb: tipo 6

Tabla A.6 Parámetros obtenidos de acuerdo a la situación actual de la planta a escala de laboratorio (continuación).

	ppm de sulfato de aluminio		
Pruebas	50	60	70
Turbidez (N.T.U.)	4,80	4,30	3,95
pH sobrenadante (Adim.)	4,50	4,20	3,90

t_r : 1 min

Mezcla Rápida: 60 rpm

Mezcla Lenta: 30 rpm

Polímero en mezcla rápida

pH agua cruda: $(6,76 \pm 0,01)$ Adim.

Turbidez cruda: $(8,27 \pm 0,01)$ N.TU.

Observaciones: Floc según índice de Willcomb: tipo 6

Tabla A.6 Parámetros obtenidos de acuerdo a la situación actual de la planta a escala de laboratorio (continuación).

	ppm de sulfato de aluminio		
Pruebas	50	60	70
Turbidez (N.T.U.)	5,20	4,15	4,50
pH sobrenadante (Adim.)	4,40	4,25	4,00

t_r : 1 min

Mezcla Rápida: 60 rpm

Mezcla Lenta: 30 rpm

Con adición de cal después del coagulante

Polímero en mezcla rápida

pH agua cruda: (6,66±0,01) Adim.

Turbidez cruda: (6,27±0,01) N.TU.

Observaciones: Floc según índice de Willcomb: tipo 6

Tabla A.6 Parámetros obtenidos de acuerdo a la situación actual de la planta a escala de laboratorio (continuación).

	ppm de sulfato de aluminio		
Pruebas	50	60	70
Turbidez (N.T.U.)	4,85	3,990	5,10
pH sobrenadante (Adim.)	4,30	4,20	3,95

t_r : 1 min

Mezcla Rápida: 60 rpm

Mezcla Lenta: 30 rpm

Con adición de cal después del coagulante

Polímero en mezcla rápida

pH agua cruda: (6,51±0,01) Adim.

Turbidez cruda: (8,00±0,01) N.TU.

Observaciones: Floc según índice de Willcomb: tipo 6

Tabla A.6 Parámetros obtenidos de acuerdo a la situación actual de la planta a escala de laboratorio (continuación).

	ppm de sulfato de aluminio		
Pruebas	50	60	70
Turbidez (N.T.U.)	4,60	2,50	2,90
pH sobrenadante (Adim.)	4,40	4,25	4,00

t_r : 1 min

Mezcla Rápida: 60 rpm

Mezcla Lenta: 30 rpm

Polímero en mezcla rápida

Sin cal

pH agua cruda: (6,76±0,01) Adim.

Turbidez cruda: (8,80±0,01) N.TU.

Observaciones: Floc según índice de Willcomb: tipo 6

Agua + cloro+ NaOH + sulfato de aluminio + polímero

Variando volumen de NaOH a distintos tiempos de agitación

Tabla A.7 Parámetros obtenidos a partir de NaOH/sulfato de aluminio a escala de laboratorio.

	Cantidad de NaOH (mL)		
Pruebas	0,5	0,75	1
pH ajustado (Adim.)	7,10	7,50	8,10
Turbidez (N.T.U.)	5,92	6,15	5,78
pH sobrenadante (Adim.)	4,10	4,25	4,44

ppm de sulfato de aluminio: 60 ppm

t_r : 1 min

Mezcla Rápida: 100 rpm

Mezcla Lenta: 30 rpm

Polímero en mezcla lenta

pH_{agua cruda}: (6,76±0,01) Adim.

Turbidez_{cruda}: (8,27±0,01)N.TU.

Observaciones: Floc según índice de Willcomb: tipo 6

Tabla A.7 Parámetros obtenidos a partir de NaOH/sulfato de aluminio a escala de laboratorio (continuación).

Cantidad de NaOH (mL)			
Pruebas	0,5	0,75	1
pH _{ajustado} (Adim.)	7,10	7,50	8,10
Turbidez (N.T.U.)	5,89	6,75	4,65
pH _{sobrenadante} (Adim.)	4,10	4,25	4,44

ppm de sulfato de aluminio: 60 ppm

t_r: 2 min

Mezcla Rápida: 100 rpm

Mezcla Lenta: 30 rpm

Polímero en mezcla lenta

pH_{agua cruda}: (6,76±0,01) Adim.

Turbidez_{cruda}: (8,27±0,01) N.TU.

Observaciones: Floc según índice de Willcomb: tipo 6

Tabla A.7 Parámetros obtenidos a partir de NaOH/sulfato de aluminio a escala de laboratorio (continuación).

Cantidad de NaOH (mL)			
Pruebas	0,5	0,75	1
Pruebas	7,10	7,50	8,10
pH _{ajustado} (Adim.)	5,89	6,75	4,65
Turbidez (N.T.U.)	4,10	4,25	4,44

ppm de sulfato de aluminio: 60 ppm

t_r : 3 min

Mezcla _{Rápida}: 100 rpm

Mezcla _{Lenta}: 30 rpm

Polímero en mezcla lenta

pH _{agua cruda}: (6,76±0,01) Adim.

Turbidez _{cruda}: (8,27±0,01) N.TU.

Observaciones: Floc según índice de Willcomb: tipo 6

Volumen de NaOH constante, variando la concentración de coagulante

Tabla A.7 Parámetros obtenidos a partir de NaOH/sulfato de aluminio a escala de laboratorio (continuación).

Pruebas	ppm de sulfato de aluminio		
	50	60	70
Turbidez (N.T.U.)	4,15	3,45	5,20
pH sobrenadante (Adim.)	4,95	4,88	4,76

Cantidad de NaOH: 1mL

pH _{ajustado}: (8,10±0,01) Adim.

t_r : 1 min

Mezcla _{Rápida}: 100 rpm

Mezcla _{Lenta}: 30 rpm

Polímero en mezcla lenta

pH _{agua cruda}: (6,76±0,01) Adim.

Turbidez _{cruda}: (8,27±0,01) N.TU.

Observaciones: Floc según índice de Willcomb: tipo 6

Tabla A.7 Parámetros obtenidos a partir de NaOH/sulfato de aluminio a escala de laboratorio (continuación).

	ppm de sulfato de aluminio		
Pruebas	50	60	70
Turbidez (N.T.U.)	5,15	4,50	6,15
pH sobrenadante (Adim.)	4,95	4,88	4,76

Cantidad de NaOH: 1mL

pH_{ajustado}: (8,10±0,01) Adim.

t_r: 3 min

Mezcla_{Rápida}: 100 rpm

Mezcla_{Lenta}: 30 rpm

Polímero en mezcla lenta

pH_{agua cruda}: (6,76±0,01) Adim.

Turbidez_{cruda}: (8,27±0,01) N.TU.

Observaciones: Floc según índice de Willcomb: tipo 6

Agua + cloro + bentonita + sulfato+ polímero+ NaOH

Variando cantidad de bentonita sin NaOH

Tabla A.8 Parámetros obtenidos de bentonita/sulfato de aluminio/NaOH a escala de laboratorio.

	ppm de sulfato de aluminio		
Pruebas	50	60	70
Turbidez (N.T.U.)	1,75	1,36	2,59
pH sobrenadante (Adim.)	5,36	4,65	4,34

Cantidad de bentonita: 1 mL

t_r : 1 min

Mezcla _{Rápida}: 100 rpm

Mezcla _{Lenta}: 30 rpm

Polímero en mezcla lenta

pH _{agua cruda}: (6,51±0,01) Adim.

Turbidez _{cruda}: (8,27±0,01) N.T.U.

pH_{bentonita}: (6,55±0,01) Adim.

Observaciones: Floc según índice de Willcomb: tipo 8

Tabla A.8 Ajuste del agua sobrenadante de la prueba de jarras obtenidas a partir de bentonita/sulfato de aluminio/NaOH (continuación).

Pruebas	Cantidad de bentonita (mL)		
	1	2	3
Turbidez (N.T.U.)	3,27	2,80	2,20
pH sobrenadante (Adim.)	5,00	4,98	4,91

ppm de sulfato de aluminio: 50

t_r : 1 min

Mezcla _{Rápida}: 100 rpm

Mezcla _{Lenta}: 30 rpm

Polímero en mezcla lenta

pH _{agua cruda}: (6,55±0,01) Adim.

Turbidez _{cruda}: (6,27±0,01) N.T.U.

pH_{bentonita}: (6,60±0,01) Adim.

Observaciones: Floc según índice de Willcomb: tipo 6

Tabla A.8 Ajuste del agua sobrenadante de la prueba de jarras obtenidas a partir de bentonita/sulfato de aluminio/NaOH (continuación).

