



UNIVERSIDAD DE CUENCA

Facultad de Ingeniería

Carrera de Ingeniería Civil

Evaluación hidráulica y diagnóstico de los módulos de tratamiento de agua potable de la comunidad de Capzha, cantón Gualaceo, provincia del Azuay

Trabajo de titulación previo a
la obtención del título de
Ingeniero Civil

Modalidad: Proyecto técnico

Autores:

Manuel Patricio Suárez Gómez

CI: 0105125785

Luis Andrés González Quinteros

CI: 0302289939

Director:

Ing. Felipe Eduardo Cisneros Espinoza, PhD.

CI: 0101045540

Cuenca, Ecuador

16-octubre-2019



Resumen

El presente proyecto técnico consiste en la evaluación hidráulica y sanitaria de las unidades de mezcla rápida, floculación, sedimentación y desinfección de la Planta de tratamiento de agua Potable tipo Convencional ubicada en la parroquia Capzha, cantón Gualaceo, provincia del Azuay. La evaluación se realizó mediante normas vigentes, códigos constructivos y el manual de evaluación de plantas de tipo convencional del Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Medio Ambiente (CEPIS).

La evaluación de la PTAP se llevó a cabo en tres etapas: en una primera etapa se realizó una evaluación visual de las distintas unidades operativas, la segunda etapa consistió en la evaluación sanitaria en la que se realizaron ensayos físicos, químicos y microbiológicos del agua cruda, sedimentada y tratada, los mismos que fueron realizados en el laboratorio de sanitaria de la Universidad de Cuenca y en el laboratorio de la PTAP durante 11 meses. Finalmente en una tercera etapa se realizó la evaluación hidráulica por medio de pruebas de trazadores.

Los resultados de la evaluación, servirá como información para conocer la eficiencia con la que está trabajando el sistema, permitirá verificar si se están cumpliendo con los estándares de calidad y las posibles mejoras que se pueda hacer al sistema de tratamiento.

Palabras Clave: Gualaceo. Evaluación. Hidráulica. Sanitaria. Planta de Tratamiento Convencional. Trazadores. Físicos. Químicos. Microbiológicos



Abstract

The present technical project consists of the hydraulic and sanitary evaluation of the rapid mixing, flocculation, sedimentation and disinfection units of the conventional drinking water treatment plant located in the Capzha parish of Gualaceo canton, Azuay province. The evaluation was carried out through current standards, construction codes and the evaluation manual for conventional type plants of the Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Medio Ambiente (CEPIS).

The evaluation of the PTAP was carried out in the three stages: in a first stage a visual evaluation of the different operating units was carried out, the second stage consisted of the sanitary evaluation in which physical, chemical and microbiological tests of the raw water were carried out, sediment and treated, the same ones that were carried out in the sanitary laboratory of the University of Cuenca and the PTAP laboratory for 11 months. Finally, in a third stage the hydraulic evaluation was carried out by means of plotter tests.

The results of the evaluation, will serve as information to know the efficiency with which the system is working, will allow to verify if they are complying with the quality standards and the possible improvements that can be made to the treatment system.

Keywords: Gualaceo. Evaluation. Hydraulic. Sanitary. Conventional Treatment Plant. Tracer. Physical. Chemical. Microbiological.



Contenido

1.	INTRODUCCIÓN	21
1.1	Antecedentes	22
1.2	Justificación	22
2.	OBJETIVOS	23
2.1	Objetivo general.....	23
2.2	Objetivos específicos.....	23
3.	MARCO TEÓRICO.....	24
3.1	Calidad del Agua	24
3.2	Agua potable	24
3.3	Características del agua potable.....	24
3.3.1	Características físicas.....	24
3.3.1.1	Turbiedad.....	24
3.3.1.2	Color	25
3.3.1.2.1	Color verdadero	25
3.3.1.2.2	Color aparente	25
3.3.1.3	Olor y sabor	25
3.3.2	Características químicas	25
3.3.2.1	pH.....	25
3.3.2.2	Dureza	26
3.3.2.3	Cloruros.....	26
3.3.2.4	Hierro	26
3.3.2.5	Manganeso	26
3.3.2.6	Alcalinidad.....	26
3.4	Tratamiento convencional del agua potable.....	27
3.4.1	Mezcla Rápida-Coagulación.....	27
3.4.2	Floculación.....	27
3.4.3	Sedimentación	28
3.4.4	Filtración.....	28
3.4.5	Desinfección.....	29
3.5	Lodos generados en las plantas de potabilización	30
3.5.1	Consideraciones ambientales	30
3.5.2	Cantidad de lodos producidos	30
3.6	Parámetros de diseño.....	31
3.6.1	Período de diseño	31



3.6.2	Población de diseño	31
3.6.2.1	Método geométrico.....	32
3.6.2.2	Método Exponencial.....	33
3.6.2.3	Método Logístico	33
3.6.2.4	Método Gráfico.....	33
3.6.3	Dotaciones.....	34
3.6.3.1	Dotación básica	34
3.6.4	Caudales de consumo	35
3.6.4.1	Caudal medio diario	35
3.6.4.2	Caudal máximo diario	35
3.6.4.3	Caudal máximo horario.....	35
3.7	Norma técnica ecuatoriana	36
4.	METODOLOGÍA.....	38
4.1	Unidad de mezcla rápida.....	38
4.1.1	Descripción	38
4.1.2	Evaluación	38
4.1.2.1	Geometría de la unidad	38
4.1.2.2	Determinación del tiempo de mezcla	39
4.1.2.3	Resalto hidráulico y punto de aplicación.....	40
4.1.2.4	Determinación del tiempo y de la intensidad de la mezcla	40
4.2	Unidad de floculación.....	41
4.2.1	Descripción	41
4.2.2	Evaluación	41
4.2.2.1	Geometría de la unidad	41
4.2.2.2	Tiempo de retención	42
4.2.2.3	Intensidad de floculación o gradiente de velocidad	42
4.3	Unidad de sedimentación.....	42
4.3.1	Descripción	42
4.3.2	Evaluación	43
4.3.2.1	Geometría de la unidad	43
4.3.2.2	Eficiencia.....	43
4.3.2.3	Carga superficial	43
4.4	Unidad de filtración.....	44
4.4.1	Descripción	44
4.4.2	Evaluación	44



4.4.2.1	Geometría de la unidad	44
4.4.2.2	Eficiencia	44
4.5	Unidad de desinfección	44
4.5.1	Descripción de la unidad	44
4.5.2	Evaluación	45
4.6	Caracterización del agua	46
4.6.1	Análisis físico	47
4.6.2	Análisis químico	48
4.6.3	Análisis bacteriológico	48
5.	RESULTADOS	50
5.1	Población futura	50
5.2	Dotación media actual	56
5.3	Caudal medio diario	56
5.4	Caudal máximo diario	56
5.5	Caudal máximo horario	56
5.6	Mezcla Rápida	57
5.6.1	Geometría y caudal de operación	57
5.6.2	Punto de aplicación	58
5.6.3	Tiempo de Mezcla	60
5.7	Floculación	61
5.7.1	Tiempo de retención	61
5.7.2	Gradiente de velocidad en la unidad	65
5.7.3	Geometría de la unidad	66
5.8	Sedimentación	81
5.8.1	Geometría de la unidad	81
5.8.2	Eficiencia	82
5.8.3	Carga unitaria de las tuberías recolectoras	91
5.9	Filtración	91
5.9.1	Geometría de la Unidad	91
5.9.2	Eficiencia	92
5.10	Desinfección	101
5.11	Lodos generados por la planta	106
7	Conclusiones y Recomendaciones	109
	Bibliografía	111
	ANEXOS	113



Universidad de Cuenca

Ensayo de trazadores para mezcla rápida.....	113
Ensayo de trazadores para la zona 1.....	113
Ensayo de trazadores para la zona 2.....	114
Ensayo de trazadores para la zona 3.....	114
Gradiente de velocidad método de Wolf Resnick.....	115
Ensayos Realizados.....	116



INDICE DE TABLAS

<i>Tabla 1 Principales Organismos Presentes en el Agua.....</i>	<i>29</i>
<i>Tabla 2 Períodos de diseño para obras Hidráulicas</i>	<i>31</i>
<i>Tabla 3 Dotaciones Recomendadas según el número de habitantes y clima</i>	<i>34</i>
<i>Tabla 4 Límites Permisibles para parámetros físicos para agua potable.....</i>	<i>36</i>
<i>Tabla 5 Límites para parámetros bacteriológicos para agua potable</i>	<i>36</i>
<i>Tabla 6 Límites para parámetros químicos para agua potable</i>	<i>37</i>
<i>Tabla 7 Relación de temperatura.....</i>	<i>40</i>
<i>Tabla 8 Proyección por ajuste a curva Logística</i>	<i>52</i>
<i>Tabla 9 Proyección por la curva logística Población a partir de los últimos censos.....</i>	<i>53</i>
<i>Tabla 10 Cantones para el estudio del método gráfico</i>	<i>54</i>
<i>Tabla 11 Proyección por el método gráfico.....</i>	<i>55</i>
<i>Tabla 12 Dimensiones del vertedero de ingreso</i>	<i>57</i>
<i>Tabla 13 Caudales de operación del vertedero de ingreso</i>	<i>58</i>
<i>Tabla 14 Clasificación del Resalto Hidráulico.....</i>	<i>60</i>
<i>Tabla 15 Dimensiones cámaras de floculación</i>	<i>66</i>
<i>Tabla 16 Interconexión entre cámaras del floculador zonas 1, 2 y 3</i>	<i>67</i>
<i>Tabla 17.Dimensiones reales del floculador en la Zona 1</i>	<i>78</i>
<i>Tabla 18.Dimensiones reales del floculador en la zona 2</i>	<i>79</i>
<i>Tabla 19. Dimensiones reales del floculador en la zona 3.....</i>	<i>80</i>
<i>Tabla 20. Dimensiones reales de los sedimentadores.....</i>	<i>82</i>
<i>Tabla 21 Eficiencia de los sedimentadores a partir de la turbiedad</i>	<i>90</i>
<i>Tabla 22 Eficiencia de los sedimentadores a partir del color</i>	<i>90</i>
<i>Tabla 23 Carga superficial del sedimentador.....</i>	<i>91</i>
<i>Tabla 24. Medidas Reales de la unidad de filtración.....</i>	<i>92</i>
<i>Tabla 25 Eficiencia de los filtros en función de la turbiedad</i>	<i>99</i>
<i>Tabla 26 Eficiencia de los filtros en función del color.....</i>	<i>100</i>
<i>Tabla 27 Caudal de operación de los filtros</i>	<i>100</i>
<i>Tabla 28 Resultados de la medición del cloro residual.....</i>	<i>101</i>
<i>Tabla 29 Cloro residual y pH.....</i>	<i>105</i>
<i>Tabla 30 Caudales de agua cruda.</i>	<i>106</i>
<i>Tabla 31 producción de lodo</i>	<i>108</i>
<i>Tabla 32 Ensayo de trazadores para la unidad de mezcla rápida.....</i>	<i>113</i>
<i>Tabla 33 Ensayo de trazadores para la cámara 1 de floculación.....</i>	<i>113</i>



Tabla 34 Ensayo de trazadores para la zona 2 de floculación 114
Tabla 35 Ensayo de trazadores para la zona 3 de floculación 114
Tabla 36 Método de Wolf Resnick..... 115

INDICE DE FIGURAS

Figura 1 Vertedero triangular 39
Figura 2 Crecimiento Poblacional según el método logístico..... 52
Figura 3 Crecimiento Poblacional Curva-Logística 53
Figura 4 Crecimiento Poblacional según el método Grafico 55
Figura 5 Vista en Planta de la Unidad de Mezcla Rápida..... 57
Figura 6 Elevación del vertedero de entrada 57
Figura 7 Tiempo de Retención en la unidad de mezcla rápida..... 60
Figura 8 Tiempo de retención de la unidad de floculación..... 61
Figura 9 Aplicación del Método de Wolf Resnick para los floculadores..... 62
Figura 10 Índice de Morril para la unidad de floculación..... 63
Figura 11 Variación de la concentración del trazador para la zona 1..... 64
Figura 12 Variación de la concentración del trazador para la zona 2..... 64
Figura 13 Variación de la concentración del trazador para la zona 3..... 65
Figura 14 Medidas especificadas en el diseño. 66
Figura 15 Medidas de la unidad de sedimentación especificadas en el diseño 81
Figura 16 Turbiedad agua cruda y agua sedimentada (Enero 2018)..... 82
Figura 17 Color agua cruda y agua sedimentada (Enero 2018)..... 83
Figura 18 Turbiedad agua cruda y agua sedimentada (Febrero 2018)..... 83
Figura 19 Color agua cruda y agua sedimentada (Febrero 2018) 83
Figura 20 Turbiedad agua cruda y agua sedimentada (Marzo 2018)..... 84
Figura 21 Color agua cruda y agua sedimentada (Marzo 2018)..... 84
Figura 22 Turbiedad agua cruda y agua sedimentada (Abril 2018)..... 84
Figura 23 Color agua cruda y agua sedimentada (Abril 2018) 85
Figura 24 Turbiedad agua cruda y agua sedimentada (Mayo 2018)..... 85
Figura 25 Color agua cruda y agua sedimentada (Mayo 2018)..... 85
Figura 26 Turbiedad agua cruda y agua sedimentada (Junio 2018)..... 86
Figura 27 Color agua cruda y agua sedimentada (Junio 2018)..... 86
Figura 28 Turbiedad agua cruda y agua sedimentada (Julio 2018)..... 86



Figura 29 Color agua cruda y agua sedimentada (Julio 2018)..... 87

Figura 30 Turbiedad agua cruda y agua sedimentada (Agosto 2018)..... 87

Figura 31 Color agua cruda y agua sedimentada (Agosto 2018)..... 87

Figura 32 Turbiedad agua cruda y agua sedimentada (Septiembre 2018)..... 88

Figura 33 Color agua cruda y agua sedimentada (Septiembre 2018)..... 88

Figura 34 Turbiedad agua cruda y agua sedimentada (Octubre 2018) 88

Figura 35 Color agua cruda y agua sedimentada (Octubre 2018) 89

Figura 36 Turbiedad agua cruda y agua sedimentada (Noviembre 2018) 89

Figura 37 Color agua cruda y agua sedimentada (Noviembre 2018) 89

Figura 38 Medidas de las unidades de filtración especificadas en el diseño 91

Figura 39 Turbiedad agua tratada y agua sedimentada (Enero2018)..... 92

Figura 40 Color agua tratada y agua sedimentada (Enero2018)..... 92

Figura 41 Turbiedad agua tratada y agua sedimentada (Febrero 2018)..... 93

Figura 42 Color agua tratada y agua sedimentada (Febrero 2018)..... 93

Figura 43 Turbiedad agua tratada y agua sedimentada (Marzo 2018)..... 93

Figura 44 Color agua tratada y agua sedimentada (Marzo 2018)..... 94

Figura 45 Turbiedad agua tratada y agua sedimentada (Abril 2018)..... 94

Figura 46 Color agua tratada y agua sedimentada (Abril 2018)..... 94

Figura 47 Turbiedad agua tratada y agua sedimentada (Mayo 2018)..... 95

Figura 48 Color agua tratada y agua sedimentada (Mayo 2018)..... 95

Figura 49 Turbiedad agua tratada y agua sedimentada (Junio 2018)..... 95

Figura 50 Color agua tratada y agua sedimentada (Junio 2018)..... 96

Figura 51 Turbiedad agua tratada y agua sedimentada (Julio 2018)..... 96

Figura 52 Color agua tratada y agua sedimentada (Julio 2018)..... 96

Figura 53 Turbiedad agua tratada y agua sedimentada (Agosto 2018)..... 97

Figura 54 Color agua tratada y agua sedimentada (Agosto 2018)..... 97

Figura 55 Turbiedad agua tratada y agua sedimentada (Septiembre 2018)..... 97

Figura 56 Color agua tratada y agua sedimentada (Septiembre 2018)..... 98

Figura 57 Turbiedad agua tratada y agua sedimentada (Octubre 2018) 98

Figura 58 Color agua tratada y agua sedimentada (Octubre 2018) 98

Figura 59 Turbiedad agua tratada y agua sedimentada (Noviembre 2018) 99

Figura 60 Color agua tratada y agua sedimentada (Octubre 2018) 99

Figura 61 Variación del cloro residual en la planta de tratamiento..... 102

Figura 62 Variación cloro residual en las Reservas de Capzha..... 102



Figura 63 Variación cloro residual en las reservas de Parculoma..... 103

Figura 64 Variación cloro residual registro civil..... 103

Figura 65 Variación cloro residual en el estadio Gerardo L..... 104

Figura 66 Variación cloro residual en GAD Gualaceo..... 104

Figura 67 Variación cloro residual en el 2018..... 105

Figura 68 Variación pH en el 2018 106

Figura 69 Caudales medios de agua cruda. 107

Figura 70 Caudal promedio de agua cruda. 107

Figura 71 Turbiedad media 2018 108



Cláusula de licencia y autorización para publicación en el Repositorio Institucional

Yo, **Luis Andrés González Quinteros** en calidad de autor y titular de los derechos morales y patrimoniales del trabajo de titulación "**EVALUACIÓN HIDRÁULICA Y DIAGNOSTICO DE LOS MODULOS DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE DE LA COMUNIDAD DE CAPZHA, CANTÓN GUALACEO, PROVINCIA DEL AZUAY**", de conformidad con el Art. 114 del CÓDIGO ORGÁNICO DE LA ECONOMÍA SOCIAL DE LOS CONOCIMIENTOS, CREATIVIDAD E INNOVACIÓN reconozco a favor de la Universidad de Cuenca una licencia gratuita, intransferible y no exclusiva para el uso no comercial de la obra, con fines estrictamente académicos.

Asimismo, autorizo a la Universidad de Cuenca para que realice la publicación de este trabajo de titulación en el repositorio institucional, de conformidad a lo dispuesto en el Art. 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior.

Cuenca, 15 de octubre de 2019

Luis Andrés González Quinteros

C.I: 0302289939



Cláusula de licencia y autorización para publicación en el Repositorio
Institucional

Yo, **Manuel Patricio Suarez Gomez** en calidad de autor y titular de los derechos morales y patrimoniales del trabajo de titulación "**EVALUACIÓN HIDRÁULICA Y DIAGNOSTICO DE LOS MODULOS DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE DE LA COMUNIDAD DE CAPZHA, CANTÓN GUALACEO, PROVINCIA DEL AZUAY**", de conformidad con el Art. 114 del CÓDIGO ORGÁNICO DE LA ECONOMÍA SOCIAL DE LOS CONOCIMIENTOS, CREATIVIDAD E INNOVACIÓN reconozco a favor de la Universidad de Cuenca una licencia gratuita, intransferible y no exclusiva para el uso no comercial de la obra, con fines estrictamente académicos.

Asimismo, autorizo a la Universidad de Cuenca para que realice la publicación de este trabajo de titulación en el repositorio institucional, de conformidad a lo dispuesto en el Art. 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior.

Cuenca, 15 de octubre de 2019

Manuel Patricio Suarez Gomez

C.I: 0105125785



Cláusula de Propiedad Intelectual

Yo, **Luis Andrés González Quinteros**, autor del trabajo de titulación "**EVALUACIÓN HIDRÁULICA Y DIAGNOSTICO DE LOS MODULOS DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE DE LA COMUNIDAD DE CAPZHA, CANTÓN GUALACEO, PROVINCIA DEL AZUAY**", certifico que todas las ideas, opiniones y contenidos expuestos en la presente investigación son de exclusiva responsabilidad de su autor.

Cuenca, 15 de octubre de 2019

Luis Andrés González Quinteros

C.I: 0302289939



Cláusula de Propiedad Intelectual

Yo, Manuel Patricio Suarez Gomez, autor del trabajo de titulación "**EVALUACIÓN HIDRÁULICA Y DIAGNOSTICO DE LOS MODULOS DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE DE LA COMUNIDAD DE CAPZA, CANTÓN GUALACEO, PROVINCIA DEL AZUAY**", certifico que todas las ideas, opiniones y contenidos expuestos en la presente investigación son de exclusiva responsabilidad de su autor.

Cuenca, 15 de octubre de 2019

Manuel Patricio Suarez Gomez

C.I: 0105125785



AGRADECIMIENTO.

De manera especial al PhD. Felipe Cisneros Espinosa por su valiosa contribución en el desarrollo del presente trabajo, a la Dra. Fabiola Matute, profesional responsable de la planta de tratamiento de agua potable del cantón Gualaceo EMAPAS-G EP, así como al gerente de la empresa Ing. Galo Durazno, al PhD. Diego Mora y la Ing. Verónica Carrillo docentes de la facultad de ingeniería por ayudarnos con las debidas correcciones en el presente trabajo.

Agradezco a mis padres, familiares y a las personas que han estado apoyando de forma incondicional.

Andrés.



DEDICATORIA

A mis padres Gerardo y Narcisa por su gran apoyo en todas las etapas de mi vida por su ejemplo diario, por su comprensión y sabios consejos para ser mejor persona día a día.

Andrés.



AGRADECIMIENTO.

A mis padres por su comprensión, consejos y su apoyo incondicional, a mis queridos hermanos: Paola, Ariel, Mercedes, a mis sobrinos Santiago y Fernanda, quienes me acompañaron en este camino de aprendizaje.

Al Ingeniero Felipe Cisneros, por valiosa contribución como director de tesis, a los ingenieros Diego Mora y Verónica Carrillo revisores de tesis, a mis maestros de la Universidad de Cuenca, por brindarme su experiencia y conocimientos a lo largo de toda la carrera.

Al los ingenieros: Galo Durazno gerente de EMAPAS-G, Cesar Torres responsable del departamento de dirección técnica; por la apertura brindada para la realización del presente trabajo de titulación, al personal de la planta de tratamiento de agua potable, de manera especial a la Dr. Fabiola Matute que desde el primer día compartió su experiencia y conocimiento que fueron la guía para encaminar y terminar este proyecto gracias por sus consejos y motivación.

A mis compañeros y grandes amigos: Edwin, Andrés, Carolina y Marcia con quienes compartirnos malos y buenos momentos a lo largo de nuestra vida universitaria gracias por su apoyo y consejos.

Manuel.



DEDICATORIA.

A mis queridos padres Manuel y Laura quienes me apoyaron en todos los sentidos, por sus incontables sacrificios para verme triunfar, por sus enseñanzas y consejos, por sus palabras de aliento para continuar hacia adelante y culminar esta meta. Este logro es suyo.

A mis hermanos y sobrinos, en especial para Ariel por su apoyo incondicional, por las largas conversaciones por los buenos y malos momentos vividos gracias por todo.

Manuel.



GLOSARIO DE TÉRMINOS

PTAP: Planta de tratamiento de agua potable.

CEPIS: Centro Panamericano de ingeniería sanitaria y ciencias del ambiente.

Tiempo de retención: tiempo que tarda el agua en entrar y salir de cada una de las unidades de la planta de tratamiento.

To: Tiempo de retención teórico

(G): gradiente de velocidad.

NTE: norma técnica ecuatoriana.

CO 10.07-602: código orgánico de la construcción capítulo obras sanitarias.

AWWA: American Water Works Association.

Agua cruda: Agua que no ha recibido ningún tipo de tratamiento.

UFC: Unidades formadoras de colonia.

Trazador: sustancia utilizada en ensayo para encontrar el tiempo de retención real.

NaCl: cloruro de sodio utilizado en el ensayo de trazadores.

Colmatación: estado de taponamiento de un filtro.

Cloro residual: cantidad de cloro que queda en el agua después de un periodo de contacto en el proceso de desinfección.

Límite máximo permisible: Valor máximo para un parámetro de calidad de agua potable.

Sólidos suspendidos: todo material visible que contiene el agua y que no está disuelto.

NTU: unidades Nefelométricas de Turbiedad.

mg/l: unidades de concentración expresadas en miligramos por litros

ppm: unidades de concentración expresadas en partes por millón.

rpm: revoluciones por minuto.

S⁻¹: Unidades del gradiente de velocidad.

Tratamiento convencional: proceso de potabilización que incluye las operaciones unitarias de mezcla rápida, floculación, sedimentación, filtración y desinfección.



1. INTRODUCCIÓN

Es común que se piense que el agua potable es una cuestión simple, tan simple como abrir un grifo y ver como el agua cae en cantidad y calidad que se desee. No obstante, este es un privilegio limitado (Lozado & Lozado , 2015). La ONU afirma que 900 millones de personas viven sin agua potable en el mundo. En el Ecuador se presenta altos porcentajes de cobertura de servicios básicos y saneamiento a nivel nacional. Para el año 2010 la cobertura para viviendas urbanas era de 89.24%, mientras que para viviendas rurales fue de 64.91%, la cobertura de saneamiento para viviendas urbanas es de 71% mientras que para viviendas rurales es de 53.07%

A nivel local la cobertura del servicio de agua potable por red pública en el cantón Gualaceo es del 67.4%, mientras que la cobertura del alcantarillado alcanza el 33.4%(SEMPLADES, 2014).

El censo poblacional del 2010 muestra que el área urbana de Gualaceo tiene mayor cobertura de agua potable, pues el 87,45% de la población recibe agua de consumo humano por tubería dentro de la vivienda.

En el sector rural la cobertura de agua potable y saneamiento es más baja; el costo de implementación de los sistemas, situación económica de las comunidades, falta de planificación y organización, centros poblados no consolidados, etc. son los principales factores que limitan el acceso al servicio de agua potable y alcantarillado.

El agua potable tiene una estrecha relación con la salud, el desarrollo y la pobreza. Cuando se habla de agua no basta con tenerla en calidad sino también en cantidad suficiente, ya que la escasez de agua se relaciona con enfermedades parasitarias asociadas a la falta de higiene. Malas condiciones en el agua de bebida afectaran la salud de las personas, por lo que contar con agua segura es esencial para la salud de los consumidores y constituye el objetivo primordial del tratamiento del agua y del control de la calidad del agua de consumo, cuyas características finales dependerán de su origen y del tratamiento al que sea sometida.

La calidad del agua siempre ha sido un aspecto de preocupación; de hecho, el primer intento por definir la calidad del agua se debe al ingeniero y arquitecto romano Marco Vitruvio, quien estableció parámetros de calidad en base a la reacción del agua al hervirla, la forma en que los alimentos se cocían y en los efectos estomacales que producía cuando se bebía (Lozado & Lozado , 2015) (De La Peña, 2010).

Aunque el agua es el elemento más frecuente en la tierra, únicamente 2.53% del total es agua dulce y el resto es agua salada. Aproximadamente las dos terceras partes del agua dulce se encuentran en glaciares, lo que hace que sea necesario la optimización del recurso hídrico, por lo que las plantas de tratamiento se vuelven indispensables.

Al estar los sistemas de abastecimiento de agua constituidos no solamente por un conjunto de obras sino también por una administración encargada de su



funcionamiento cuya finalidad y propósito es el suministrar agua potable durante las 24 horas del día y durante todos los días a una población que cada día está cambiando, es imprescindible una evaluación periódica y permanente de los sistemas con miras a determinar su validez frente a las nuevas exigencias. (Idrovo, 1999)

En Gualaceo el tratamiento del agua para consumo humano está a cargo de EMAPAS-G EP (Empresa Municipal de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento) para lo cual se dispone de una PTAP, ubicada en la comunidad de Capzha en la cual se realizan las operaciones unitarias de: mezcla rápida, floculación, sedimentación, filtración y desinfección.

1.1 Antecedentes

El sistema de agua Potable de la ciudad de Gualaceo está ubicada en la parroquia Capzha, el cual abastece al centro cantonal. El suministro de agua para Gualaceo inicio en el año de 1986 a través del instituto Ecuatoriano de Obras Sanitarias IEOS, para lo cual se captaba el agua posteriormente se sometía a un proceso de cloración en las reservas de 300 m³ que se construyeron para este fin.

En la actualidad se dispone de dos Módulos los cuales se abastecen de dos fuentes de agua: la primera que es tomada del río San Francisco y la segunda de la quebrada de Uchucay, para luego ser conducida hacia la planta mediante tubería Enterrada.

En 1990 mediante el apoyo técnico y económico del BID y FONAPRE la Ilustre Municipalidad de Gualaceo contratan los estudios de Mejoramiento y ampliación del sistema de agua potable de la ciudad de Gualaceo, el cual contempla un período de diseño de 30 años, el cual incluye dos años de estudios y planificación y tres años de construcción. En enero de 1994 la compañía COANDES inicia su construcción y culminando la misma en diciembre de 1995; para su puesta en marcha estuvo en un período de pruebas desde enero de 1996 hasta junio del mismo año. La planta fue diseñada para procesar 60 L/s.

El segundo módulo de tratamiento (PT2) inició su construcción en noviembre del 2010 hasta diciembre del 2012, teniendo que someterse a un período de pruebas y ajustes preliminares durante seis meses, iniciando su puesta en funcionamiento con un caudal de 40 l/s.

1.2 Justificación

Se ha comprobado que las inversiones en sistemas de abastecimiento de agua pueden ser rentables desde el punto de vista económico, ya que la disminución de los efectos adversos para la salud y la consiguiente reducción de los costos de asistencia sanitaria son superiores al costo de las intervenciones en infraestructuras de abastecimiento de agua. (OMS, 2004).



El presente trabajo plantea un diagnóstico y Evaluación es importante citar que el período de diseño de la PTAP 1 es de 30 años, estando en el último año de su vida útil. Por lo que el presente trabajo plantea un diagnóstico y Evaluación de las operaciones y procesos de la PTAP 1 de la ciudad de Gualaceo, con el fin de verificar la calidad del agua que consume la población, la evaluación permitirá conocer el estado de los componentes facilitara identificar posibles deficiencias, y sus posibles causas, proponer recomendaciones para su mejoramiento en caso de ser necesario.

2. OBJETIVOS

2.1 Objetivo general.

Evaluar las condiciones hidráulicas y proporcionar un diagnóstico para los módulos de tratamiento de agua potable de la comunidad de Capzha, cantón Gualaceo, Provincia del Azuay.

2.2 Objetivos específicos.

- Caracterizar el agua que va a tratarse y evaluar el comportamiento de los sedimentos en la infraestructura.
- Evaluar el funcionamiento hidráulico de las unidades de tratamiento.
- Diagnóstico y reconocimiento del motivo de las deficiencias.



3. MARCO TEÓRICO

3.1 Calidad del Agua

El agua pura no existe en la naturaleza. El agua disponible para el abastecimiento tanto superficial como subterránea se ven afectadas por dos fuentes de contaminación: la primera de forma natural por medio del ciclo hidrológico y la segunda debido a la actividad agrícola e industrial. (AWWA, 2002)

Como resultado final de esta contaminación el agua adquiere color, turbiedad, sabor, olor, dureza, bacterias y otros microorganismos que afectan su uso. Por ello, el tipo de tratamiento requerido para producir agua potable varía. Dependiendo de la calidad del agua cruda, el grado de complejidad de tratamiento es diferente. (Romero, 2006)

3.2 Agua potable

Es aquella que cumple con las características físicas, químicas, microbiológicas y organolépticas en las condiciones que señala una normativa, de manera que no presenta ningún riesgo para la salud humana ni cause rechazo por parte del consumidor, pudiendo ser empleada sin restricción. (Lozado & Lozado , 2015)

3.3 Características del agua potable

El agua destinada al consumo humano puede contener elementos que alteran su apariencia, haciéndola rechazable por el consumidor, y sustancias químicas potencialmente peligrosas para la salud, generalmente, aplicables a tiempos de exposición relativamente largos. (Lozado & Lozado , 2015)

3.3.1 Características físicas

Desde el punto de vista sanitario los parámetros físicos no presentan riesgo significativo, sin embargo, están relacionados directamente con las condiciones estéticas por lo que están asociados a los sentidos lo que influye en la aceptación o rechazo del consumidor. No son índices absolutos de contaminación, ya que un agua con condiciones estéticas aceptables puede ser apta para el consumo humano. (Arboleda, 2000)

Desde el punto de vista sanitario no presentan riesgo significativo, pero influyen en la aceptación o rechazo del consumidor puesto que engloban aspectos de orden estético.