Pruebas	Cantidad de bentonita (mL)		
	1	2	3
Turbidez (N.T.U.)	2,90	1,50	0,85

pH sobrenadante (Adim.)	4,88	4,85	4,81
--------------------------------	------	------	------

ppm de sulfato de aluminio: 60

t_r : 1 min

Mezcla Rápida: 100 rpm

Mezcla Lenta: 30 rpm

Polímero en mezcla lenta

pH agua cruda: (6,55±0,01) Adim.

Turbidez cruda: (6,27±0,01) N.T.U.

pH_{bentonita}: (6,60±0,01) Adim.

Observaciones: Floc según índice de Willcomb: tipo 6

Bentonita constante a 3 mL

Tabla A.8 (Continuación) Parámetros obtenidos de bentonita/sulfato de aluminio/NaOH a escala de laboratorio.

	ppm de sulfato de aluminio		
Pruebas	50	60	70
Turbidez (N.T.U.)	3,25	1,84	1,90
pH sobrenadante (Adim.)	5,36	4,65	4,34

Cantidad de bentonita: 3 mL

t_r : 3 min

Mezcla Rápida: 100 rpm

Mezcla Lenta: 30 rpm

Polímero en mezcla lenta

pH agua cruda: (6,55±0,01) Adim.

Turbidez cruda: (6,27±0,01) N.T.U.

pH_{bentonita}: (6,60±0,01) Adim

Observaciones: Floc según índice de Willcomb: tipo 6

Tabla A.8 Ajuste del agua sobrenadante de la prueba de jarras obtenidas a partir de bentonita/sulfato de aluminio/NaOH (continuación).

	ppm de sulfato de aluminio		
Pruebas	50	60	70
Turbidez (N.T.U.)	2,80	0,84	1,55
pH sobrenadante (Adim.)	5,25	4,55	4,27

Cantidad de bentonita: 3 mL

t_r : 2 min

Mezcla Rápida: 100 rpm

Mezcla Lenta: 30 rpm

Polímero en mezcla lenta

pH agua cruda: (6,55±0,01) Adim.

Turbidez cruda: (6,27±0,01) N.T.U.

pH_{bentonita}: (6,60±0,01) Adim

Observaciones: Floc según índice de Willcomb: tipo 6

Tabla A.8 Ajuste del agua sobrenadante de la prueba de jarras obtenidas a partir de bentonita/sulfato de aluminio/NaOH (continuación).

	ppm de sulfato de aluminio		
Pruebas	50	60	70
Turbidez (N.T.U.)	1,0	0,58	0,90
pH sobrenadante (Adim.)	5,1	5,0	4,92

Cantidad de bentonita: 3 mL

t_r : 1 min

Mezcla Rápida: 100 rpm

Mezcla Lenta: 30 rpm

Polímero en mezcla lenta

pH_{agua cruda}: (6,68±0,01) Adim.

Turbidez_{cruda}: (8,20±0,01) N.T.U.

pH_{bentonita}: (6,60±0,01) Adim

Observaciones: Floc según índice de Willcomb: tipo 8

Tabla A.8 Ajuste del agua sobrenadante de la prueba de jarras obtenidas a partir de bentonita/sulfato de aluminio/NaOH (continuación).

Pruebas	Cantidad de NaOH (mL)		
	1	1,5	2,0
pH _{sobrenadante} (Adim.)	5,1 ⁽¹⁾	5,0 ⁽²⁾	4,92 ⁽³⁾
pH _{sobrenadante(NaOH)} (Adim.)	6,50	7,70	8,40

⁽¹⁾Jarra de 50 ppm de sulfato de aluminio

⁽²⁾Jarra de 60 ppm de sulfato de aluminio

⁽³⁾Jarra de 70 ppm de sulfato de aluminio

Tabla A.8 Ajuste del agua sobrenadante de la prueba de jarras obtenidas a partir de bentonita/sulfato de aluminio/NaOH (continuación)

Pruebas	ppm de sulfato de aluminio		
	50	60	70
Turbidez (N.T.U.)	2,12	0,41	1,43
pH _{sobrenadante} (Adim.)	5,1	5,0	4,70

Cantidad de bentonita: 3 mL

t_r: 2 min

Mezcla Rápida: 100 rpm

Mezcla Lenta: 30 rpm

Polímero en mezcla lenta

pH_{agua cruda}: (6,68±0,01) Adim.

Turbidez_{cruda}: (8,20±0,01) N.T.U.

pH_{bentonita}: (6,60±0,01) Adim

Observaciones: Floc según índice de Willcomb: tipo 8

Tabla A.8 Ajuste del agua sobrenadante de la prueba de jarras obtenidas a partir de bentonita/sulfato de aluminio/NaOH (continuación).

Pruebas	Cantidad de NaOH (mL)		
	1	1,5	2,0
pH _{sobrenadante} (Adim.)	5,1 ⁽¹⁾	5,0 ⁽²⁾	4,70 ⁽³⁾
pH _{sobrenadante} (NaOH) (Adim.)	6,50	7,77	8,48

⁽¹⁾Jarra de 50 ppm de sulfato de aluminio

⁽²⁾Jarra de 60 ppm de sulfato de aluminio

⁽³⁾Jarra de 70 ppm de sulfato de aluminio

Tabla A.8 Ajuste del agua sobrenadante de la prueba de jarras obtenidas a partir de bentonita/sulfato de aluminio/NaOH (continuación).

Pruebas	ppm de sulfato de aluminio		
	50	60	70
Turbidez (N.T.U.)	2,96	1,95	2,0
pH _{sobrenadante} (Adim.)	5,21	5,0	4,88

Cantidad de bentonita: 3 mL

t_r: 3 min

Mezcla_{Rápida}: 100 rpm

Mezcla_{Lenta}: 30 rpm

Polímero en mezcla lenta

pH_{agua cruda}: (6,68±0,01) Adim.

Turbidez _{cruda}: (8,20±0,01) N.T.U.

pH_{bentonita}: (6,60±0,01) Adim

Observaciones: Floc según índice de Willcomb: tipo 8

Tabla A.8 Ajuste del agua sobrenadante de la prueba de jarras obtenidas a partir de bentonita/sulfato de aluminio/NaOH (continuación).

Pruebas	Cantidad de NaOH (mL)		
	1	1,5	2,0
pH _{sobrenadante} (Adim.)	5,21 ⁽¹⁾	5,0 ⁽²⁾	4,88 ⁽³⁾
pH _{sobrenadante} (NaOH) (Adim.)	6,61	7,84	8,40

⁽¹⁾Jarra de 50 ppm de sulfato de aluminio

⁽²⁾Jarra de 60 ppm de sulfato de aluminio

⁽³⁾Jarra de 70 ppm de sulfato de aluminio

Turbidez de agua cruda: 100 N.T.U.

Ensayo 1

Tabla A.8 Ajuste del agua sobrenadante de la prueba de jarras obtenidas a partir de bentonita/sulfato de aluminio/NaOH (continuación).

Pruebas	ppm de sulfato de aluminio		
	50	60	70
Turbidez (N.T.U.)	3,0	0,91	1,47
pH _{sobrenadante} (Adim.)	4,5	4,49	4,20

Cantidad de bentonita: 3 mL

t_r: 2min

Mezcla _{Rápida}: 100 rpm

Mezcla Lenta: 30 rpm

Polímero en mezcla lenta

pH_{agua cruda}: (6,77±0,01) Adim.

pH_{bentonita}: (6,80±0,01) Adim

Observaciones: Floc según índice de Willcomb: tipo 8.

Tabla A.8 Ajuste del agua sobrenadante de la prueba de jarras obtenidas a partir de bentonita/sulfato de aluminio/NaOH (continuación).

Pruebas	Cantidad de NaOH (mL)		
	1	1,5	2,0
pH _{sobrenadante} (Adim.)	4,5 ⁽¹⁾	4,49 ⁽²⁾	4,2 ⁽³⁾
pH _{sobrenadante(NaOH)} (Adim.)	5,20	6,51	7,65

⁽¹⁾Jarra de 50 ppm de sulfato de aluminio

⁽²⁾Jarra de 60 ppm de sulfato de aluminio

⁽³⁾Jarra de 70 ppm de sulfato de aluminio

Agua + cloro + NaOH + PAC + polímero

Tabla A.9 Parámetros obtenidos a partir de NaOH/PAC a escala de laboratorio.

Pruebas	Cantidad de NaOH (mL)		
	0,5	0,75	1
pH _{ajustado} (Adim.)	7,10	7,50	8,10
Turbidez (N.T.U.)	0,97	1,10	2,20
pH _{sobrenadante} (Adim.)	6,20	6,30	6,56

ppm de sulfato de aluminio: 70 ppm

t_r: 1 min

Mezcla Rápida: 100 rpm

Mezcla Lenta: 30 rpm

Polímero en mezcla lenta

pH_{agua cruda}: (6,76±0,01) Adim.

Turbidez_{cruda}: (8,27±0,01) N.T.U.

Observaciones: Floc según índice de Willcomb: tipo 4

Tabla A.9 Parámetros obtenidos a partir de NaOH/PAC a escala de laboratorio (continuación).