3.3.1.1 Turbiedad

Es una percepción óptica regida por la Ley de Beer, resultante de la dificultad del paso de la luz a través de una muestra de agua, la turbiedad está causada por sustancias y material no soluble en suspensión tales como arcillas, minerales, sedimentos, plancton,



bacterias y otros microorganismos. Para su remoción se requiere añadir coagulantes, acondicionadores de pH, ayudantes de coagulación (polímeros), etc.

El nivel de turbiedad se expresa en UNT (Unidades Nefelométricas de Turbiedad), se mide en aparatos llamados turbidímetros. Con este método se hace una comparación en la intensidad de la luz dispersada por una solución de estudio con la intensidad dispersada por una muestra estándar de referencia. Mientras mayor sea la dispersión, mayor será la turbiedad.

3.3.1.2 Color

Es una percepción óptica que afecta el aspecto estético del agua. Está causado por sustancias disueltas que pueden tener distintos orígenes:

- a) Orgánico: generado por ácidos húmicos y fúlvicos, taninos, lignina, etc. derivados de la descomposición de vegetales.
- b) Mineral: frecuentemente generado por hierro y manganeso presente en los estratos geológicos de donde subyace o discurre la fuente hídrica.

Cuando se habla de color es necesario distinguir entre color real y aparente.

3.3.1.2.1 Color verdadero

El color que presenta el agua una vez que se ha removido su turbidez.

3.3.1.2.2 Color aparente

Producido por las sustancias en solución y materiales en suspensión, sin que se haya removido su turbidez.

3.3.1.3 Olor y sabor

Están estrechamente ligados entre sí. Estas características constituyen el motivo principal de rechazo por parte del consumidor. Generalmente se dan por la presencia de materia orgánica e inorgánica en solución.

El olor y sabor pueden ser usados como indicadores de:

- Cambios repentinos en la calidad de la fuente de abastecimiento
- Fallas en el proceso de potabilización
- Corrosión o crecimiento biológico en las instalaciones.

3.3.2 Características químicas

3.3.2.1 pH

No tiene efectos directos sobre la salud, pero tiene influencia en los procesos de potabilización del agua: coagulación-floculación, la desinfección, el ablandamiento y el control de corrosión (Ronald, 2011). La mayor parte de las normativas establecen un



rango de pH para tanto cruda como tratada entre 6,5 y 9 unidades, valores comprendidos en este intervalo permiten controlar sus efectos sobre otras características.

La normativa ecuatoriana INEN 1108: 2006 establece un rango de pH que va desde 6,5 a 8,5.

3.3.2.2 Dureza

Se conoce como dureza del agua a la concentración de compuestos minerales, principalmente magnesio y calcio.

Los minerales que causantes de la dureza son transmitidas al agua por contacto con el suelo y las formaciones rocosas por las que atraviesa. Las aguas duras afectan sus usos, producen manchas en la ropa, presenta sabor desagradable, aumenta la velocidad de formación de incrustaciones en duchas, produce el taponamiento de tuberías.

3.3.2.3 Cloruros

Los cloruros pueden ser de origen natural o por contaminación con agua residual y vertidos industriales. En bajas concentraciones no representan peligro para la salud, para el consumo humano se limita a 250 mg/l, mayores concentraciones producen un sabor salado al agua. (Trujillo, 2007)

3.3.2.4 Hierro

Existe en suelos y minerales, el agua al filtrarse y discurrir entra en contacto con estos disolviéndolos y acarreándolos consigo. La principal limitación del hierro en el agua potable se basa en el aspecto organoléptico del agua, debido al sabor y color.

El agua potable con concentraciones de Fe de varias partes por millón no produce efectos fisiológicos nocivos a los consumidores, pero ocasiona manchas en la ropa y en los componentes del sistema hidrosanitario. La norma INEN 1108 recomienda que la concentración no sea mayor a 0.3mg/l de hierro total.

3.3.2.5 Manganeseo

Es uno de los elementos más abundantes en la naturaleza, específicamente en la corteza terrestre, su presencia produce un sabor indeseable en el agua, además produce manchas en la ropa y accesorios del sistema hidrosanitario.

3.3.2.6 Alcalinidad

La alcalinidad se define como la capacidad para neutralizar ácidos. En aguas superficiales se debe a la presencia de hidróxidos, carbonatos y bicarbonatos.



Los valores altos de alcalinidad podrían producir un sabor desagradable al agua, producir precipitación de sales de calcio en las tuberías, y corrosión de los sistemas de abastecimiento. (Romero, 2006)

3.4 Tratamiento convencional del agua potable

No existe un procedimiento estándar de diseño de una planta de agua potable, dependiendo de la calidad del agua cruda las PTAP varían unas de otras, sin embargo, se ha encontrado que el tratamiento convencional compuesto por las operaciones unitarias de: mezcla rápida, floculación, sedimentación, filtración y desinfección presentan buenos resultados siendo los más usados a nivel nacional y local. (Romero, 2006)

3.4.1 Mezcla Rápida-Coagulación

La coagulación es un proceso de desestabilización de las partículas coloidales que se encuentran en suspensión, esto se produce al neutralizar las fuerzas que los mantienen separados, por medio de la adición de los coagulantes químicos y la aplicación de energía de mezclado.

La desestabilización de las partículas se consigue mediante la adición de reactivos (sales coagulantes) que anulan las cargas electronegativas (fuerzas repulsivas). Para efectuar el proceso de coagulación se usan sales de aluminio, siendo la más usada el sulfato de aluminio también conocida como alumbre $Al_2(SO_4)_3$, la cual forma un floc liviano, sin embargo, es la más usada debido a su fácil manejo, además tiene un bajo costo. (Lozado & Lozado , 2015)

Otros coagulantes usados son: sales de hierro y cal, los cuales pueden ser aplicados dependiendo de las características particulares de cada agua.

La energía de mezclado se da mediante la operación unitaria de mezcla rápida con esto se busca dispersar rápida y uniformemente el coagulante a través de la masa de agua. La mezcla puede efectuarse por la turbulencia provocada por dispositivos mecánicos (hélices, turbinas o paletas) e hidráulicos tales como resaltos, caídas de agua o dispersores. (Romero, 2006).

3.4.2 Floculación

Es el proceso que tiene por objeto la aglomeración de los coloides desestabilizados en coágulos llamados flocs (flóculos); esto se consigue con una suave agitación del agua producida por variaciones en la dirección del flujo, a fin de facilitar e incrementar la oportunidad de colisión de las partículas, que van incrementando en tamaño y peso para que puedan ser eliminados un proceso posterior (sedimentación).



Al igual que la mezcla rápida, los floculadores pueden ser hidráulicos o mecánicos.

Entre los floculadores hidráulicos más usados están los de flujo horizontal y los de flujo vertical, consisten en tanques equipados de pantallas manera que el agua tiene que efectuar varios recorridos de derecha a izquierda o de arriba abajo (por encima y por debajo de los tabiques) a lo largo de la unidad.

Los hidráulicos de flujo horizontal se usan con más frecuencia, para caudales inferiores a los 50L/s maneja gradientes entre 20 y 80 S^{-1} ., mientras que los hidráulicos de flujo vertical, con profundidades entre 2 y 3 metros, para caudales entre los 50 y 1000 L/s maneja gradientes entre 20 y 90 S^{-1} . (Lozado Rivas, Lozado Bravo, 2015)

Otros floculadores conocidos se citan: los floculadores de tipo mecánicos de eje vertical, de eje horizontal paralelo al flujo, de eje horizontal perpendicular al flujo, de tipo Cox y tipo Alabama.

3.4.3 Sedimentación

La operación unitaria de sedimentación tiene por objeto, la remoción por efecto de la gravedad de las partículas en suspensión presentes en el agua en un tiempo económicamente aceptable. En algunos casos, se denomina clarificación, dos son las formas de sedimentación usadas en la potabilización del agua: sedimentación simple y la sedimentación después de la floculación. (Arboleda, 2000)

El tiempo requerido para el asentamiento de las partículas depende de su diámetro, sin embargo, la disponibilidad física y económica de los proyectos limitan los tanques sedimentadores por lo es necesario establecer un tiempo límite para la sedimentación estableciendo a priori el diámetro mínimo que la estructura podrá remover. (Pérez 2005)

3.4.4 Filtración

La filtración es una operación unitaria en donde el agua atraviesa un medio de porosidad intermedia, en las PTAP, los filtros retendrán las partículas de turbidez remanente y los microflóculos que no fueron removidos en el sedimentador y, al mismo tiempo, permitirán el paso del agua, liberándola de la materia en suspensión.

Se estima que cerca del 90% de los sólidos son eliminados en los procesos de floculación y sedimentación. La filtración es un proceso de pulimiento, además de retirar la turbiedad remanente, elimina, junto con las partículas gran parte de los microorganismos patógenos. (Lozado & Lozado , 2015)



3.4.5 Desinfección

La desinfección del agua es un proceso de gran importancia en la potabilización del agua, permite la remoción de organismos patógenos; no obstante, no implica la destrucción de todos los organismos vivos ni la obtención de un agua esterilizada. Debe recordarse que los microorganismos se comportan también como partículas coloidales, razón por la cual, los procesos de coagulación-floculación-sedimentación pueden removerlos por encima del 98%.

La desinfección depende de diferentes factores: tipo y concentración de los organismos a destruirse, tipo y concentración del desinfectante, tiempo de contacto, calidad del agua.

Se debe tener especial atención en cuanto a calidad del agua, características como la turbidez, color, pH, temperatura afectan al proceso de desinfección probando la demanda de mayores cantidades de desinfectante con el agravante de que se puedan presentar subproductos de la desinfección. Por lo que el agua que será desinfectada debe tener los más bajos niveles de turbiedad y color posible.

Tabla 1 Principales Organismos Presentes en el Agua

organismo	Tipo	Enfermedades
bacterias	Salmonellas	Tíficas y paratíficas
	Shigellas	disentería
	Vibrio	cólera
	Yersenia	yernosinosis
	E. Coli	diarreas
Protozoarios	Amebas	quistes
	Giardia lamblia	giardiasis
	Cryptosporidium	cryposporidiasis
Virus	hepatitis infecciosa	
	poliomelitis	
	otros virus	
Tremátodos	Schistosoma manzoni	Bilharsiasis
	Dracunculus Medinensis	
	Ascaris	Ascariasis

Fuente: Teoría y práctica de la purificación del agua Tomo II
Nota: Elaboración Propia



3.5 Lodos generados en las plantas de potabilización

Los lodos generados en las plantas potabilizadoras son una combinación de sustancias orgánicas e inorgánicas.

En el Ecuador existen una un sinnúmero de plantas de potabilización, cuya operación y gestión fundamental es la de obtener de agua apta para el consumo humano; minimizando casi por completo la importancia del manejo y disposición final de los lodos generados durante el proceso los cuales no solo presentan contenidos de arcillas arenas o limos provenientes del agua cruda sino que también presentan hidróxidos de aluminio o hierro, hidróxidos de calcio, polímeros y otros compuestos provenientes de las operaciones unitarias del sistema de potabilización.

En la mayoría de los casos los lodos se descargan en cuerpos de agua más cercanos provocando un incremento en el nivel de contaminación y por ende posibles alteraciones en el medio ambiente.

A nivel local de los 15 cantones del Azuay solo Cuenca en el año 2015 da un manejo adecuado de los lodos productos de la potabilización siendo las plantas de Sustag y Tixán respectivamente.

3.5.1 Consideraciones ambientales

- La descarga de lodos de las PTAP sobre ríos, lagos y quebradas conduce a la formación de depósitos, o bancos de lodos, en las zonas de baja velocidad de flujo. Dichos depósitos cubren a los organismos bénticos y alteran la cadena alimenticia de los peces. (Romero, 2006)
- Los lodos reducen la calidad estética de la fuente receptora al amentar la turbiedad del agua. El incremento de la turbiedad puede disminuir la actividad fotosintética, mientras que el aumento de sólidos suspendidos y de turbiedad hace perder el valor recreacional del agua y su uso para el esparcimiento. (Romero, 2006)
- La descarga de aguas de lavado de filtros conlleva el riesgo de contaminación bacterial patogénica y de aumento en el crecimiento microbioal del agua. (Romero, 2006)

3.5.2 Cantidad de lodos producidos

Para aguas coaguladas se puede suponer que los sólidos suspendidos, en mg/l, son aproximadamente iguales a la turbiedad, en UNT, para calcular la cantidad total de lodos se utiliza la siguiente expresión. (Romero, 2006)

$$W = (S + 0.3D)Q * 10^{-3} \quad (1)$$

Donde:

W= kg de lodo seco de alumbre

S= turbiedad del agua cruda en UNT



D= dosis de sulfato de aluminio en mg/l

Q=metros cúbicos de agua tratada

3.6 Parámetros de diseño

3.6.1 Período de diseño

El período de diseño se puede definir como el tiempo que se supone la obra estará trabajando al 100% de su capacidad sin necesidad de ampliaciones o modificaciones. El período de diseño está vinculado con aspectos económicos, siendo importante considerar los costos de inversión y de operación ya que pueden afectar la sostenibilidad del ente encargado.

Otros factores que intervienen en la selección del período de diseño son la durabilidad o vida útil de las obras civiles, posibilidad de ampliaciones o sustituciones, calidad del agua, operación y mantenimiento, condiciones ambientales, entre otros. (López, 1995).

Para plantas de agua potable se recomienda periodos de 20 a 30 años, pero no menores de 15 años. (SENAGUA, 1992)

En la Tabla 2 se indica el tiempo de vida útil de los diferentes componentes de un sistema de abastecimiento de agua potable. La PTAP de Gualaceo tiene un periodo de 20 años, tomando como año base 1990, por lo que en teoría su vida útil terminaría en el año 2020.

Tabla 2 Períodos de diseño para obras Hidráulicas

Componente	vida util (años)
Diques y tuneles	50 a 100
Captaciones	25 a 50
Pozos	10 a 25
Conducciones hierro ductil	40 a 50
Conducciones de PVC	20 a 30
Conducciones de abesto Cemento	20 a 30
Plantas de tratamiento	30 a 40
Tanques de almacenamiento	30 a 40

Fuente: CO-Norma 10.07-602

3.6.2 Población de diseño

La población de diseño es la cantidad de personas que se espera tener en una localidad al final del período de diseño, esta se calcula en base de la población actual determinada



por un censo poblacional. Para el Ecuador la información censal es proporcionada por el Instituto Nacional de Estadísticas y Censos (INEC).

El crecimiento poblacional está en función de tres componentes que provocan cambios a lo largo del tiempo: nacimientos, defunciones, y migración. Dichos componentes crean dos procesos dinámicos en una población. El primer proceso introduce nuevos elementos a la población, donde intervienen la natalidad y la migración. El segundo proceso excluye individuos de la población, donde intervienen la mortalidad y la emigración. La relación entre estos dos procesos provoca que el tamaño de la población esté expuestos a cambios continuamente. (Torres-Degró, 2011). Sin embargo, se puede estimar una tasa de crecimiento poblacional suponiendo que, este crecimiento sigue un patrón preestablecido. Los análisis más utilizados en proyecciones parten del supuesto que la población sigue cierto modelo matemático.