Pruebas	Cantidad de NaOH (mL)		
	0,5	0,75	1
pH _{ajustado} (Adim.)	7,10	7,50	8,10
Turbidez (N.T.U.)	0,739	0,89	0,51
pH _{sobrenadante} (Adim.)	6,25	6,30	6,72

ppm de sulfato de aluminio: 70 ppm

t_r: 2 min

Mezcla_{Rápida}: 100 rpm

Mezcla_{Lenta}: 30 rpm

Polímero en mezcla lenta

pH_{agua cruda}: (6,76±0,01) Adim.

Turbidez_{cruda}: (8,27±0,01) N.T.U.

Observaciones: Floc según índice de Willcomb: tipo 4

Tabla A.9 Parámetros obtenidos a partir de NaOH/PAC a escala de laboratorio (continuación).

Pruebas	Cantidad de NaOH (mL)		
	0,5	0,75	1
pH _{ajustado} (Adim.)	7,10	7,50	8,10
Turbidez (N.T.U.)	1,49	2,20	2,33
pH _{sobrenadante}	6,20	6,45	6,88

(Adim.)			
----------------	--	--	--

ppm de sulfato de aluminio: 70 ppm

t_r : 3 min

Mezcla Rápida: 100 rpm

Mezcla Lenta: 30 rpm

Polímero en mezcla lenta

pH agua cruda: (6,76±0,01) Adim.

Turbidez cruda: (8,27±0,01) N.T.U.

Observaciones: Floc según índice de Willcomb: tipo 4

Tabla A.9 Parámetros obtenidos a partir de NaOH/PAC a escala de laboratorio (continuación).

	ppm de PAC		
Pruebas	50	60	70
Turbidez (N.T.U.)	0,55	0,44	0,54
pH sobrenadante (Adim.)	7,00	7,27	7,17

Cantidad de NaOH: 1mL

pH ajustado: (8,10±0,01) Adim.

t_r : 1 min

Mezcla Rápida: 100 rpm

Mezcla Lenta: 30 rpm

Polímero en mezcla lenta

pH agua cruda: (6,76±0,01) Adim.

Turbidez cruda: (8,27±0,01) N.T.U

Observaciones: Floc según índice de Willcomb: tipo 4

Tabla A.9 Parámetros obtenidos a partir de NaOH/PAC a escala de laboratorio (continuación).

	ppm de PAC		
--	------------	--	--

Pruebas	50	60	70
Turbidez (N.T.U.)	0,35	0,56	0,25
pH sobrenadante (Adim.)	7,00	7,15	7,10

Cantidad de NaOH: 1mL

pH_{ajustado}: (8,10±0,01) Adim.

t_r: 2 min

Mezcla Rápida: 100 rpm

Mezcla Lenta: 30 rpm

Polímero en mezcla lenta

pH_{agua cruda}: (6,76±0,01) Adim.

Turbidez_{cruda}: (8,27±0,01) N.T.U

Tabla A.10 Prueba de jarras utilizando PAC como coagulante con las características de la planta

	ppm de sulfato de aluminio		
Pruebas	50	60	70
Turbidez (N.T.U.)	2,30	3,04	2,62
pH sobrenadante (Adim.)	6,10	6,00	6,05

t_r: 1 min

Mezcla Rápida: 100 rpm

Mezcla Lenta: 30 rpm

Polímero en mezcla rápida

pH_{agua cruda}: (6,51±0,01) Adim.

Turbidez_{cruda}: (4,0±0,01) N.T.U

Tabla A.10 Prueba de jarras utilizando PAC como coagulante con las características de la planta (continuación).

	ppm de sulfato de aluminio		
Pruebas	50	60	70

Turbidez (N.T.U.)	4,5	5,6	5,8
pH sobrenadante (Adim.)	6,20	6,05	6,00

t_r : 1 min

Mezcla _{Rápida}: 100 rpm

Mezcla _{Lenta}: 30 rpm

Polímero en mezcla rápida

pH _{agua cruda}: (6,66±0,01) Adim.

Turbidez _{cruda}: (8,0±0,01) N.T.U

APÉNDICE B

A continuación se muestran los cálculos típicos que son necesarios realizar para la obtención de resultados de los objetivos planteados.

1. Cálculo del porcentaje de remoción

$$\%R = \frac{P_i - P_s}{P_i} \cdot 100 \quad (B.1)$$

(CEPIS, s.f)

Donde:

$\%R$: porcentaje de remoción, %

P_i : parámetro de entrada, (depende del parámetro)*

P_s : parámetro de salida, (depende del parámetro)*

*Las unidades de los parámetros dureza, alcalinidad, color, conductividad, turbidez las cuales son: **ppm, APHA, $\mu S/cm$, N.T.U., y Pt/Co**

El error asociado a la variable viene dado por:

$$\Delta \%R = \left(\left| 1 + \frac{P_s}{P_i^2} \right| \Delta P_i + \left| 1 - \frac{1}{P_i} \right| \Delta P_s \right) \cdot 100$$

Haciendo uso de las ecuaciones anteriores se procede a realizar una muestra del cálculo de factor de remoción de la turbidez entre el agua de entrada y salida para el día 10/11/2010

$$\%R = \frac{113 \text{ N.T.U.} - 3,33 \text{ N.T.U.}}{113 \text{ N.T.U.}} \cdot 100$$

$$\%R = 97,05 \%$$

Calculando el error

$$\Delta \%R = \left(\left| 1 + \frac{3,33 \text{ N.T.U.}}{(113 \text{ N.T.U.})^2} \right| 0,001 \text{ N.T.U.} + \left| 1 - \frac{1}{113 \text{ N.T.U.}} \right| 0,001 \text{ N.T.U.} \right) \cdot 100$$

$$\Delta \%R = 0,1991 \%$$

Reportando la variable con su respectivo error se tiene que:

$$\%R = (97,05 \pm 0,20)\%$$

2. Cálculo del caudal

Haciendo referencia la Ecuación 3.1 del capítulo 3, se tiene lo siguiente:

$$Q_i = v \cdot A \cdot Fc_1$$

Para ello es necesario el cálculo del área

$$A = a \cdot h \cdot Fc_3 \quad (B.2)$$

Donde:

A: área húmeda, m².

a: ancho de la canal, cm

h: altura del líquido, cm

Fc₃: factor de conversión 3, 1*10⁻⁴ m²/cm².

Donde el error asociado se muestra:

$$\Delta A = (|h|\Delta a + |a|\Delta h) \cdot Fc_2$$

Para el caso de las entradas a los sedimentadores, la formula varía pues la sección es un trapecio, teniendo lo siguiente:

$$A_e = \frac{(b + B) \cdot h}{2} \cdot Fc_2$$

Donde:

A_e: área húmeda a la entrada a los sedimentadores, m².

b: base menor de la canal, cm

B: base mayor de la canal, cm

h : altura del líquido, cm

El error que relaciona al área trapezoidal viene dado por:

$$\Delta A_s = \left(\left| \frac{(b+B)}{2} \right| \Delta h + \left| \frac{(b+1) \cdot h}{2} \right| \Delta b + \left| \frac{(B+1) \cdot h}{2} \right| \Delta B \right) \cdot Fc_2$$

El error asociado a la velocidad viene dado por la siguiente expresión:

$$\Delta Q_i = (|v| \Delta A + |A| \Delta v) \cdot Fc_1$$

Tomando los valores medidos en campo para el canal de salida de mezcla rápida hacia los sedimentadores se tiene lo siguiente:

$$A = 173 \text{ cm} \cdot 94 \text{ cm} \cdot \frac{1 \text{ m}^2}{100 \text{ cm}^2}$$

$$A = 1,63 \text{ m}^2$$

Obteniendo el error del área:

$$\Delta A = (|94 \text{ cm}| 0,5 \text{ cm} + |173 \text{ cm}| 0,5 \text{ cm}) \cdot \frac{1 \text{ m}^2}{100^2 \text{ cm}^2}$$

$$\Delta A = 0,0134 \text{ m}^2$$

Cálculo del caudal, con una velocidad de 20,00 cm/s se tiene que:

$$Q_i = 0,20 \frac{\text{m}}{\text{s}} \cdot 1,63 \text{ m}^2 \cdot 1000 \frac{\text{L}}{\text{m}^3}$$

$$Q_i = 325,240 \frac{\text{L}}{\text{s}}$$

Obteniendo el error del caudal, se tiene lo siguiente:

$$\Delta Q_i = \left(\left| 0,20 \frac{\text{m}}{\text{s}} \right| \cdot 5 \times 10^{-3} \text{ m} + |1,63 \text{ m}^2| 0,01 \times 10^{-2} \frac{\text{m}}{\text{s}} \right) \cdot 1000 \frac{\text{L}}{\text{m}^3}$$

$$\Delta Q_i = 2,83 \frac{\text{L}}{\text{s}}$$

Reportando el caudal con el error, resulta a continuación:

$$Q_i = (325 \pm 3) \frac{\text{L}}{\text{s}}$$

3. Cálculo del caudal del sulfato de aluminio

Utilizando la Ecuación 4.1 del capítulo 4, considerando un caudal de entrada de 400L/s y la concentración de 60ppm en sulfato de aluminio, se tiene a continuación lo siguiente:

$$Q_{SA} = \frac{\left(60 \frac{g}{m^3}\right) \cdot \left(0,4 \frac{m^3}{s}\right) \cdot \left(60 \frac{s}{min}\right)}{1340 \frac{g}{L}}$$

$$Q_{SA} = 1,07 \frac{L}{min}$$

De igual forma se procede con 50 ppm y el caudal del coagulante es igual a:

$$Q_{SA} = 0,90 \frac{L}{min}$$

4. Cálculo del porcentaje de ahorro de sulfato de aluminio

$$\%Ahorro = \left(\frac{Q_{60ppm} - Q_{50ppm}}{Q_{60ppm}} \right) \cdot 100 \quad (B.3)$$