Las proyecciones poblacionales son indispensables para llevar a cabo la planificación de las necesidades futuras de la población: económicos, sociales y políticos, así como un adecuado ordenamiento territorial. En las PTAP la población de diseño comprende un parámetro básico para el cálculo del caudal de diseño de la misma.

Para estimar una población futura es necesario estudiar las características sociales, culturales y económicas de la población en el pasado y en el presente, y hacer predicciones sobre su futuro desarrollo en lo que concierne a turismo y desarrollo industrial y comercial. (López, 1995)

Para el cálculo de la población futura el Código Ecuatoriano de la Construcción (CO 10.07-601) establece que la estimación de la población futura debe hacerse por lo menos tres métodos que permitan establecer comparaciones, para el caso de la presente evaluación se utilizó los métodos: geométrico, exponencial, logístico, y gráfico.

3.6.2.1 Método geométrico

El método asume que el crecimiento de la población proporcional al tamaño de esta, considera constante el porcentaje de crecimiento por unidad de tiempo y no la cantidad por unidad de tiempo.

$$Pf = Puc (1 + r)^{Tf - Tuc} \quad (2)$$

Donde:

$$r = \left(\frac{Puc}{Pci} \right)^{\left(\frac{1}{Tuc - Tci} \right)} - 1 \quad (3)$$

Puc= Población del último censo (hab)

Pci= Población censo inicial (hab)

Tuc=Año del último censo expresado en años



Tci= Año del censo inicial expresado en años

r= Tasa de crecimiento anual (hab/año)

3.6.2.2 Método Exponencial

$$Pf = Pci e^{Kg(Tf - Tci)} \quad (4)$$

Donde:

Pf: Población proyectada al año horizonte de diseño (hab)

Pci: Población del censo inicial (hab)

Tf: Año de la población proyectada (años)

Tci: Año del censo inicial (años)

$$Kg = \frac{\ln(Pcp) - \ln(Pca)}{Tcp - Tca} \quad (5)$$

Donde:

Pf: Población proyectada al año horizonte de diseño (hab)

Pci: Población del censo inicial (hab)

Tf: Año de la población proyectada (años)

Tci: Año del censo inicial (años)

Kg: Tasa de crecimiento de la población (hab/año).

Pcp: Población del censo anterior (hab)

Tcp: Año del censo posterior (años)

Tca: Año del censo anterior (años)

3.6.2.3 Método Logístico

El método logístico parte de la ecuación de Verhulst-Pearl:

$$P(t) = \frac{K P_0 e^{rt}}{K + P_0(e^{rt} - 1)} \quad (6)$$

Donde:

P (t): Población existente en el tiempo t

K: Capacidad de carga, nivel de saturación del sistema

Po: Población inicial expresada (hab)

r: Tasa instantánea de crecimiento poblacional (hab)

3.6.2.4 Método Gráfico

Consiste en hacer una comparación de manera gráfica de la población en estudio y de otras poblaciones del país con determinadas características. El método supone que la población en cuestión tendrá una tendencia de crecimiento similar al promedio del



crecimiento de las otras tres, después de que se haya sobrepasado el límite de la población base (último censo de la población estudiada).

3.6.3 Dotaciones

La dotación es la cantidad de agua necesaria para que cada habitante, en promedio pueda satisfacer sus necesidades básicas (CONAGUA, 2007); las unidades de expresión son l/hab/día.

Para determinar la cantidad de agua requerida, es necesario determinar el número de habitantes que serán servidos y su consumo por persona, este consumo debe ser estimado en base a un análisis de los factores que pueden que le puedan afectar, entre los más importantes se tiene: tipo y tamaño de la comunidad, factores económicos, presión de las redes de distribución, disponibilidad del servicio, existencia de alcantarillado sanitario.

3.6.3.1 Dotación básica

Es la cantidad mínima de agua requerida para satisfacer las necesidades básicas de una persona.

A falta de información se utiliza las dotaciones que se muestra en la Tabla 3 de las Normas Para Estudio y Diseño de Sistemas de Agua Potable y Disposición de Aguas Residuales para Poblaciones Mayores a 1000 Habitantes, para la población actual (48286 hab) la dotación básica es al menos 190 l/hab/día.

Tabla 3 Dotaciones Recomendadas según el número de habitantes y clima

Población (habitantes)	Clima	Dotación Media (l/hab/día)
hasta 5000	Frío	120-150
	Templado	130-160
	Cálido	170-200
500 a 50000	Frío	180-200
	Templado	190-220
	Cálido	200-230
mas de 50000	Frío	>200
	Templado	>220
	Cálido	>230

Fuente: CO-Norma 10.07-602



3.6.4 Caudales de consumo

3.6.4.1 Caudal medio diario

El consumo medio anual diario (en m³/s), se debe calcular por la fórmula:

$$Q_{med} = \frac{q * N}{(1000 * 86400)} \quad (7)$$

q = Dotación tomada de la Tabla 3 en l/hab/día.

N = Número de habitantes.

3.6.4.2 Caudal máximo diario

Es la demanda máxima que se presenta en un día del año. Es decir representa el día de mayor consumo (López, 2003). Se calcula con la siguiente expresión.

$$Q_{max_diario} = k1 * Q_{med} \quad (8)$$

Donde:

k1= coeficiente de mayoración máximo diario.

Q_{max_diario}=Caudal máximo diario (l/s)

Q_{med}=caudal medio diario (l/s)

El coeficiente de variación de consumo máximo diario debe establecerse en base a estudios en sistemas existentes, y aplicar por analogía al proyecto en estudio. En caso contrario se recomienda utilizar los siguientes valores.

$$K1 = 1,3 - 1,5$$

3.6.4.3 Caudal máximo horario

Es la demanda máxima que se presenta en una hora del día de máximo consumo (López, 2003). Se calcula con la siguiente expresión.

$$Q_{MH} = k2 * Q_{med} \quad (9)$$

donde:

Q_{MH}= Caudal máximo horario (l/s)

k2= Coeficiente de mayoración máximo horario.

Q_{md}= Caudal medio diario (l/s)

Para poblaciones pequeñas se tienen picos horarios mayores debido a las costumbres más heterogéneas por lo que el valor de k2 tiende a ser mayor con respecto a la población de ciudades grandes, debido a una menor o ninguna actividad comercial, industrial y nocturna.

A falta de información el CO 10.07-601A recomienda usar valores en el intervalo 2-2.3



3.7 Norma técnica ecuatoriana

La norma técnica NTE INEN 1108 establece los requisitos que debe cumplir el agua para consumo humano, la misma se aplica al agua de los sistemas de abastecimientos públicos y privados a través de redes de distribución y tanqueros, rige en todo el territorio nacional. (NTE INEN 1108, 2011)

La norma se utiliza con el fin de obtener resultados que garanticen la calidad del agua y que la misma no presente riesgos para la salud de las personas que la consumen.

Las Tablas 4, 5 y 6 se muestran los límites que establece la norma.

Tabla 4 Límites Permisibles para parámetros físicos para agua potable

PARAMETRO	UNIDAD	Límite Máximo Permissible
Características Físicas		
Color	Unidades de color verdadero (UTC)	15
Turbiedad	NTU	5
Olor	--	no objetable
Sabor	--	no objetable
pH	--	6,5-8,5
Sólidos Totales disueltos	mg/l	1000

Fuente: INEN 1108

Tabla 5 Límites para parámetros bacteriológicos para agua potable

PRUEBA	Máximo Permissible
Coliformes Totales (1) NMP/1000ml	< 2 *
Coliformes Fecales NMP/1000ml	< 2 *
Criptosporidium, # de quistes/100l	Ausencia
Giardia Lamblia, # de quistes/100l	Ausencia

Fuente: INEN 1108

Nota: Elaboración Propia



Tabla 6 Límites para parámetros químicos para agua potable

PARAMETRO	UNIDAD	Límite Máximo Permissible
Inorgánicos		
Aluminio	mg/l	0,25
Amonio	mg/l	1
Antimonio	mg/l	0,005
Arsenico	mg/l	0,01
Bario	mg/l	0,7
Boro	mg/l	0,3
Cadmio	mg/l	0,003
Cianuros	mg/l	0
Cloro libre residual	mg/l	0,3-1,5
Cloruros	mg/l	250
Cobalto	mg/l	0,2
Cobre	mg/l	1
Cromo	mg/l	0,05
Dureza Total	mg/l	300
Estaño	mg/l	0,1
Flúor	mg/l	1,5
Fosforo	mg/l	0,1
Hierro	mg/l	0,3
Litio	mg/l	0,2
Manganeso	mg/l	0,1
Mercurio	mg/l	0
Niquel	mg/l	0,02
Nitratos	mg/l	10
Nitritos	mg/l	0
Plata	mg/l	0,05
Plomo	mg/l	0,01
Potasio	mg/l	20
Selenio	mg/l	0,01
Sodio	mg/l	200
Sulfatos	mg/l	200
Vanadio	mg/l	0,1
Zinc	mg/l	3

Fuente: INEN 1108

Nota: Elaboración Propia

4. METODOLOGÍA.

Ilustración 1 Planta Tratamiento Agua Potable Gualaceo



Fuente: Autores

4.1 Unidad de mezcla rápida

4.1.1 Descripción

En la mezcla rápida se utiliza un cajón rectangular como un mezclador hidráulico que tiene en su ingreso un vertedero de cresta triangular a 90° , sus dimensiones son de 1.8 m de largo, 1.20 m de ancho y 1 m de profundidad.

4.1.2 Evaluación

Para determinar el comportamiento de la unidad de mezcla rápida se va analizar los siguientes parámetros:

- Geometría de la unidad y caudal de operación
- Determinación del tiempo de mezcla
- Resalto hidráulico y punto de aplicación
- Determinación de la intensidad de la mezcla.

4.1.2.1 Geometría de la unidad

Consiste en determinar si la unidad fue correctamente proyectada, se deber verificar que el resalto sea estable y uniforme a lo ancho del canal. (Canepa de Vargas, 2006)

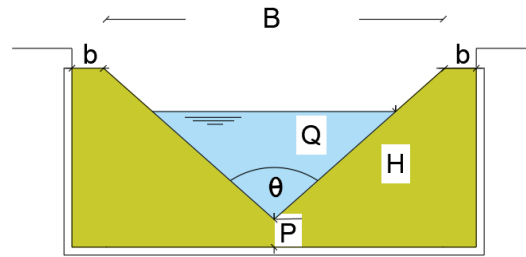


Figura 1 Vertedero triangular

Procedimiento:

Se determina las dimensiones de la estructura mediante un levantamiento planimétrico y cortes transversales, y se comparan con las dimensiones especificadas en el diseño.

De acuerdo con el diseño, el caudal de operación de la planta es de 60 litros por segundo produciendo una carga hidráulica sobre el vertedero de 30 cm

Según el método de Hégly el caudal real a través del vertedero se determina con la siguiente ecuación.

$$Q = \frac{8}{15} C_d * \sqrt{2g} * \tan\left(\frac{\theta}{2}\right) * H^{\frac{5}{2}} \quad (10)$$

En donde:

Q: Caudal en m³/s

C_d: Coeficiente de vertedero, igual a:

$$C_d = 0.5812 + \frac{0.00375}{h} * \left(1 + \left(\frac{h^2}{B(h+P)}\right)^2\right) \quad (11)$$

Valido para $\theta = 90^\circ$, $0.1 \text{ m} \leq h \leq 0.5 \text{ m}$.

4.1.2.2 Determinación del tiempo de mezcla

Las plantas de tratamiento de agua no tienen la eficiencia esperada por deficiencias hidráulicas que ocasionan determinadas características de flujo en las diferentes unidades. El tiempo de retención es un parámetro que generalmente se emplean en las evaluaciones de PTAP, con el fin de medir la rapidez o lentitud con la que ocurren las reacciones en los diferentes procesos de la planta.

Procedimiento:

Para determinar el tiempo de retención se utiliza el método de los trazadores. Corresponde al tiempo en que se logra la máxima concentración del trazador, mediante la medición de la conductividad del agua.

Con el equipo colocado en el punto de medición, se mide la conductividad inicial del agua cruda; adicionamos el trazador al final del vertedero, se determina el tiempo desde



el inicio en el que la conductividad del agua cruda cambia, hasta el momento en el que se mida la máxima conductividad.

En la unidad de mezcla rápida esto ocurre en tiempos cortos en el orden de 0.01 a 7 segundos, para el caso en estudio, se parte de la conductividad inicial de 28 uS/m en el que se agrega el trazador, la conductividad máxima se obtuvo a los 5 segundos con un valor de 1160 uS/m.

4.1.2.3 Resalto hidráulico y punto de aplicación

Se estudia el comportamiento del resalto hidráulico en el cajón de mezcla rápida, así como su longitud de desarrollo, velocidades, profundidad al inicio y al final del cajón y por último se determina la longitud aproximada del punto de aplicación del coagulante utilizando la geometría y el caudal real de operación, es decir de 57.2 l/s.

Procedimiento:

- Se determina el caudal por unidad de ancho del vertedero, la profundidad crítica de flujo, profundidad inicial y final del resalto hidráulico.

4.1.2.4 Determinación del tiempo y de la intensidad de la mezcla

El tiempo de mezcla depende de la longitud del resalto y de la velocidad media que circula a través de él, con el que se determina el gradiente de velocidad de la unidad.

Procedimiento:

- Determinar la velocidad media en la unidad de mezcla rápida.
- Determinar la temperatura del agua y seleccionar un valor de relación de temperatura de la Tabla 7

Tabla 7 Relación de temperatura

Temperatura °C	$v(\gamma/\mu)$
0	2337
4	2502
10	2737
15	2920
17	2998
20	3115
25	3267

Fuente: Tratamiento de agua para consumo humano, Manual III

- El tiempo de mezcla es



$$t = \frac{L_r}{V_m} \quad (12)$$

- Se determina el gradiente de velocidad con la ecuación convencional

$$G = \sqrt{\frac{\gamma h}{\mu t}} = \sqrt{\frac{9800 * 0.037m}{1.307 \times 10^{-3} * 0.65 s}} \quad (13)$$

4.2 Unidad de floculación

4.2.1 Descripción

La operación unitaria de floculación de la PTAP de Capzha, consta de tres cámaras de floculación hidráulica de flujo vertical. Cada cámara está dividida en 22 compartimientos por medio de pantallas verticales que permiten que el flujo ascienda y descienda funcionando como vertedero sumergido hasta llegar a los sedimentadores.

4.2.2 Evaluación

Para la evaluación de esta unidad, se tomó como referencia los criterios establecidos en el Manual de Evaluación de plantas de tecnología apropiada. (Canepa de Vargas, 2006)

A continuación, se detallan los parámetros utilizados para evaluar la operación unitaria de floculación.

- Geometría de la unidad
- Tiempo de retención de la unidad de floculación
- Intensidad de floculación o gradiente de velocidad en la unidad

4.2.2.1 Geometría de la unidad

Procedimiento:

Se determina el tipo y dimensiones de la unidad de floculación, con su respectivo número de pantallas en cada cámara y su estado actual es decir si existen deformaciones en las placas o roturas de las mismas.

Otro aspecto que se evalúa es el correcto número de compartimientos para lo cual se utilizara la siguiente formula:

$$N=L/Pe \quad (14)$$

Donde:

$$Pe=P-H \quad (15)$$

$$L=v*t \quad (16)$$

Pe=Profundidad equivalente

L=Longitud que atraviesa el agua por todo el floculador



H=pérdida de carga

v=Velocidad entre los compartimientos

t=tiempo de retención.

4.2.2.2 Tiempo de retención

Para realizar la evaluación se utiliza el método de trazadores, para lo cual se utiliza NaCl como trazador. Se aplica el trazador a la entrada del floculador, el tiempo de retención corresponde al cual exprese la mayor concentración del trazador.