Donde:

%Ahorro: porcentaje de ahorro en sulfato de aluminio, %

Sustituyendo los caudales de coagulante se obtiene lo siguiente:

$$\%Ahorro = \left(\frac{1,07 \frac{L}{min} - 0,9 \frac{L}{min}}{1,07 \frac{L}{min}} \right) \cdot 100$$

$$\%Ahorro = 16,677 \cong 17\%$$

5. Cálculo del tiempo residencia

Haciendo uso de la Ecuación de 3.3 del capítulo 3 se determina el tiempo de residencia de acuerdo al caudal de entrada de 400L/s y el volumen efectivo en planta de 57.000L.

$$t_r = \frac{57.000 \text{ L}}{400 \frac{\text{L}}{\text{s}}}$$

$$t_r = 144,5 \text{ s} \cong 2,0375 \text{ min} \approx 2 \text{ min}$$

6. Cálculo del pH operativo

De la ecuación 3.2 del capítulo 3, utilizando los resultados obtenidos para el ensayo 4, siendo el ΔpH 1,2 con un pH de reacción obtenido igual a $(6,70 \pm 0,01)$ Adim., con lo que se tiene:

$$\text{pH}_{\text{operativo}} = 6,70 + 1,20$$

$$\text{pH}_{\text{operativo}} = 7,90$$

7. Relación costo-beneficio

Para la determinación del costo se consideró el gasto de la implementación (Costos_i) y el egreso anual del mantenimiento (Costos_m) y parte de los insumos que la alternativa necesita (electricidad, aire para instrumento) los cuales no son tan significativos

$$\text{Costos} = \text{Costo}_i + \text{Costo}_m \quad \text{Ec.B.4}$$

$$\text{Costos} = 39.678,09 \frac{\text{Bs}}{\text{año}} + 24.484,92 \frac{\text{Bs}}{\text{año}}$$

$$\text{Costos} = 64.161,00 \frac{\text{Bs}}{\text{año}}$$

El beneficio se determinó como la variación del costo del sulfato de aluminio de acuerdo a la concentración actual y la propuesta:

$$\text{Beneficio} = \text{Costo}_{60\text{ppm}} - \text{Costo}_{50\text{ppm}} \quad (\text{B.5})$$

$$\text{Beneficio} = 733.265,19 \frac{\text{Bs}}{\text{año}} - 611.054,33 \frac{\text{Bs}}{\text{año}}$$

$$\text{Beneficio} = 122.210,87 \frac{\text{Bs}}{\text{año}}$$

Por tanto, la relación costo-beneficio de acuerdo a la Ecuación 3.5 del capítulo 3, se tiene que:

$$R_{C-B} = \frac{64.161,00 \frac{\text{Bs}}{\text{año}}}{122.210,87 \frac{\text{Bs}}{\text{año}}}$$

$$R_{C-B} = 0,525 \text{ Adim.}$$

APÉNDICE C

A continuación se muestran las metodologías utilizadas para la caracterización físico-química del agua

ALCALINIDAD TOTAL

Cantidad	Contenido	Código del reactivo
50	Tabletas indicadoras BCG-Mr	T-2311-H
60 mL	*Reactivo B de titulación de alcalinidad	*4493DR-H
1	Titulador de lectura directa	0382

1. Llene el tubo de ensayo (0778) hasta la línea de 5 mL con la muestra de agua.
2. Agregue la Tableta Indicadora BCG-Mr (T-2311-H).
3. Coloque la tapa y mezcle hasta que la tableta se disuelva. La solución se volverá azul-verde.
4. Llene el titulador de lectura directa con el reactivo titulador de alcalinidad B (4493DR-H).
5. Inserte el Titulador en el agujero central de la tapa del tubo de ensayo.
6. Mientras mueve suavemente el tubo, presione con cuidado el émbolo para titular hasta que el color de la solución cambie de azul a morado-violeta.
7. Lea el resultado de la prueba en el lugar en donde la punta del émbolo se junta con la escala del titulador. Registre como alcalinidad total ppm en carbonato de calcio ppm (CaCO_3).

Nota: Si la punta del émbolo llega al fondo de la línea en la escala (200 ppm) antes que ocurra el cambio de color en punto final, llene de nuevo el titulador y continúe la titulación.

Cuando registre el resultado de la prueba, asegúrese de incluir el valor de la cantidad original del reactivo dispensado (200 ppm).

DUREZA TOTAL

Cantidad	Contenido	Código del reactivo
15 mL	Reactivo de dureza # 5	4483-E
100 mL	Reactivo de dureza #6 en tabletas	4484-J
60 mL	Reactivo de dureza # 7	4487DR-H
1	Titulador de Lectura Directa, rango 0-200	0382

1. Llene el tubo de ensayo (0608) hasta la línea de 12,9 mL con la muestra de agua.
2. Agregar 5 gotas de reactivo de dureza # 5 (4483), agite para mezclar.
3. Agregar una tableta de reactivo de dureza # 6 (4484). Coloque la tapa y mezcle hasta que la tableta se disuelva. La solución se volverá roja.
4. Llene el titulador de lectura directa (0382) con el reactivo de dureza # 7 (4487DR).
5. Inserte el Titulador en el agujero central de la tapa del tubo de ensayo.
6. Mientras mueve suavemente el tubo, presione con cuidado el émbolo para titular hasta que el color de la solución cambie de azul-verde a rosado.
7. Lea el resultado de la prueba en el lugar en donde la punta del émbolo se junta con la escala del titulador. registre como dureza total ppm en carbonato de calcio ppm (CaCO_3).

TURBIDEZ, COLOR y CLORO

TURBIDEZ

1. Se toma el tubo de ensayo de medida y se cura con la muestra de agua a testear.
2. Se añade la muestra al tubo de ensayo, sellar el tubo. Secar el tubo a fondo una con un paño sin pelusas.

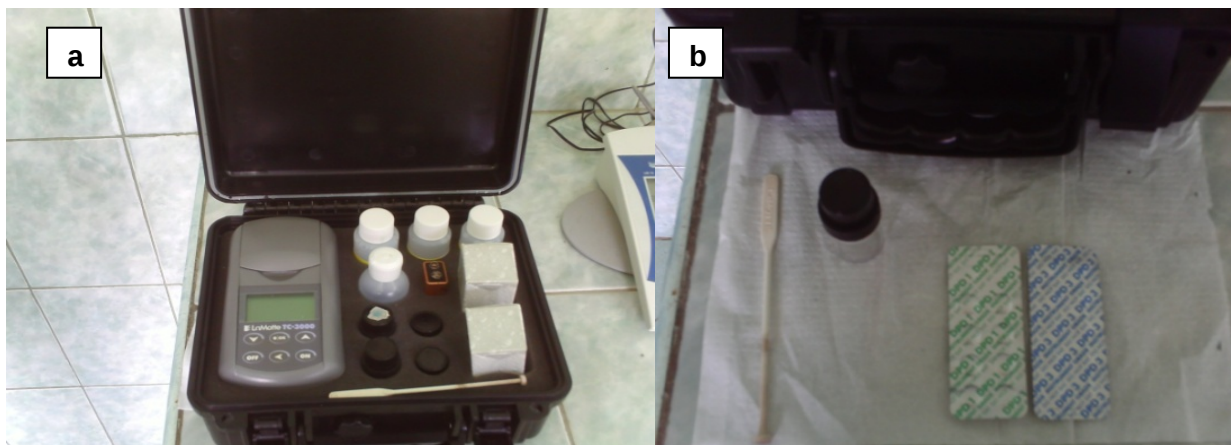


Figura C.1 (a)Equipo TC -3000 colorímetro. (b) Reactivos y accesorios para medición de cloro

3. Abrir la tapa del aparato de medida e introducir el tubo de ensayo en la cámara y alinear de acuerdo a la marca. Cerrar el aparato.
4. Esperar que se estabilice la medida y tomar la medición de turbidez arrojada en N.T.U.

COLOR

1. Pulsar ON para encender el aparato de medida.
2. Pulsar *IOK para seleccionar Medida.
3. Hacer desfilar el menú hacia abajo y pulsar *IOK para seleccionar Color.
4. Enjuagar el tubo de ensayo con agua destilada y luego llenar el tubo hasta la marca. Secar el tubo con un paño sin pelusas. Sellar el tubo.
5. Introducir el tubo de ensayo y presionar la opción medir blanco.
6. Luego vaciar el tubo y repetir el paso 4 para la muestra a testear.
7. Seguidamente introducir el tubo de ensayo con la muestra a medir, seleccionar en el aparato Medir Muestra y presionar *IOK y leer la medida arrojada en unidades Pt/Co.

COLORO LIBRE Y TOTAL

Cantidad	Contenido	Código del reactivo
100 unidades	Comprimido de cloro DPD #1	6903
100 unidades	Comprimido de cloro DPD # 3	6197
1	Pilón para comprimidos	0175

1. Se toma el tubo de ensayo y se llena con la muestra testear hasta la marca.
2. Encender el equipo y seleccionar medir cloro libre
3. Introducir el tubo en el aparato alineando la muesca del tubo con la del equipo y presionar medir blanco.
4. Sacar el tubo del equipo de medición y retirar parte del agua de muestra. Seguidamente se debe tomar un comprimido de cloro DPD # 1 e introducir lo y presionar con el pilón de comprimidos. Hasta que se disuelva y la solución se torne color rosa. Llenar el tubo de ensayo hasta la marca de su capacidad.
5. Introducir nuevamente el tubo de ensayo en la cámara del aparato de medición, presionar Ok, medir cloro libre.
6. Retirar el tubo de ensayo y tomar el comprimido de cloro DPD # 3, introducirlo en él y con ayuda del pilón de comprimidos presionar hasta total disolución.
7. Introducir nuevamente el tubo de ensayo en la cámara del aparato de medición, presionar Ok, medir cloro total.

CONDUCTIVIDAD Y PH

1. Se procede a lavar el electrodo del equipo con agua destilada y a limpiar con mucho cuidado la parte externa del mismo con una toalla suave.
2. Luego se introduce el electrodo en el envase de la muestra a testear, para el caso de la conductividad se presiona *|print para leer medida y con el cursor se toma nota también de los sólidos totales disueltos (TSD). Para el pH se deja hasta que el equipo arroje la medida hasta que estabilice.
3. Se toma nota de la temperatura del agua.

4. Retirar el electrodo y enjuagar con agua destilada e introducirlo en un recipiente con agua para evitar que este se dañe.

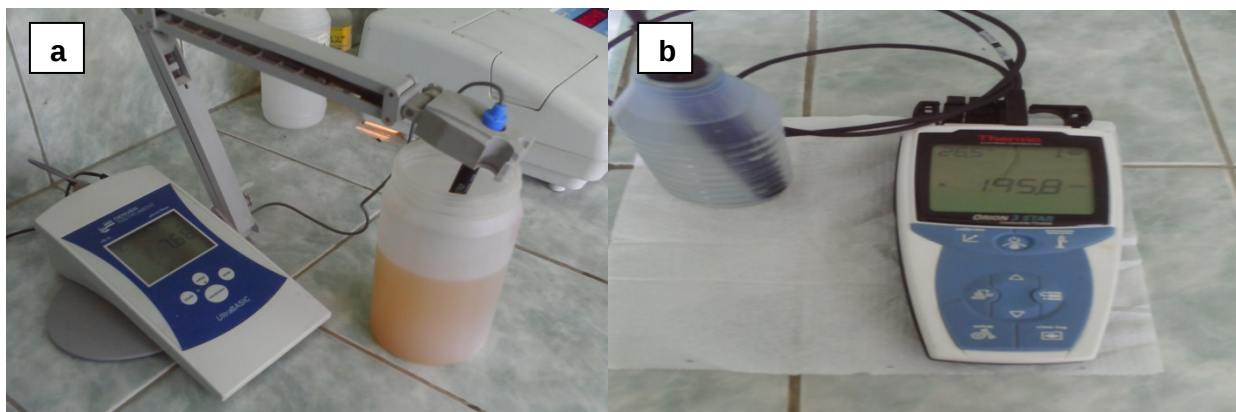


Figura C.2 (a) pH metro. (b) Medidor de conductividad y sólidos totales disueltos.

APÉNDICE D

A continuación se presenta material de apoyo necesario para el desarrollo del trabajo de investigación

DOSIFICACION DE POLIELECTROLITO													
10 KG EN 10 M ³													
GASTO L/SEG	COAGULACION PARTES POR MILLON						GASTO L/SEG	COAGULACION PARTES POR MILLON					
	0.05	0.10	0.15	0.20	0.01	0.02		0.05	0.10	0.15	0.20	0.01	0.02
200	100	50	33	25	500	250	700	280	140	95	70	142	71
	0.036	0.072	0.109	0.144	0.007	0.014		0.128	0.257	0.379	0.514	0.026	0.052
250	80	40	27	20	400	200	750	260	130	89	65	133	66
	0.045	0.090	0.133	0.180	0.009	0.018		0.188	0.277	0.404	0.554	0.028	0.056
300	66	33	22	17	333	166	800	250	125	83	62	125	62
	0.055	0.109	0.164	0.212	0.011	0.022		0.144	0.288	0.434	0.576	0.029	0.058
350	58	29	19	15	286	143	850	234	117	78	58	118	59
	0.062	0.124	0.189	0.240	0.012	0.024		0.154	0.308	0.461	0.616	0.030	0.060
400	50	25	17	12	250	125	900	222	111	74	55	111	55
	0.072	0.144	0.212	0.300	0.014	0.028		0.162	0.324	0.486	0.648	0.032	0.064
450	44	22	15	11	222	111	950	210	105	70	52	105	52
	0.082	0.164	0.240	0.327	0.016	0.032		0.171	0.343	0.514	0.686	0.034	0.068
500	40	20	13	10	200	100	1000	200	100	67	50	100	50
	0.090	0.180	0.277	0.360	0.018	0.036		0.180	0.360	0.537	0.720	0.036	0.072
550	36	18	12	9	182	91	1050	190	95	63	47	95	47
	0.100	0.200	0.300	0.400	0.020	0.040		0.189	0.379	0.571	0.758	0.038	0.076
600	34	17	11	8.5	167	83	1100	18.2	91	60	45	91	45
	0.106	0.212	0.327	0.424	0.021	0.042		0.198	0.396	0.600	0.792	0.040	0.080
650	30	15	10	7.5	154	77							
	0.120	0.240	0.360	0.480	0.024	0.048							

1cm³ = 1 mg de polielectrolito
 SEG. PARA APLICAR 1 LITRO
 KGS. POLIELECTROLITO/ HORA

Figura D.1 Dosificación del polímero ayudante a la floculación en la Planta de Agua Cruda I-106

Tabla D.1 Parámetros de diseño involucrados en cada una de la etapas de la Planta de Agua Cruda I-106

PLANTA DE AGUA CRUDA I-106	Servicios Industriales- Complejo Petroquímico Morón 
INFORMACIÓN DE DISEÑO	
MEZCLADORES RÁPIDOS	Tipo: mezclador mecánico (M-1, M-2, M-3 y M-4) Dimensiones: 3,5mx3,5mx5,25m Volumen: 64,3 m³/ Volumen efectivo: 57,0 m³ Agitador(es) : cuatro (4) (AG-1, AG-2, AG-3 y AG-4) Tipo de propelas a lo largo de un eje vertical Motor 10 hp y 7 kVA Coagulación: 100 rpm por un (1) minuto Aditivos: Sulfato de aluminio, polímero y cloro gas. (lechada de cal en oportunidades)
SEDIMENTADORES	Tipo: Permutit (SD-1 y SD-2) Volumen: 954 m³ Floculación: 30 rpm por tres (30) minutos Dos agitadores (AG-12 y AG-13): 10 hp Dos (2) bombas de lodo: 5 hp Carga: 4,12 m³/ m²/h ó 1.7 gal/min/pie². Tubos inclinados: Tipo tube-settlers Sección 5cm x 5 cm 60° de inclinación y 0,6m de largo Dos (2) bombas (PC-17 y PC-18) de descarga de lodos de tipo de descarga variable de 450gpm y 7 kVA c/u Dos (2) válvulas neumáticas: una reinyección de agua y otra descarga de lodos para cada SD Aditivos: lechada de cal en los canales de salida de los sedimentadores
FILTROS RÁPIDOS	Tipo: convencional (F-1, F-2, F-3 y F-4) Dimensiones: 6,5mx11,50Mx4,83m Carga: 4 gal/min/pie² Material filtrante: Arena Grava Antracita

Fuente: Hurtado y asociados, 1973.