4.2.2.3 Intensidad de floculación o gradiente de velocidad

Procedimiento:

- Determinar la pérdida de carga en el floculador en cada tramo nivelando la superficie del agua.
- Determinar la temperatura del agua y seleccionar un valor la relación temperatura/viscosidad de la Tabla 7.
- Aplicar trazadores y determinar el tiempo de retención en la unidad.

El gradiente de velocidad se calcula con la expresión que propone el Manual III del Tratamiento de agua potable para consumo humano (Cánepa de Vargas, 2005).

$$G = \sqrt{\frac{\gamma}{\mu}} * \sqrt{\frac{H}{T_R}} \quad (17)$$

Donde:

$\sqrt{\frac{\gamma}{\mu}}$: Relación de temperatura con la viscosidad

H: Pérdida de carga total (m)

T_R: Tiempo de Retención (seg)

4.3 Unidad de sedimentación

4.3.1 Descripción

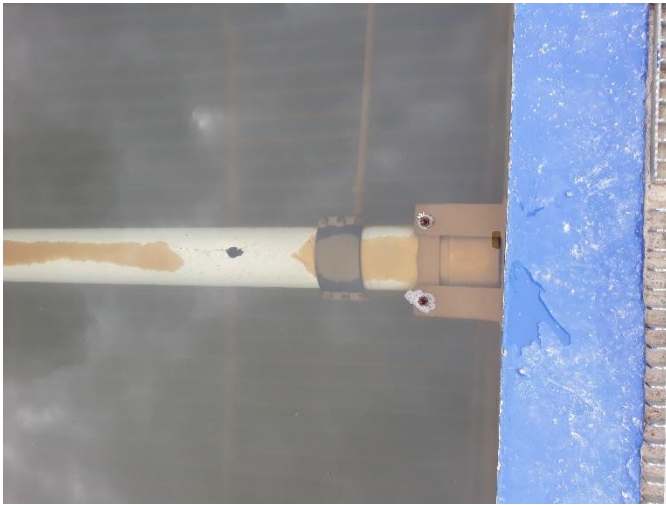
La unidad de sedimentación cuenta con dos cámaras de 5.6 m de largo por 3.6 m de ancho y una profundidad de 2m. Los sedimentadores son de flujo vertical ascendente.

El agua se distribuye entre placas paralelas entre sí con un ángulo de 60° y separadas 5cm una de otra de tal forma que los lodos se acumulan en el fondo de los tanques para su posterior evacuación.



El agua de los sedimentadores es recolectada por medio de 4 tubos perforados de PVC de 150 mm, separados 10 cm cada uno del otro.

Ilustración 2 Estado de la tubería recolectora



Fuente: POT Cantón Gualaceo

4.3.2 Evaluación

Para la evaluación de la unidad de sedimentación, se aplica la metodología del Manual III del Tratamiento de agua para consumo humano (Cánepa de Vargas, 2006).

La evaluación abarca los siguientes parámetros:

- Geometría de la Unidad
- Eficiencia
- Carga Superficial

4.3.2.1 Geometría de la unidad

Procedimiento:

Se determina las dimensiones de la estructura mediante un levantamiento planímetro y cortes transversales, y se comparan con las dimensiones especificadas en el diseño.

4.3.2.2 Eficiencia

Procedimiento

La eficiencia se determina comparando la calidad del agua cruda con la calidad del agua sedimentada, para la comparación se utiliza los parámetros físicos de: color y la turbiedad, para ello se utiliza los registros históricos de la planta los cuales fueron medidos cada 15 minutos las 24 horas al día.

4.3.2.3 Carga superficial

Procedimiento



Se compara la carga superficial real con la teórica.

Para determinar la carga superficial se utiliza la siguiente expresión:

$$q = \frac{H*100}{T_0*60} * 864 \quad (18)$$

Donde:

q=carga superficial

H=profundidad de la cámara de sedimentación (m)

To=Tiempo de retención (min)

4.4 Unidad de filtración

4.4.1 Descripción

La unidad de filtración está compuesta por 5 cámaras de filtración rápida de tasa declinante variable. Consta de un medio filtrante de arena y antracita. Cada unidad tiene 2,15 m de ancho, 2,16 m de largo las profundidades de los estratos variables de: 0,56 m de grava, 0,3 m de arena, 0,5 m de antracita y fondos falsos de 0,5m.

4.4.2 Evaluación

Para la unidad de filtración se evaluarán los siguientes parámetros:

- Geometría de la unidad
- Eficiencia

4.4.2.1 Geometría de la unidad

Procedimiento:

Mediante un levantamiento planímetro se levanta las dimensiones de la unidad y se compara con las especificadas en el diseño.

4.4.2.2 Eficiencia

Procedimiento:

Se compara los valores de color y turbiedad antes y después de la filtración, para ello se utiliza los registros históricos de la planta los cuales fueron medidos cada 15 minutos las 24 horas al día.

4.5 Unidad de desinfección

4.5.1 Descripción de la unidad

La unidad de desinfección cuenta, con una cámara de contacto de 2 metros de largo, 1 m de ancho y 5 m de profundidad, en ella se suministra cloro gas, con una concentración de 1,5 ppm hasta 2 ppm.



4.5.2 Evaluación

La evaluación de la unidad de desinfección esa dada por:

- Concentración del cloro residual

Procedimiento:

Se mide la concentración de cloro residual a la salida de la unidad en diferentes fechas las cuales fueron realizadas por el técnico encargado del laboratorio de la planta de tratamiento.

- Medición de cloro residual
- Inspección de la zona de almacenamiento

Procedimiento

Zona de almacenamiento

- Se verificó que los envases de cloro estén separados, en una zona limpia, bien ventilada e ignífuga.
- Se revisó que exista un sistema de ventilación adecuado ante posibles fugas
- Se revisó la disposición de equipo y material adecuado para la operación y mantenimiento de la caseta de cloración.

Medición de cloro residual

Procedimiento:

Para este punto se toman muestras a lo largo de toda la red de distribución en diferentes fechas para determinar el cloro residual, así como también, la cantidad de cloro residual a la salida de la planta de tratamiento en un registro anual y su efecto sobre el pH.

Ilustración 3 Sala de Cloración



Fuente: Autores

4.6 Caracterización del agua

La caracterización del agua provee información de las principales características físicas, químicas, y bacteriológicas del agua en el tiempo, principalmente en lo referente a la turbiedad, color, alcalinidad, pH.

Determinar la calidad del agua mediante parámetros físico, químicos y bacteriológicos, es importante, debido a la presencia de compuestos en estado coloidal o disueltos ya sea de origen natural, bioquímicos o externos debido a actividades humanas.

La evaluación de la Calidad del agua se realiza mediante análisis de laboratorio, cuyos resultados buscan conocer cuantitativamente, los parámetros físicos, químicos y microbiológicos más importantes que pueden afectar su uso.

Ilustración 4 Realización de ensayos de laboratorio



Fuente: Autores

- **Toma de Muestras**

Para realizar el análisis de la calidad del agua se realizaron muestreos en invierno; los análisis de las muestras se realizaron en el laboratorio de Sanitaria de la Universidad de Cuenca.

- Agua Cruda

Captación Río San Francisco
Entrada de la Planta
Sedimentadores
Salida de la Planta.

- Agua Clorada

Tanques de reserva
Punto de la red de distribución.

4.6.1 Análisis físico

Los parámetros analizados para la evaluación son:

- Temperatura
- Turbiedad



- Color Aparente
- Color Real
- Conductividad
- Sólidos Disueltos Totales

4.6.2 Análisis químico

El agua es un disolvente universal tanto de compuestos orgánicos como inorgánicos. Muchos de los compuestos químicos presentes en el agua ya sea por disolución o vertidos por actividad humano son potencialmente peligrosos para la salud a largo plazo y no por una breve exposición, por lo que es necesario un análisis para ver su presencia o ausencia. Los parámetros analizados para la evaluación son:

- pH
- Alcalinidad Total
- Alcalinidad F.
- Dureza Total
- Ca⁺⁺
- Mg⁺⁺
- Hierro Total
- Manganeseo
- Taninos y Ligninas
- P. Ortofosfatos Disueltos
- Cloruros
- Sulfatos
- N. Nitritos
- N. Nitratos
- Fluoruros
- Aluminio Libre

4.6.3 Análisis bacteriológico

El mayor factor de riesgo para la salud a ser considerado en el agua destinada al consumo humano, es el microbiológico; específicamente, el de los organismos patógenos asociados con la contaminación por heces humanas o excrementos de animales.

Es claro que resulta imposible aislar e identificar todos y cada uno de los miles de organismos patógenos en razón del elevado costo, dificultad de los procesos y la demanda de los mismos, por lo que se emplean los llamados organismos indicadores cuya presencia o ausencia determina la existencia de otros organismos causantes de enfermedades. (Lozado & Lozado , 2015)

Los parámetros analizados son:



Universidad de Cuenca

- Los Coliformes Totales
- La Escherichia Coli



5. RESULTADOS

5.1 Población futura

- **Método geométrico**

Censo inicial año 1950, censo final año 2010:

$$r_{2010-1950} = \left(\frac{P_{2010}}{P_{1950}} \right)^{\left(\frac{1}{T_{2010}-T_{1950}} \right)} - 1$$

El resultado es:

$$r_{2010-1950} = \left(\frac{42709}{31152} \right)^{\left(\frac{1}{2010-1950} \right)} - 1$$

$$r_{2010-1950} = 0.52 \%$$

La población proyectada para el año 2038 será:

$$P_{2038} = P_{2010} (1 + r_{2010-1950})^{T_{2038}-T_{2010}}$$

$$P_{2038} = 42709 (1 + 0.0052)^{2038-2010}$$

$$P_{2038} = 49385 \text{ habitantes}$$

Considerando como censo inicial año 2001, censo final año 2010:

$$r_{2010-2001} = \left(\frac{P_{2010}}{P_{2001}} \right)^{\left(\frac{1}{T_{2010}-T_{2001}} \right)} - 1$$

El resultado es:

$$r_{2010-2001} = \left(\frac{42709}{38587} \right)^{\left(\frac{1}{2010-2001} \right)} - 1$$

$$r_{2010-2001} = 1.13 \%$$

La población proyectada para el año 2038 será:

$$P_{2038} = P_{2010} * (1 + r_{2010-2001})^{T_{2038}-T_{2010}}$$

$$P_{2038} = 42709 * (1 + 0.0113)^{2038-2010}$$

$$P_{2038} = 58501 \text{ habitantes}$$

De acuerdo al método geométrico considerando la tasa de crecimiento de los últimos dos censos la población para el año 2038 es de 58501 habitantes.

- **Método exponencial**



Censo inicial año 1974, censo final año 1982:

$$Kg = \frac{\ln(41209) - \ln(34798)}{1982 - 1974} = 2.11\%$$

$$Pf = 34798 e^{0.0211*(2038 - 1974)} = 134285 \text{ habitantes}$$

Censo inicial año 1982, censo final año 1990:

$$Kg = \frac{\ln(45269) - \ln(41209)}{1990 - 1982} = 1.12\%$$

$$Pf = 41209 e^{0.012*(2038 - 1982)} = 80694 \text{ habitantes}$$

Censo inicial año 2001, censo final año 2010:

$$Kg = \frac{\ln(42709) - \ln(38587)}{2010 - 2001} = 1.13\%$$

$$Pf = 38587 e^{0.013*(2038 - 2001)} = 62422 \text{ habitantes}$$

Para el método exponencial se considera las tasas de crecimiento positivas, haciendo una consideración de que el cantón Gualaceo se encuentra cerca de saturarse en su crecimiento urbano, se toma como una proyección adecuada para el 2038 los 62422 habitantes

- **Método Logístico**

Los parámetros para el ajuste a una curva logística son:

Po = 31152 habitantes, en el primer censo.

K = 53000 habitantes

t = 0 (en primer censo y t = 88 para el año 2038)

r = 0.028

De donde se tiene la ecuación de la curva logística que se muestra a continuación:

$$P(t) = \frac{50000 * 31152 * e^{0.028t}}{50000 + 31152 * (e^{0.028t} - 1)}$$

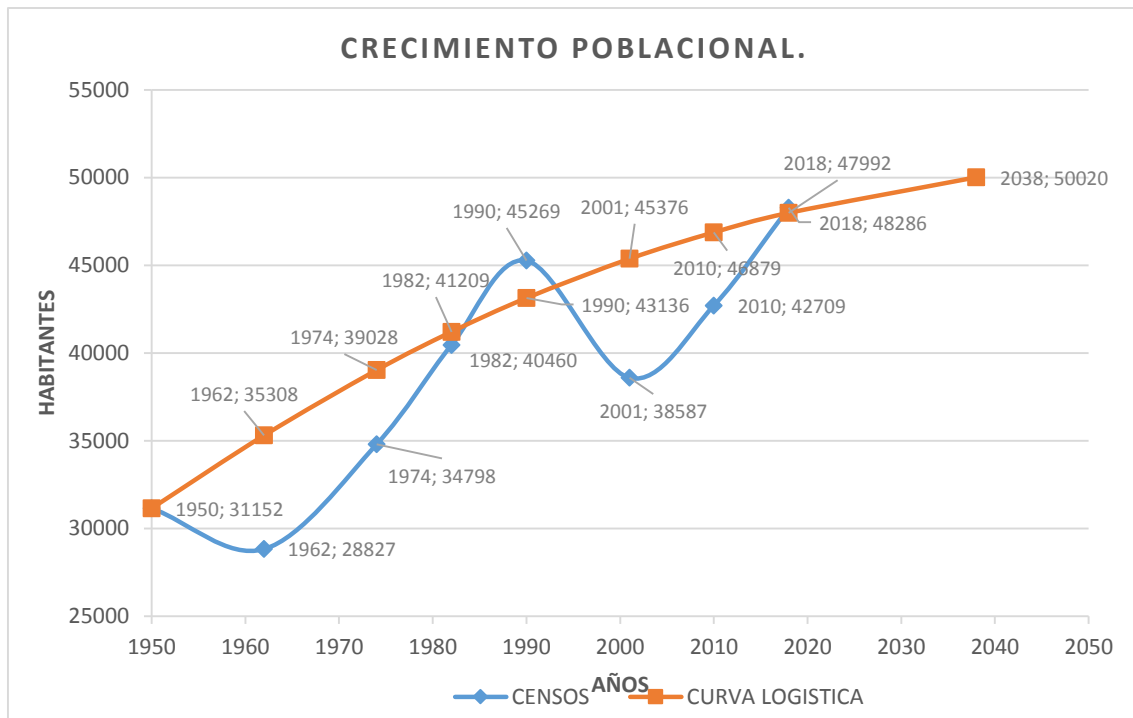


Figura 2 Crecimiento Poblacional según el método logístico

La Tabla 8 muestra la estimación de la población a justando a todos los datos censales del cantón Gualaceo que no se ajusta a una curva logística.

Tabla 8 Proyección por ajuste a curva Logística

Año	P	t
1950	31152	0
1962	35308	12
1974	39028	24
1982	41209	32
1990	43136	40
2001	45376	51
2010	46879	60
2018	48240	70
2038	50020	88

Fuente: Autores

De donde se puede observar que la para el año 2038 se tiene una población de 50020 habitantes.

Considerando los dos últimos censos, se presenta la siguiente figura.