GACETA OFICIAL

Portavoz de Venezuela 8.

16 FEB 1998

DE LA REPUBLICA DE VENEZUELA

AÑO CXXV — MES V

Caracas, viernes 13 de febrero de 1998

Número 36.395

SUMARIO

Ministerio de Hacienda

Resolución por la cual se designa Asesora Legal de la Contraloría Interna, a partir del 1° de enero de 1998, a la ciudadana Belkis Orta de Alvarez.

Resolución por la cual se designa Directora de Control Previo de la Contraloría Interna, a partir del 1° de enero de 1998, a la ciudadana Irama Suárez de Medina.

Resolución por la cual se designa Directora Adjunta al Contralor Interno, a partir del 1° de enero de 1998, a la ciudadana Elinor Josefina Zapata Pérez.

Resolución por la cual se designa Director de Control Posterior de la Contraloría Interna, a partir del 16 de diciembre de 1997, al ciudadano Miguel Hung Perdomo.

Oficina Central de Presupuesto

Resolución por la cual se incorporan al Plan Único de Cuentas los conceptos que en ella se señalan.

Superintendencia de Seguros

Providencia por la cual se revoca la autorización otorgada a la empresa "Sociedad de Corretaje de Seguros La Promotora, C.A.".

Providencia por la cual se dispone que las empresas de seguros autorizadas para operar como fiduciarias deberán remitir la información de los contratos de fideicomiso celebrados y los datos estadísticos a que hacen referencia los formularios que se publican conjuntamente con la presente.

Serizit

Providencia por la cual se concede a la empresa Almacenadora Dima, C.A., autorización para establecer y operar un almacén general de depósito.

Providencia por la cual se otorga a la firma Inversiones Machine, C.A., autorización para actuar como Agente de Aduanas, con carácter permanente, ante la Gerencia de Aduana Principal de Puerto Cabello.

Comisión Nacional de Valores

Resolución por la cual se autoriza la oferta pública de las acciones a ser emitidas con ocasión del cambio de valor nominal de las acciones que representan el capital social de C.A. La Electricidad de Guaremas y Guatire.

Ministerios de Hacienda y de Industria y Comercio

Resolución por la cual se modifica el artículo 9 del Decreto N° 989 de fecha 20-12-95, mediante el cual se promulgó el Arancel de Aduanas, en los términos que en ella se indican. *La modificación consiste en elevar los importes de mercancías originarias de Perú al programa de desgravación establecido mediante Dec. 2365 de fecha 31-01-98.*

Superintendencia Nacional de Cooperativas

Resolución por la cual se autoriza definitivamente el funcionamiento de la Asociación Cooperativa de Transporte de Carga "Los Dinamiteros".

Ministerio de Educación

Resolución por la cual se corrige parcialmente la Resolución N° 666 de fecha 06 de julio de 1990, publicada en la Gaceta Oficial N° 34.509 del 13 de julio del mismo año, en los términos que en ella se especifican.

Resolución por la cual se confiere la Condecoración de la Orden Andrés Bello en su Clase Banda de Honor al ciudadano Ricardo E. Alegria.

Consejo Nacional de Universidades

Resolución por la cual se aprueba la distribución del Aporte Anual del Ejecutivo Nacional para las Universidades Nacionales a ser ejecutado en el Ejercicio Fiscal 1998.

Ministerio de Sanidad y Asistencia Social

Resolución por la cual se dictan las "Normas Sanitarias de Calidad del Agua Potable".

Ministerio del Ambiente y de los Recursos Naturales Renovables

Resolución por la cual se delega en los Directores de Región de este Despacho, la atribución de suscribir Contratos para Ejecución de Obras, de Mantenimiento, Ampliación, Mejoras y Reparaciones de Obras hasta por un monto que comprenda Diez Mil Unidades Tributarias.

Resolución por la cual se ordena la publicación del texto íntegro del Acuerdo Intergubernamental para la Creación del Comité Responsable de la Supervisión y Ejecución del Plan de Contingencia y Recuperación del Sistema de Abastecimiento de Aguas Tulé-Maracaibo-El Tablazo.

Resolución por la cual se designa a partir del día 12 de enero de 1998, a la ciudadana Licenciada Yolanda Ceballos Martínez, Directora Encargada de la Dirección de Servicios Administrativos, de este Ministerio.

Resolución por la cual se designa Directora General del Servicio Autónomo para la Restauración, Fomento y Racional Aprovechamiento de la Fauna Silvestre y Acuática del País (Profauna) a la Licenciada Mirna Quero de Peña. (Se reimprime por error material del ente emisor).

Consejo de la Judicatura

Resolución por la cual se designa a la abogada Luisa Ochoa de Sifontes, Sustanciadora Encargada del Tribunal Disciplinario del Organismo.

Resolución por la cual se dicta el Instructivo para el Otorgamiento de Ayudas Económicas para los Empleados del Consejo de la Judicatura, Defensorías Públicas y Tribunales de la República.

Avisos

MINISTERIO DE HACIENDA

REPUBLICA DE VENEZUELA
MINISTERIO DE HACIENDA

N° 3818
Caracas, 11/02/1998
187° y 138°

Resolución:

De conformidad con la atribución conferida en el artículo 36 de la Ley de Carrera Administrativa, en concordancia con el artículo 6° ejusdem, se designa Asesora Legal de la Contraloría Interna, a partir del 1° de enero de 1998, a la ciudadana Belkis Orta de Alvarez, cédula de identidad N° 3.575.717.

Comuníquese y publíquese,

FREDDY ROJAS PARRA
Ministro de Hacienda

c/ Calle
Juanes

- Diseño de Modas: Menciones:

- Ropa
- Mercadeo y Ventas
- Textiles
- Accesorios

- Diseño Ambiental: Menciones:

- Diseño de Espacios Interiores
- Diseño de Muebles
- Diseño de Vitruinas y Exposiciones
- Diseño de Escenografía

- Diseño Gráfico

Publicitario:

Menciones:

- Diseño Gráfico Creativo
- Diseño Gráfico Técnico
- Diseño Gráfico Computarizado

- Diseño de Joyas y Fantasías:

Menciones:

- Joyas
- Fantasías
- Orfebrería
- Mercadotecnia

ARTICULO 2° Los alumnos que aprueben el Plan de Estudios correspondiente a las especialidades autorizadas y cumplan con los requisitos establecidos o que se establezcan tendrán derecho a que les otorgue el título de Técnico Superior en la especialidad y mención correspondiente.

COMUNIQUESE Y PUBLIQUESE,

Pdo. GUSTAVO ROOSEN
Ministro de Educación

REPÚBLICA DE VENEZUELA - MINISTERIO DE EDUCACIÓN - DIRECCIÓN GENERAL
RESOLUCIÓN N° 227 CARACAS, 11 DE FEBRERO DE 1998

186° Y 137°

RESUELTO

Por disposición del ciudadano Presidente de la República, oída la opinión del Consejo de la "Orden de Andrés Bello" y cumplidas como han sido las demás formalidades legales y reglamentarias pertinentes, se confiere la Condecoración de la Orden en su(s) Clase(s) BANDA DE HONOR al ciudadano RICARDO E. ALEGRIA.

Comuníquese y Publíquese.

ANTONIO LUIS CARDENAS C.
Ministro de Educación

REPÚBLICA DE VENEZUELA, CONSEJO NACIONAL DE UNIVERSIDADES
SECRETARIADO PERMANENTE, Nro 04., CARACAS, 09 Febrero 1998

El Consejo Nacional de Universidades, en el ejercicio de la competencia que tiene atribuida conforme a lo dispuesto en el numeral 8 del artículo 20 de la Ley de Universidades, en la sesión extraordinaria celebrada el día 30 de enero de 1998.

RESUELVE

Aprobar la distribución del Aporte Anual del Ejecutivo Nacional para las Universidades Nacionales a ser ejecutado en el Ejercicio Fiscal 1998, tal y como se copia a continuación:

UNIVERSIDADES	BOLIVARES
Universidad Central de Venezuela	106.810.926.899,00
Universidad de Los Andes	63.949.709.040,00
Universidad del Zulia	66.363.574.847,00
Universidad de Carabobo	58.963.125.546,00
Universidad de Oriente	44.106.896.500,00
Universidad Nacional Experimental "Lisandro Alvarado"	26.268.848.751,00
Universidad Nacional Experimental "Simón Bolívar"	30.015.313.618,00
Universidad Nacional Experimental "Simón Rodríguez"	13.106.266.077,00
Universidad Nacional Experimental del Táchira	8.463.223.974,00
Universidad Nacional Experimental "Ezequiel Zamora"	12.442.878.831,00
Universidad Nacional Abierta	10.715.140.119,00
Universidad Nacional Experimental "Francisco de Miranda"	8.788.922.681,00
Universidad Nacional Experimental "Rómulo Gallegos"	5.584.062.589,00
Universidad Nacional Experimental de Guayana	5.058.960.440,00
Universidad Nacional Experimental "Rafael María Baralt"	5.598.745.716,00
Universidad Pedagógica Experimental "Libertador"	50.149.120.154,00

Universidad Nacional Experimental Politécnica "Antonio José de Sucre" 16.033.985.503,00

SUB-TOTAL 532.419.711.285,00
GASTOS CENTRALIZADOS EN 9.146.824.715,00

EL PRESUPUESTO DEL SERVICIO AUTÓNOMO
OFICINAS TÉCNICAS DEL CNU.

TOTAL..... 541.566.536.000,00

COMUNIQUESE Y PUBLIQUESE.

ANTONIO LUIS CARDENAS
Ministro de Educación
Presidente Consejo Nacional de Universidades

MARIA EUGENIA MORALES G.
Secretaría Permanente

**MINISTERIO DE SANIDAD
Y ASISTENCIA SOCIAL**

REPÚBLICA DE VENEZUELA

MINISTERIO DE SANIDAD Y ASISTENCIA SOCIAL

NUMERO SG-018-98

11 DE 02 DE 1998
187° Y 138°

Por disposición del Ciudadano Presidente de la República y de conformidad con el artículo 30, ordinal 7° de la Ley Orgánica de la Administración Central y en concordancia con los artículos 2 y 10 de la Ley de Sanidad Nacional,

RESUELVE

Dictar las siguientes

"NORMAS SANITARIAS DE CALIDAD DEL AGUA POTABLE"

Capítulo I

Disposiciones preliminares

Artículo 1.- El objetivo de las "Normas Sanitarias de Calidad del Agua Potable" es establecer los valores máximos de aquellos componentes o características del agua que representan un riesgo para la salud de la comunidad, o inconvenientes para la preservación de los sistemas de almacenamiento y distribución del líquido, así como la regulación que asegure su cumplimiento.

Artículo 2.- Están sujetos al cumplimiento de las presentes Normas los entes responsables de los sistemas de abastecimiento de agua potable públicos o privados

Artículo 3.- A los efectos de la interpretación y aplicación de estas Normas, se establecen los siguientes criterios:

Autoridad Sanitaria Competente: Ente Regional adscrito a la Unidad Sanitaria Regional, dependiente del Ministerio de Sanidad y Asistencia Social.

Valor Máximo Aceptable: Es el establecido para la concentración de un componente que no representa un riesgo significativo para la salud o rechazo del consumidor, teniendo en cuenta el consumo de agua durante toda su vida. (OPS/OMS).

Bacterias Coliformes Termorresistentes: Grupo de organismos coliformes que pueden fermentar la lactosa a 44-45°C; comprenden el género *Escherichia* y en menor grado, especies de *Klebsiella*, *enterobacter* y *citrobacter*.

Componentes Organolépticos: Sustancias y/o elementos que proporcionan al agua características físicas percibibles por el consumidor. (color, olor, sabor, temperatura).

Sitios Representativos del Sistema de Abastecimiento de Agua Potable: Se consideran así al efluente de la planta de tratamiento, alimentadores principales y secundarios, ramales abiertos y cerrados, estaciones de bombeo y estanques de almacenamiento.

USA/mL: Unidad de área equivalente a 400 μm^2 .

Artículo 4.- El agua potable debe cumplir con los requisitos microbiológicos, organolépticos, físicos, químicos y radiactivos que establecen las presentes Normas.

Artículo 5.- Cuando el agua que se destine al suministro como potable no cumpla con los requisitos establecidos en las presentes Normas, el responsable del sistema de abastecimiento respectivo deberá aplicar el tratamiento que la haga apta para dicho uso.

Artículo 6.- El agua potable destinada al abastecimiento público deberá contener en todo momento una concentración de cloro residual libre en cualquier punto de la red de distribución de 0,3 y 0,5 mg/L.

Artículo 7.- Cuando se excede un Valor Máximo Aceptable en estas Normas, el ente responsable del sistema de abastecimiento de agua potable debe investigar la causa, informar a la Autoridad Sanitaria Competente y tomar las medidas correctivas.

Capítulo II

De los aspectos microbiológicos

Artículo 8.- El ente responsable del sistema de abastecimiento de agua potable debe asegurar que ésta no contenga microorganismos transmisores o causantes de enfermedades, ni bacterias coliformes termorresistentes (coliformes fecales), siguiendo como criterio de Evaluación de la Calidad Microbiológica la detección del grupo coliforme realizada sobre muestras representativas captadas, preservadas y analizadas según lo establecido en las presentes Normas.

Artículo 9.- Los resultados de los análisis bacteriológicos del agua potable deben cumplir los siguientes requisitos:

- Ninguna muestra de 100 mL, deberá indicar la presencia de organismos coliformes termorresistentes (coliformes fecales).
- El 95% de las muestras de 100 mL, analizadas en la red de distribución no deberá indicar la presencia de organismos coliformes totales durante cualquier período de 12 meses consecutivos.
- En ningún caso deberá detectarse organismos coliformes totales en dos muestras consecutivas de 100 mL, provenientes del mismo sitio.

Artículo 10.- El agua potable no debe contener agentes patógenos: *Virus*, *Bacterias*, *Hongos*, *Protozoarios*, ni *Helminetos*.

Artículo 11.- El agua potable no debe contener organismos heterótrofos aerobios en densidad mayor a 100 $\mu\text{fc/mL}$.

Artículo 12.- La cantidad total de plancton presente en el agua potable, en ningún caso debe exceder de 300 unidades estándar de área por mL (USA/mL).

Artículo 13.- El ente responsable del sistema de abastecimiento de agua potable proveniente de fuentes ubicadas en zonas endémicas de enfermedades de origen hídrico definidas por el Ministerio de Sanidad y Asistencia Social, debe establecer programas de vigilancia sanitaria permanente y aplicar los correctivos específicos adecuados, a juicio de la Autoridad Sanitaria Competente.

Capítulo III

De los aspectos organolépticos, físicos y químicos.

Artículo 14.- El agua potable deberá cumplir con los requisitos organolépticos, físicos y químicos establecidos en los cuadros N° 1, 2, 3 y 4 que se presentan a continuación:

Artículo 19.- La frecuencia mínima para la captación de muestras y análisis de las características organolépticas, físicas y químicas se presentan en el cuadro siguiente:

Frecuencia mínima para el análisis de los parámetros relacionados con las características organolépticas, físicas y químicas del agua potable.

Componente o Característica	Frecuencia Mínima	
	Aguas Superficiales	Aguas Subterráneas
Color y Turbiedad	Una (01) muestra quincenal en aguas no sometidas a tratamiento de clarificación.	Dos (02) muestras anuales en aguas no sometidas a tratamiento de clarificación.
Aluminio ^(a)	Una (01) muestra diaria en aguas tratadas.	Una (01) muestra diaria en aguas tratadas.
pH		
Dureza		
Olor		
Sabor	Una (01) muestra diaria.	Una (01) muestra diaria.
Aspecto		
Conductividad Específica		
Temperatura		
Cloro Residual		
Todos los parámetros incluidos en las tablas del Artículo 14 de estas Normas.	Una (01) muestra trimestral	Una (01) muestra semestral.

(a) Realizar el análisis de este elemento, con la frecuencia establecida sólo si se adiciona durante el tratamiento de clarificación.

Artículo 20.- Los entes responsables del abastecimiento del agua potable están en la obligación de enviar mensualmente los resultados de los análisis efectuados a la Autoridad Sanitaria Competente.

Artículo 21.- Los análisis a que se refieren las presentes Normas deben ser realizados por profesionales idóneos en laboratorios competentes a juicio de la Autoridad Sanitaria, siguiendo las metodologías establecidas en el *Método Estándar para el análisis de aguas y aguas residuales* (AWWA y AVHA).

Artículo 22.- La Autoridad Sanitaria Competente realizará la captación de muestras de agua para la determinación de radiactividad cuando se sospeche la presencia de fuentes radiactivas naturales o provenientes del desarrollo de actividades humanas en áreas de las cuencas hidrográficas utilizadas para el abastecimiento de agua potable.

Capítulo VI Disposiciones finales

Artículo 23.- La Autoridad Sanitaria Competente que tenga a su cargo los programas de Ingeniería Sanitaria, establecerá los plazos dentro de los cuales los responsables del suministro de agua potable deberán instalar los sistemas o procedimientos que se requieran para el tratamiento de las aguas, de manera que cumplan con los requisitos de potabilidad establecidos en las presentes Normas y fijará los plazos dentro de los cuales deben proceder a cambiar o complementar las fuentes de abastecimiento que se requieran.