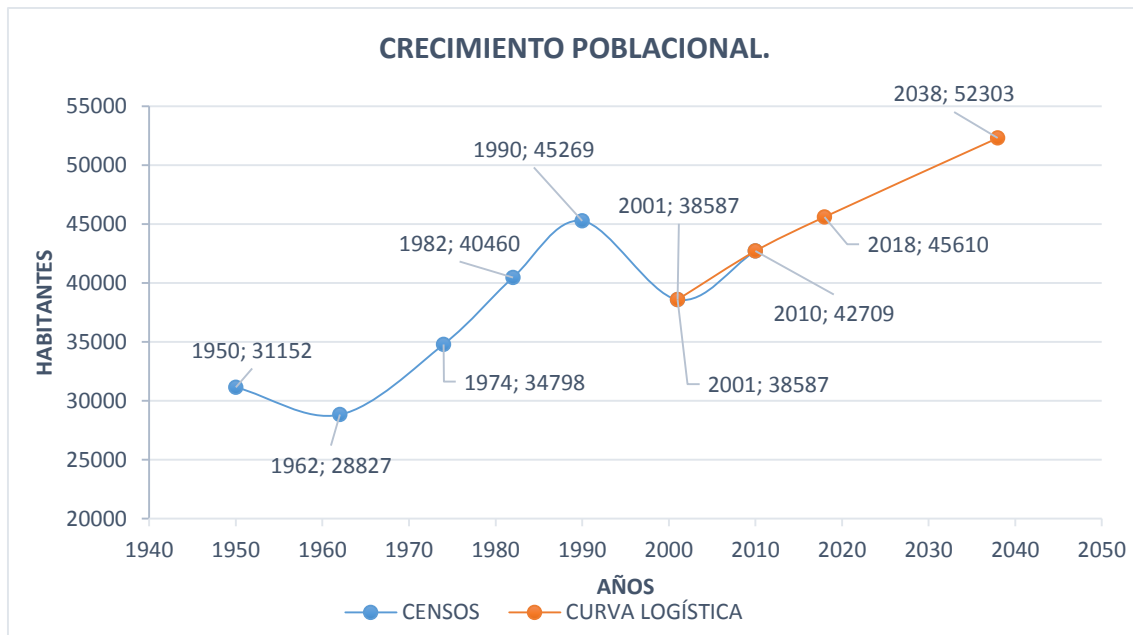


Figura 3 Crecimiento Poblacional Curva-Logística

A partir de la gráfica anterior se estima la población ajustando los dos últimos censos a una curva logística.

Tabla 9 Proyección por la curva logística Población a partir de los últimos censos

Año	P	t
2001	38587	0
2010	42709	9
2018	45610	17
2038	52303	37

Fuente: Autores

La Tabla 9 indica que para el año 2038, el número de habitantes será de 52303 habitantes.

- **Método gráfico**

Se trabaja entonces con las siguientes poblaciones, de acuerdo a los censos realizados por el INEC:



Tabla 10 Cantones para el estudio del método gráfico

Año	Gualaceo	Azogues	Tulcán	Babahoyo
1950	31152	8137	16838	7133
1962	28827	9731	21980	13742
1974	34798	16252	30884	26518
1982	40460	18931	35768	41776
1990	45269	68868	69643	84010
2001	38587	64910	77175	111671
2010	42709	70064	86498	144076

Fuente: Autores

Se consideró la población en estudio, cantón Gualaceo, además una ciudad de la misma región, similar en desarrollo, clima y tamaño, como es el cantón Azogues. La siguiente es una ciudad de la misma región, similar en desarrollo y clima, pero con un número relativamente mayor de habitantes que el cantón en estudio, para el cual se escogió el cantón Tulcán. Por último, se toma una ciudad de otra región y de mayor población como es el cantón Babahoyo.

El procedimiento es el siguiente:

- Se desplazan paralelamente hasta el último censo de la población en estudio, cada una de las curvas de crecimiento que sobrepasen la población base.
- De ser necesario, se prolonga hasta el año correspondiente al período de diseño la última tendencia de crecimiento.
- Se adopta como población de la ciudad en estudio el promedio de los valores de población de las tres ciudades desplazadas y prolongadas para cada uno de los años de interés.

La Figura 5 muestra los resultados del método gráfico.

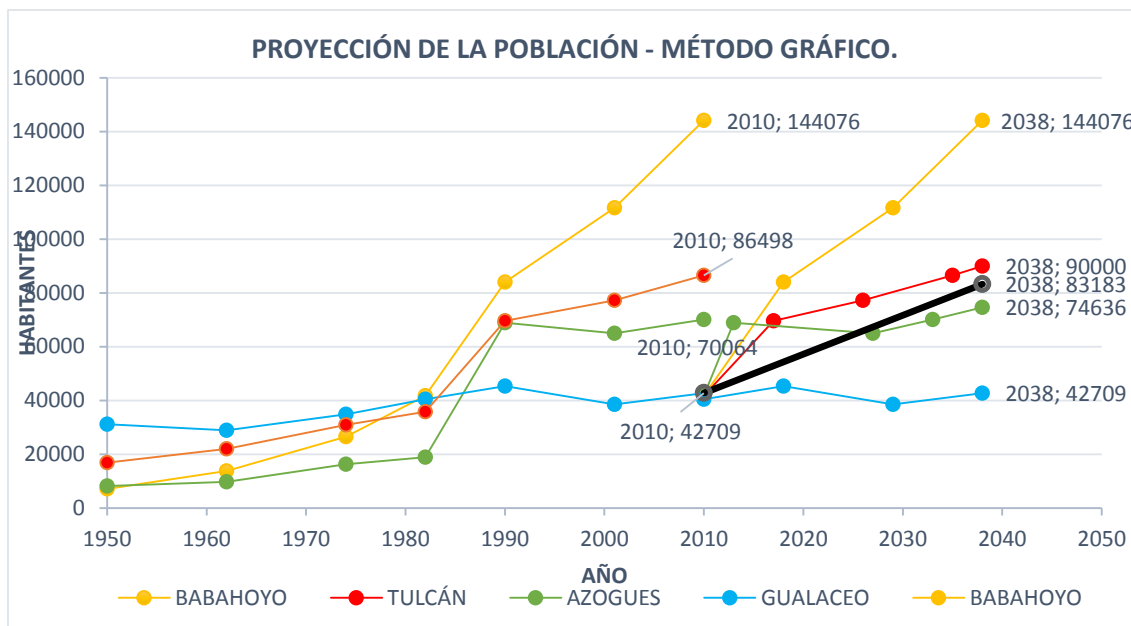


Figura 4 Crecimiento Poblacional según el método Gráfico

En la Tabla 11 se muestra los resultados de la proyección de la población desde el último censo de acuerdo a una línea de tendencia entre las diferentes series, de donde se obtiene.

Tabla 11 Proyección por el método gráfico

Año	Población
2010	42709
2018	54273
2038	83183

Fuente: Autores

Los resultados de proyección de población para el cantón Gualaceo, utilizando los métodos de proyección geométrico, exponencial y logístico presentan similitud, sin embargo, el método gráfico presenta deficiencias, el valor encontrado para la proyección del año 2038 difiere debido a que, si bien, los cantones escogidos para el estudio del método gráfico cumple los requisitos para ser aplicables a este método, presentan crecimientos y decrecimientos de la población, esto implica tasas de crecimiento positivas y negativas que alteran la estimación gráfica y al momento de considerar los últimos dos censos esta estimación resulta elevada en comparación de los otros tres métodos que tienen valores cercanos entre sí. Para el método geométrico se ha considerado la tasa de crecimiento de los dos últimos censos debido a la variación de la población, luego de esto se toma en consideración el método exponencial, con el que se ha trabajado con distintas tasas de crecimiento positivas de acuerdo a los registros de censos anteriores, en este método se consideró una tasa de crecimiento de acuerdo a los dos últimos censos, la curva logística que utiliza todos los censos no se ajusta de forma adecuada a los datos censales, se procedió a ajustar dicha curva de igual



manera a los dos últimos registros, es claro que para tener un mejor ajuste se debería al menos ajustar a tres datos de censos, el crecimiento poblacional a nivel mundial crece de forma exponencial y es el método que se da por aceptado en el presente estudio por lo que la población de diseño considerada es de 62422 habitantes.

5.2 Dotación media actual

Según los registros de la empresa de agua potable EMAPAS G-EP, diariamente se registra un caudal promedio continuo de agua tratada de 57.2 L/s, lo que representa un volumen diario de 4752 m³, repartidos para la población actual de 4828 habitantes resulta una dotación media de 103 l/hab/día.

5.3 Caudal medio diario

La población para el año 2038 se estima de 62422 habitantes, para clima templado y poblaciones mayores a 50000 se estima una dotación de 220 l/s o al menos la dotación actual de 103 l/hab/día.

$$Q_{med} = \frac{103 \frac{l}{hab} * 62422 hab}{(1000 * 86400)}$$

$$Q_{med} = 0,0744m^3/s$$

$$Q_{med} = 74.4 l/s$$

5.4 Caudal máximo diario

Se adopta $K_{max.dia} = 1,4$.

De donde:

$$Q_{max_diario} = 1,4 * 74.4 l/s$$

$$Q_{max_diario} = 104.16 l/s$$

5.5 Caudal máximo horario

El valor adoptado es $K_2 = 2,2$, por lo que:

$$Q_{maxHor} = K_{max.hor} * Q_{med}$$

$$Q_{maxHor} = 2,2 * 74.4 l/s$$

$$Q_{maxHor} = 229.15 l/s$$

5.6 Mezcla Rápida

5.6.1 Geometría y caudal de operación

Se determinó las dimensiones de la estructura y se comparó con las dimensiones especificadas en el diseño. El caudal de operación en el diseño original es de 60l/s, sin embargo, el caudal que se mide en la planta de tratamiento es de 57.2 l/s (en condiciones normales).

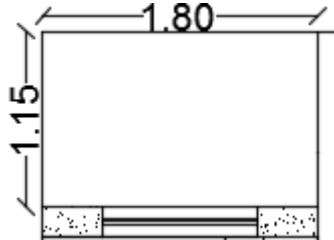


Figura 5 Vista en Planta de la Unidad de Mezcla Rápida

Tabla 12 Dimensiones del vertedero de ingreso

Geometría del Vertedero de entrada			
Parámetro	Diseño	Real	Unidad
B	0,86	0,90	m
b	0,08	0,09	m
θ	90	90	°
P	0,10	0,10	m
Cd	0,600	0,595	
H	0,30	0,28	m
Q	60,00	57,20	m ³ /s

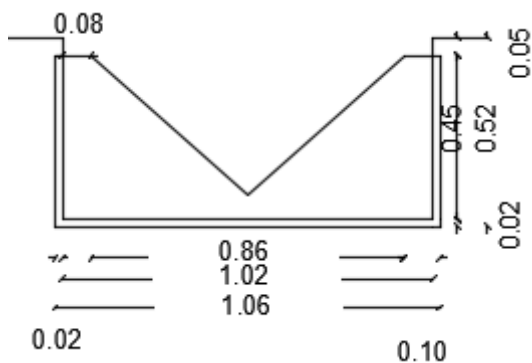


Figura 6 Elevación del vertedero de entrada

Nota: El corte corresponde a las medidas especificadas en el diseño



Con la fórmula de Hégly se determina el caudal de operación del vertedero variando la carga hidráulica.

Tabla 13 Caudales de operación del vertedero de ingreso

CAUDAL DE OPERACIÓN PARA EL VERTEDERO TRIANGULAR								
H (cm)	Cd	Q (l/s)	H (cm)	Cd	Q (l/s)	H (cm)	Cd	Q (l/s)
0,0	-----	0,0	13,5	0,609	9,6	27,0	0,596	53,3
0,5	1,331	0,0	14,0	0,608	10,5	27,5	0,596	55,8
1,0	0,956	0,0	14,5	0,607	11,5	28,0	0,595	58,3
1,5	0,831	0,1	15,0	0,606	12,5	28,5	0,595	61,0
2,0	0,769	0,1	15,5	0,606	13,5	29,0	0,595	63,6
2,5	0,731	0,2	16,0	0,605	14,6	29,5	0,595	66,4
3,0	0,706	0,3	16,5	0,604	15,8	30,0	0,594	69,2
3,5	0,688	0,4	17,0	0,604	17,0	30,5	0,594	72,1
4,0	0,675	0,5	17,5	0,603	18,2	31,0	0,594	75,1
4,5	0,665	0,7	18,0	0,602	19,6	31,5	0,594	78,1
5,0	0,656	0,9	18,5	0,602	20,9	32,0	0,594	81,3
5,5	0,649	1,1	19,0	0,601	22,4	32,5	0,594	84,4
6,0	0,644	1,3	19,5	0,601	23,8	33,0	0,593	87,7
6,5	0,639	1,6	20,0	0,600	25,4	33,5	0,593	91,0
7,0	0,635	1,9	20,5	0,600	27,0	34,0	0,593	94,5
7,5	0,631	2,3	21,0	0,600	28,6	34,5	0,593	97,9
8,0	0,628	2,7	21,5	0,599	30,3	35,0	0,593	101,5
8,5	0,625	3,1	22,0	0,599	32,1	35,5	0,593	105,1
9,0	0,623	3,6	22,5	0,598	33,9	36,0	0,593	108,9
9,5	0,621	4,1	23,0	0,598	35,8	36,5	0,593	112,7
10,0	0,619	4,6	23,5	0,598	37,8	37,0	0,592	116,5
10,5	0,617	5,2	24,0	0,597	39,8	37,5	0,592	120,5
11,0	0,615	5,8	24,5	0,597	41,9	38,0	0,592	124,5
11,5	0,614	6,5	25,0	0,597	44,1	38,5	0,592	128,6
12,0	0,613	7,2	25,5	0,597	46,3	39,0	0,592	132,8
12,5	0,611	8,0	26,0	0,596	48,6	39,5	0,592	137,1
13,0	0,610	8,8	26,5	0,596	50,9	40,0	0,592	141,5

5.6.2 Punto de aplicación

El sulfato de aluminio se aplica en la zona de mayor turbulencia sin embargo la mezcla no es homogénea pues no aplica en un solo punto.

- Se determina el caudal por unidad de ancho del vertedero, la profundidad crítica de flujo, profundidad inicial y final del resalto hidráulico.

$$q = \frac{Q}{B} = \frac{0.0572 \text{ m}^3/\text{s}}{0.9 \text{ m}} = 0.06355 \text{ m}^2/\text{s}$$



$$hc = \left(\frac{q^2}{g}\right)^{1/3} = \left(\frac{(0.06355 \text{ m}^2/\text{s})^2}{9.81 \text{ m/s}^2}\right)^{1/3} = 7.44 \text{ cm}$$

$$\frac{h_1}{hc} = \frac{\sqrt{2}}{1.06 + \sqrt{\frac{P}{hc}} + 1.5} = \frac{\sqrt{2}}{1.06 + \sqrt{\frac{0.1\text{m}}{0.0744\text{m}}} + 1.5} =$$

$$h_1 = 4 \text{ cm}$$

$$V_1 = \frac{q}{h_1} = \frac{0.06355 \text{ m}^2/\text{s}}{0.0388 \text{ m}} = 1.64 \text{ m/s}$$

$$F_1 = \frac{V_1}{\sqrt{gh_1}} = \frac{1.64 \text{ m/s}}{\sqrt{(9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}) * 0.0388 \text{ m}}} = 2.7$$

$$\frac{h_2}{h_1} = \frac{\sqrt{1 + 8F_1^2} - 1}{2} = \frac{\sqrt{1 + 8 * 2.658^2} - 1}{2}$$

$$h_2 = 13.2 \text{ cm}$$

$$V_2 = \frac{q}{h_2} = \frac{0.06355 \text{ m}^2/\text{s}}{0.132 \text{ m}} = 0.05 \text{ m/s}$$

- Longitud del resalto, pérdida de carga en el resalto, longitud de aplicación del coagulante

$$L_r = 6(h_2 - h_1) = 6(0.132\text{m} - 0.04\text{m}) = 0.55 \text{ m}$$

$$h = \frac{(h_2 - h_1)^3}{4h_1h_2} = \frac{(0.132\text{m} - 0.04\text{m})^3}{4(0.132\text{m} * 0.04\text{m})} = 3.7 \text{ cm}$$

$$L_m = 1.45 * P^{0.54} * H^{0.46} = 1.45 * 0.10^{0.54} * 0.28^{0.46} = 0.24 \text{ m}$$

En la mezcla rápida el número de Froude indica las condiciones de intensidad de agitación y caracteriza al resalto hidráulico. En el presente estudio el número de Froude es de 2.7 que lo clasifica como un resalto oscilante su disipación de energía es de entre el 15 a 45 %. Lo recomendable en la unidad de mezcla rápida es un resalto estable, es decir un número de Froude de entre 4.5 – 9, esto se puede lograr incrementando la velocidad al inicio del resalto (V1). Además en esta unidad se tiene una intensidad de mezcla de 235.45 s^{-1} , valor que está dentro de lo recomendable con un valor límite de 1000 s^{-1} , el valor medido podría incrementarse para incrementar su eficiencia en la mezcla. Su tiempo de retención es de 5 segundos que también está dentro de lo recomendable (0.01 a 7 segundos).