Artículo 24.- El incumplimiento de las disposiciones contenidas en esta resolución será sancionado conforme a lo dispuesto en la Ley de Sanidad Nacional y la Ley Orgánica del Sistema Nacional de Salud, según sea el caso.

Artículo 25.- La presente Resolución deroga la Resolución N°. 238 de fecha 30/12/91, publicada en Gaceta Oficial de la República de Venezuela N°. 34.892 de fecha 29/01/92; así como cualquier otra resolución, disposición o providencia que colida con su contenido.

Artículo 26.- La presente Resolución entrará en vigencia transcurridos días contados a partir de su publicación en la Gaceta Oficial de la República de Venezuela.

Comuníquese y Publíquese.

JOSE FELIX OLETTA LOPEZ
Ministro de Sanidad y Asistencia Social

MINISTERIO DEL AMBIENTE Y DE LOS RECURSOS NATURALES RENOVABLES

REPUBLICA DE VENEZUELA
MINISTERIO DEL AMBIENTE Y DE
LOS RECURSOS NATURALES RENOVABLES

NUMERO: 178

Caracas, 06-02-98
Años 187° y 138°

RESOLUCION

De conformidad con lo previsto en el Artículo 20, Ordinales 14 y 21 de la Ley Orgánica de la Administración Central y Artículo 1° de Reglamento de Delegación de Firma de los Ministros del Ejecutivo Nacional, dictado a través del Decreto N° 140 de fecha 17 de Septiembre de 1969, publicado en la Gaceta Oficial de la República de Venezuela N° 29.025 del 18 de Septiembre de 1969 en concordancia con lo dispuesto en la Resolución N° 171 de fecha 04 de Junio de 1997, publicada en la Gaceta Oficial de la República de Venezuela N° 36.220 de fecha 04-06-97, emanada de la Superintendencia Nacional de Administración Tributaria (SENIAT) que fija la Unidad Tributaria a Nivel Nacional en la cantidad de Cinco Mil Cuatrocientos Bolívares con 00/100 Céntimos (Bs. 5.400,00), se delega a partir del 09 de Febrero de 1998, en los Directores de Región de este Despacho, la atribución de suscribir Contratos para Ejecución de Obras, de Mantenimiento Ampliación, Mejoras y Reparaciones de Obras hasta por un monto que comprenda Diez Mil (10.000) Unidades Tributarias, previa presentación y aprobación en Cuenta por el ciudadano Director General Sectorial de Infraestructura del Ministerio.

En consecuencia, todas las tramitaciones de los Contratos desde su comienzo hasta su recepción definitiva, inclusive prórrogas para el inicio y terminación de obras, cesión, trasposos y rescisión de contratos, se llevarán a cabo en las respectivas Direcciones de Región, sin perjuicio de las facultades de Control que ejercen los órganos competentes, reguladas en la Ley Orgánica de la Contraloría General de la República.

Igualmente podrán firmar, dentro del monto máximo aprobado por intermedio de la presente Resolución, las Variaciones de Precios que pudieren afectar las Partidas de los Presupuestos de los respectivos contratos, aumentos o disminuciones y obras extras o adicionales, cuando técnica y económicamente fuere necesario.

En los contratos y documentos que se firmen invocando la delegación conferida, se hará constar esta circunstancia con indicación del número y fecha de esta Resolución y de la Gaceta Oficial de la República de Venezuela donde aparece su publicación, estando los Directores de Región en la obligación de presentar mensualmente por ante el Director General Sectorial de Infraestructura, relación detallada de todos los contratos y documentos suscritos, quien a su vez rendirá cuenta de la gestión encomendada al Ministro, conforme a lo establecido en el artículo 6° del Decreto No. 140 del 17-09-69.

Cuadro N° 1 Componentes relativos a la calidad organolépticos del agua potable

Componente o Característica	Unidad	Valor Desable menor a	Valor Máximo Aceptable (a)
Color	UCV (b)	5	15 (25)
Turbiedad	UNT (c)	1	5 (10)
Oloro Sabor	--	Aceptable para la mayoría de los consumidores	
Sólidos Disueltos Totales	mg/L	600	1000
Dureza Total	mg/L CaCO ₃	250	500
pH	--	6,5 - 8,5	9,0
Aluminio	mg/L	0,1	0,2
Cloruro	mg/L	250	300
Cobre	mg/L	1,0	(2,0)
Hierro Total	mg/L	0,1	0,3 (1,0)
Manganeso Total	mg/L	0,1	0,5
Sodio	mg/L	200	200
Sulfuro	mg/L	250	500
Cinc	mg/L	3,0	5,0

(a) Los valores entre paréntesis son aceptados provisionalmente en casos excepcionales, plenamente justificados ante la autoridad sanitaria.

(b) UCV: Unidades de Color Verdadero.

(c) UNT: Unidades Nefelométricas de Turbiedad.

Cuadro N° 2 Componentes inorgánicos

Componentes	Valor Máxima Aceptable (mg/L)
Arsénico	0,01
Bario	0,7
Boro	0,3
Cobre	20
Cadmio	0,003
Cianuro	0,07
Cromo Total	0,05
Fluoruros	(c)
Mercurio Total	0,001
Níquel	0,02
Nitrato (NO ₃)	45,0
(N)	10
Nitrato (NO ₃)	0,03
(N)	0,01
Molibdeno	0,07
Plomo	0,01
Selenio	0,01
Plata	0,05
Cloro Residual	1,0 (3,0) (a)

NO₃⁻ = Nitrato N = Nitrógeno NO₂⁻ = Nitrito

(a) El valor entre paréntesis es aceptado provisionalmente en casos extremadamente excepcionales, plenamente justificado ante la Autoridad Sanitaria Competente.

(b) La suma de las razones entre la concentración de cada uno y su respectivo valor máximo aceptable no debe ser mayor a la unidad.

(c) El contenido de flúor como ion fluoruro F⁻ se fijará de acuerdo con el promedio anual de temperatura máxima del aire en °C, según el cuadro N° 3 siguiente:

Cuadro N° 3. Valores límites recomendables para el contenido de Fluoruro en mg/L.

Promedio anual de Temperatura máxima del aire en °C	Límite Inferior	Límite Óptimo	Límite Superior
10,0 - 14,0	0,8	1,1	1,5
14,0 - 17,6	0,8	1,0	1,3
17,7 - 21,4	0,7	0,9	1,2
21,5 - 26,2	0,7	0,8	1,0
26,3 - 32,6	0,6	0,7	0,8

Cuadro N° 4 Componentes orgánicos

Componentes	Valor Máxima Aceptable µg/L
Bromoformo	100
Cloroformo	200
Dibromoclorometano	100
Benceno	10
Tolueno	700
Xileno	500
Aldrin y Dieldrin	0,03
Clordano	0,2
DDT y sus metabolitos	2,0
2-4-D	30
Heptacloro	0,03
HeptacloroExpóxido	0,1
Hexaclorobenceno	1,0
Lindano	2,0
Metoxicloro	20
Acrilamida	0,5
Benzopireno	0,7
1-2 Dicloroetano	30
1-1 Dicloroetano	30
Etilbenceno	300
Pentaclorofenol	9,0
2-4-6 Triclorofenol	200

Capítulo IV De los aspectos radioactivos

Artículo 15.- El agua que se suministre como potable no deberá contener ni haber sido contaminada con elementos radioactivos que excedan los valores máximos que se establecen a continuación:

Radiactividad Alfa Global: 0,1 Bq/L

Radiactividad Beta Global: 1,0 Bq/L

Capítulo V De la frecuencia de muestreo y análisis del agua para suministro como potable.

Artículo 16.- El agua que se suministre como potable deberá someterse a mediciones sistemáticas para la evaluación de parámetros microbiológicos, organolépticos, físicos, químicos y radioactivos en muestras representativas del sistema de abastecimiento con la frecuencia que establecen estas Normas.

Artículo 17.- La frecuencia mínima para la captación de muestras y análisis bacteriológicas se presentan en el cuadro siguiente:

Frecuencia mínima de muestreo para análisis de parámetros bacteriológicos en el sistema de distribución del agua potable.

Población Abastecida	Frecuencia Mínima (a)
Menor de 5.000	Una (01) muestra mensual.
5.000 a 100.000	Una (01) muestra mensual por cada 5.000 personas
Más de 100.000	Una (01) muestra mensual por cada 10.000 personas, más 10 muestras adicionales.

(a) Cuando se produzcan epidemias, inundaciones u operaciones de emergencia después de las interrupciones del abastecimiento o reparaciones, la frecuencia del muestreo ha de aumentarse dependiendo de la situación en particular a juicio de la Autoridad Sanitaria Competente.

Artículo 18.- La frecuencia mínima para la captación de muestras y análisis microbiológicos, será de una (1) muestra anual y se captarán muestras adicionales cuando se observen alteraciones o cuando lo exija la Autoridad Sanitaria Competente.