Tabla 14 Clasificación del Resalto Hidráulico.

F_1	Tipo de Resalto Hidráulico	Características del Resalto Hidráulico	Esquema
$F_1 < 1$	No se forma	La corriente es subcrítica y seguiría siendo subcrítica.	
$F_1 = 1$	No se forma	El flujo es crítico y no se presentan condiciones para la formación de un R.H.	
$1 < F_1 \leq 1.7$	R.H. ondular	La superficie libre presenta ondulaciones. La disipación de energía es baja, menor del 5%.	
$1.7 < F_1 \leq 2.5$	R.H. débil	Se generan muchos rodillos de agua en la superficie del resalto, seguidos de una superficie suave y estable, aguas abajo. La energía disipada es del 5 al 15%.	
$2.5 < F_1 \leq 4.5$	R.H. oscilante	Presenta un chorro intermitente, sin ninguna periodicidad, que parte desde el fondo y se manifiesta hasta la superficie, y retrocede nuevamente. Cada oscilación produce una gran onda que puede viajar largas distancias. La disipación de energía es del 15 al 45%.	
$4.5 < F_1 \leq 9$	R.H. estable	Su acción y posición son poco variables y presenta el mejor comportamiento. La energía disipada en este resalto puede estar entre el 45 y el 70%.	
$F_1 < 9$	R.H. fuerte	Caracterizado por altas velocidades y turbulencia, con generación de ondas y formación de una superficie tosca, aguas abajo. Su acción es fuerte y de alta disipación de energía, que puede alcanzar hasta un 85%.	

Fuente: (Chow, 1994) hidráulica de canales

5.6.3 Tiempo de Mezcla

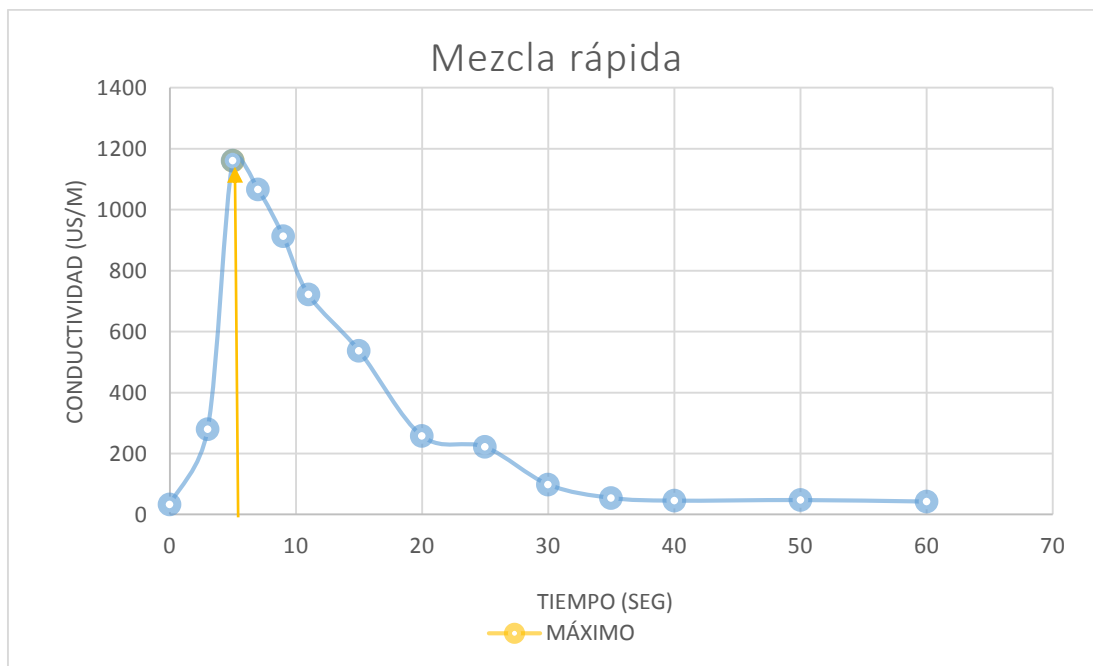


Figura 7 Tiempo de Retención en la unidad de mezcla rápida



- Velocidad en la unidad de mezcla rápida.

$$V_m = \frac{V_1 + V_2}{2} = \frac{1.64 \text{ m/s} + 0.05 \text{ m/s}}{2} = 0.85 \text{ m/s}$$

- Con una temperatura del agua de 10 °C se selecciona un valor de relación de temperatura de la Tabla 7

$$\sqrt{\frac{\gamma}{\mu}} = 2737$$

- Tiempo de mezcla

$$t = \frac{L_r}{V_m} = \frac{0.55 \text{ m}}{0.85 \text{ m/s}} = 0.65 \text{ seg}$$

- Gradiente de velocidad

$$G = \sqrt{\frac{\gamma h}{\mu t}} = 2737 * \sqrt{\frac{0.037 \text{ m}}{5 \text{ s}}} = 235.45 \text{ s}^{-1}$$

5.7 Floculación

5.7.1 Tiempo de retención

Concluido el ensayo de trazadores, se obtiene la curva de análisis de tiempo se tiene un tiempo de retención de 38 minutos, según el Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente CEPIS para floculadores de flujo vertical con caudales de entre 50 a 1000 litros por segundo el tiempo de retención debe estar entre 20 a 75 minutos, que es un rango moderado para la formación del floc sin que se deposite en esta misma unidad.

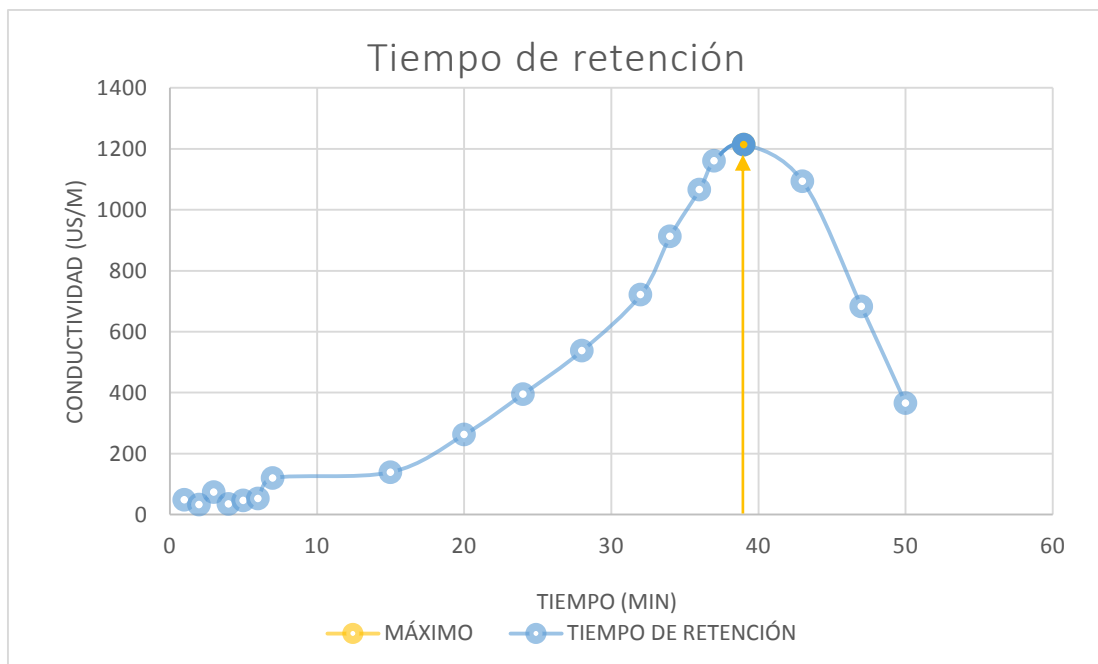


Figura 8 Tiempo de retención de la unidad de floculación

Gradiente método de Wolf Resnick

Se aplica el método del Wolf Resnick a toda la unidad de floculación, con los datos obtenidos en el método de trazadores se construyó la Tabla 36 y se obtuvo las siguientes graficas:

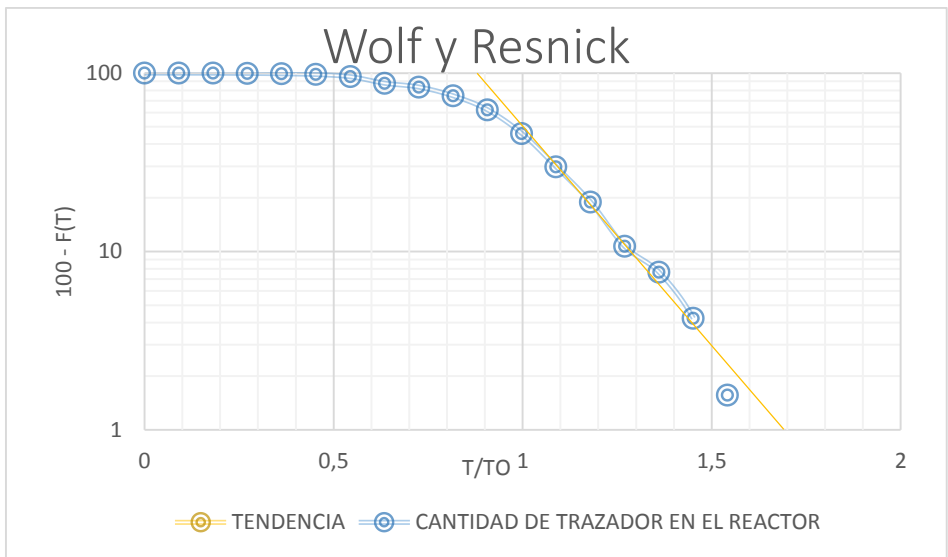


Figura 9 Aplicación del Método de Wolf Resnick para los floculadores

Tiempo de retención teórico t_0 de la unidad de floculación es:

$$t_0 = 33.07 \text{ min}$$

$$\theta = 0.78$$

$$\frac{t_1}{t_0} = 0.78$$

$$\frac{t_2}{t_0} = 1.27$$

$$\tan \alpha = \frac{1}{\frac{t_2}{t_0} - \frac{t_1}{t_0}}$$

$$\tan \alpha = 2.04$$

Cantidad de flujo a pistón

$$p = \frac{\theta \tan \alpha}{0.453 + \theta \tan \alpha}$$

$$p = 77\%$$

Porcentaje de espacios muertos



$$m = 1 - \frac{\theta}{p} =$$

$$m = -0.012 = 0\%$$

Porcentaje de flujo mezclado

$$M = 1 - p = 1 - 0.77 = 23\%$$

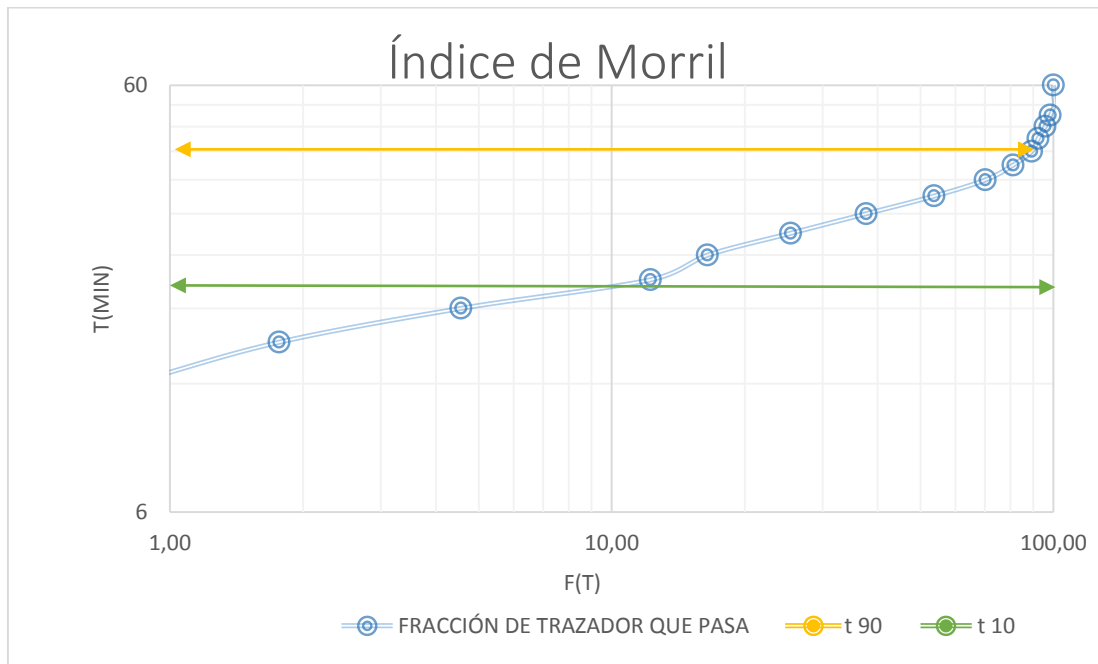


Figura 10 Índice de Morril para la unidad de floculación

$$I_M = \frac{t_{90}}{t_{10}}$$

$$I_M = \frac{42 \text{ min}}{19 \text{ min}} = 2.21$$

Los resultados del método de Wolf Resnick muestran que existe un predominio del flujo a pistón pues este alcanza un 77% no se presentan espacios muertos, por otro lado el flujo mezclado llega a un 23%.

El tiempo de retención teórico es de 33 minutos mientras que el real es de 39 minutos existiendo un aumento del 18.18 respecto del teórico, esto conlleva aun mayor número de contacto de los flocs formados lo cual podría desestabilizar a los mismos.

ZONAS DE SEDIMENTACIÓN

Floculador zona 1

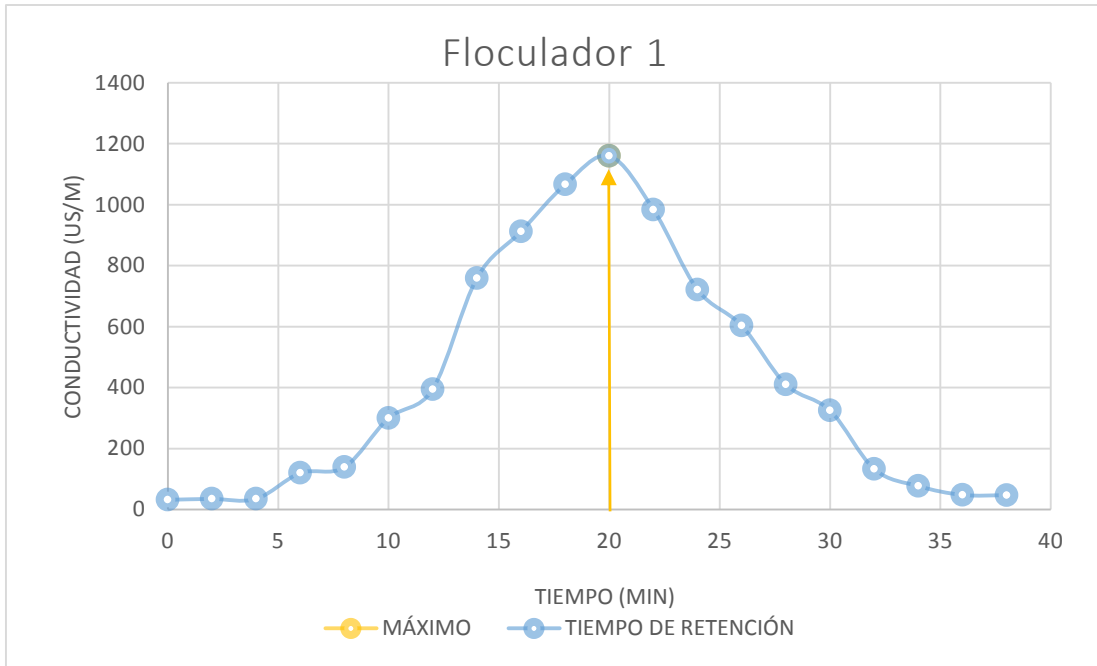


Figura 11 Variación de la concentración del trazador para la zona 1

- Floculador zona 2

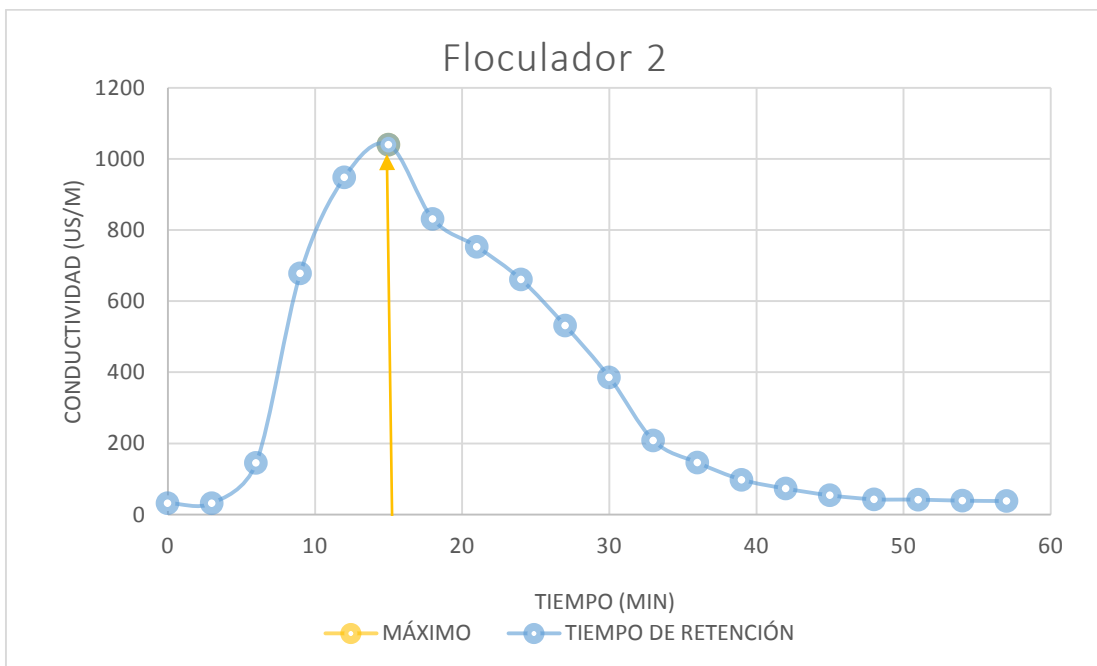


Figura 12 Variación de la concentración del trazador para la zona 2

- Floculador zona 3

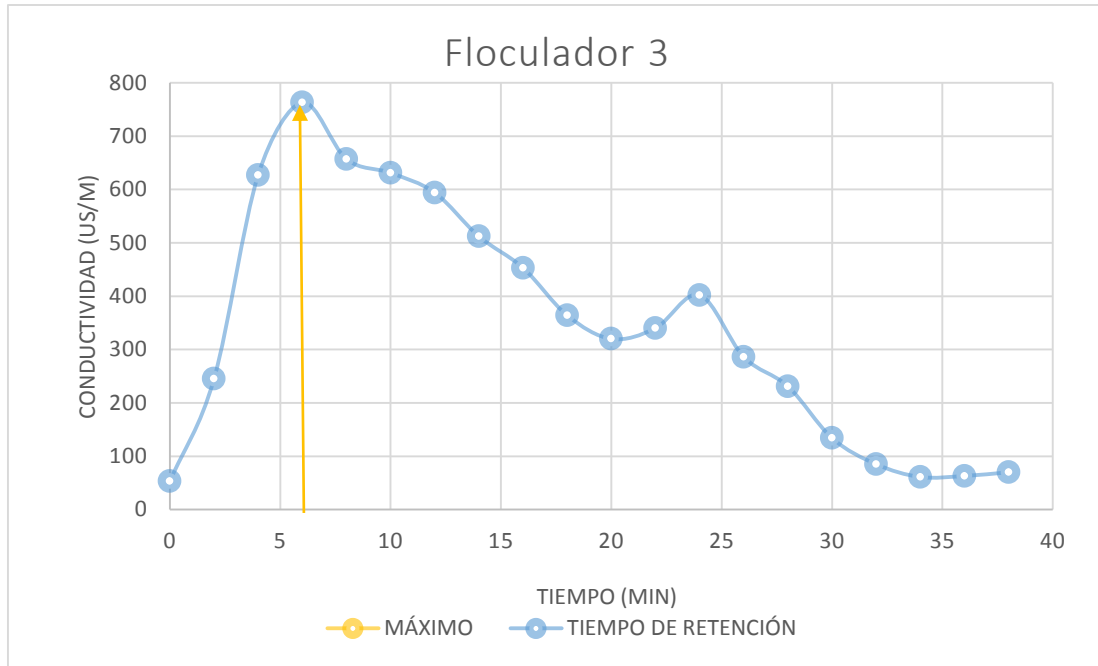


Figura 13 Variación de la concentración del trazador para la zona 3

5.7.2 Gradiente de velocidad en la unidad.

El gradiente de velocidad se calcula con la expresión expuesta en la metodología de la evaluación donde:

$$G = \sqrt{\frac{\delta}{\mu}} * \sqrt{\frac{H}{Tr}}$$

Tr=38 min=2340 seg

Para una temperatura de 15 grados de la Tabla 7 se obtiene la relación de temperatura viscosidad de:

$$\sqrt{\frac{\delta}{\mu}} = 2920$$

La pérdida de carga H en la unidad de floculación se mide desde la cámara 1 de la entrada de la zona 1 hasta la última cámara de la zona tres dando como resultado un valor de 53 centímetros

Remplazando los valores se obtiene:

$$G = 43.95 \text{ s}^{-1}$$

5.7.3 Geometría de la unidad

Se realizó un levantamiento planímetro de la unidad, la información levantada se presenta en las Tabla 17, Tabla 18 y Tabla 19 para las cámaras 1, 2 y 3 respectivamente. Mientras que en la Figura 15 se presenta las dimensiones especificadas en los diseños.

El diseño contempla 22 pantallas para cada cámara, lo cual concuerda con la evaluación realizada se observa, se observa que las mediciones realizadas presentan pequeñas variaciones con los especificadas en el diseño, estas variaciones producen cambios en los gradientes y tiempos de retención por lo que dichos valores se comparan con las medidas reales y las teóricas especificadas en los diseños originales.

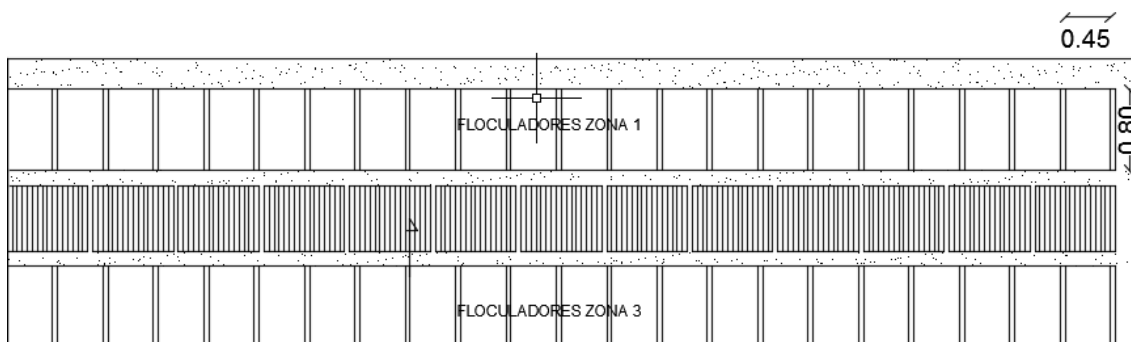


Figura 14 Medidas especificadas en el diseño.

Tabla 15 Dimensiones cámaras de floculación

Zona	L (m)	a (m)	DIMENSIONES				
			b (m)	Pendiente	V (m3)	H (m)	hf real (cm)
1	11,7	0,45	0,8	1,00%	31,52	4,15	26
2	11,7	0,45	0,8	1,00%	30,17	3,87	13,5
3	11,7	0,45	0,8	1,00%	29	3,74	12,5

Interconexión entre las cámaras de floculación



Tabla 16 Interconexión entre cámaras del floculador zonas 1, 2 y 3

Interconexión	Sección de interconexión mxm	Altura tramo recto m
1 a 2	0,79 x 0,25	3,55
2 a 3	0,80 x 0,30	3,55
3 a 4	0,81 x 0,30	3,55
4 a 5	0,79 x 0,30	3,55
5 a 6	0,80 x 0,30	3,55
6 a 7	0,80 x 0,30	3,55
7 a 8	0,80 x 0,30	3,55
8 a 9	0,79 x 0,30	3,55
9 a 10	0,79 x 0,30	3,55
10 a 11	0,81 x 0,30	3,55
11 a 12	0,80 x 0,30	3,55
12 a 13	0,80 x 0,30	3,55
13 a 14	0,80 x 0,30	3,55
14 a 15	0,79 x 0,30	3,55
15 a 16	0,80 x 0,30	3,55
16 a 17	0,80 x 0,30	3,55
17 a 18	0,80 x 0,30	3,55
18 a 19	0,79 x 0,30	3,55
19 a 20	0,81 x 0,30	3,55
20 a 21	0,81 x 0,30	3,55
21 a 22	0,80 x 0,30	3,55
22 a salida	0,80 x 0,30	3,55

Geometría del floculador zona 1

- Distancia total recorrida
 $L_r = v_1 * t_1$
Donde:
L= longitud del canal de floculación)
v1= 0.1m/s (velocidad media de flujo)
t1= 1200 seg (tiempo de retención hidráulica)
 $L_r = 120 m$
- **Profundidad efectiva de la zona 1**
H= 4.3 m (profundidad de la zona 1)
hf= 0.26 m (pérdida de carga en el zona 1)
Pe= 4.04 m (Profundidad efectiva)
- **Número de bafles**



$$N = 0.045 \left[\left(\frac{b * L_o * G}{Q} \right)^2 * t \right]^{1/3}$$

Donde:

b= 0.8 m (ancho del tramo o canal)

Lo= 11 m (Longitud del tramo)

t= 20min (tiempo de retención en el tramo)

Gradiente de velocidad en la zona 1 para una temperatura de 10 °C de la Tabla 12 se obtiene:

$$\sqrt{\frac{\gamma}{\mu}} = 2737$$

Aplicando la Ecuación se obtiene:

$$G = 40.29 \text{ s}^{-1}$$

Aplicando la ecuación se obtiene el número de baffles:

$$N = 41.22 \approx 42$$

Forma alternativa

$$N' = \frac{L_r}{P_e}$$

Donde:

Lr= 120m

Pe=4.04 m

$$L = N' * P_e$$

Donde:

N'=30

Para un Tr=20 min

L=121.2m

$$v_1 = \frac{L}{t_1} \text{ (velocidad en los canales)}$$

V1=0.101m/s

- Velocidad de paso en los orificios entre compartimentos.

$$v_2 = \frac{2}{3} v_1$$

V2=0.673m/s

- Longitud horizontal de la cámara 1

Lo= 11m

$$L_{h1} = L_o + (N - N_{real}) * (b + e)$$

Donde:



$$L_{h1} = 21m$$

$$L_{h2} = 15m$$

- Tiempo de retención teórico de la zona 1

$$t = \frac{H * b * L_o}{Q * 60} \quad (8)$$

Donde:

$$H=4.3M$$

$$b=0.8m$$

$$L_o=11m$$

$$Q = 0.0572 \frac{m^3}{s}$$

$$t = 11.03min = 661.8 \text{ seg}$$

- Volumen teórico para la zona 1

$$V = 60 * Q * t_1$$

Donde:

Q= caudal (m³/s)

t₁=tiempo de retención (min)

$$V = 68.64 m^3$$

- Espaciamiento entre pantallas

$$a = \frac{[L_h - e(N' - 1)]}{N'}$$

Donde:

a=espaciamiento entre pantallas

e= 5cm (espesor)

$$L_h=15m$$

$$N'=30$$

$$a = 0.452m = 45cm$$

- Altura de paso



$$P = \frac{Q/v_2}{b}$$

Donde:

$$P = 1.06\text{m}$$

- Extensión total de canales

$$I = 60 * v_1 * t_1$$

Donde:

t1=tiempo de retención

$$I = 12.12\text{m}$$

- Radio hidráulico del compartimiento entre pantallas

$$R_h = \frac{a * b}{b + 2a}$$

Donde:

$$a = 0.8\text{m}$$

$$b = 0.45$$

$$R_h = 0.212\text{m}$$

- Pérdida de carga continua en los canales

$$h_1 = \left[\frac{nv_1}{R_h^{2/3}} \right]^2 * I$$

Donde:

n=coeficiente de Manning

Rh= radio hidráulico

$$h_1 = 0.00165 \approx 0.17 \text{ cm}$$

- Pérdida de carga por cambios de dirección

$$h_2 = \left(\frac{(N + 1)v_1^2 + Nv_2^2}{2g} \right)$$

Donde:

$$N = 20$$

$$h_2 = 1.7\text{cm}$$

- Pérdida de carga total en el tramo



$$h_f = h_1 + h_2$$

Donde:

$$h_f = 1.87 \text{ cm}$$

- Volumen efectivo de la zona

$$V_e = H * b * L_o - e(N - 1) * b(H - P)$$

Donde:

$$V_e = 35.12 \text{ m}^3$$

Geometría del floculador zona 2

- Distancia total recorrida

$$L_r = v_1 * t_1$$

Donde:

L= longitud del canal de floculación)

v1= 0.13m/s (velocidad media de flujo)

t1=900 seg (tiempo de retención hidráulica)

$$L_r = 117 \text{ m}$$

- **Profundidad efectiva de la zona 2**

H= 3.87 m (profundidad de la zona 1)

hf= 0.135 m (pérdida de carga en el zona 1)

Pe= 3.74 m (Profundidad efectiva)

- **Número de baffles**

$$N = 0.045 \left[\left(\frac{b * L_o * G}{Q} \right)^2 * t \right]^{1/3}$$

Donde:

b= 0.8 m

Lo= 11 m

t= 15min

Gradiente de velocidad en la zona 1 para 10 °C se tiene:

$$\sqrt{\frac{\gamma}{\mu}} = 2737$$

Aplicando la Ecuación 7 se obtiene:

$$G = 33.52 \text{ s}^{-1}$$

Aplicando la ecuación se obtiene el número de baffles:

$$N = 31.28 \approx 32$$



Forma alternativa

$$N' = \frac{L_r}{P_e}$$

Donde:

$$L_r = 117\text{m}$$

$$P_e = 3.74\text{ m}$$

$$L = N' * P_e$$

Donde:

$$N' = 32$$

$$L = 119.68\text{m}$$

Para un $T_r = 15\text{ min}$

$$v_1 = \frac{L}{t_1}$$

$$V_1 = 0.132\text{m/s}$$

- Velocidad de paso en los orificios entre compartimentos.

$$v_2 = \frac{2}{3}v_1$$

$$V_2 = 0.089\text{m/s}$$

- Longitud horizontal de la cámara 1

$$L_o = 11\text{m}$$

$$L_{h1} = L_o + (N - N_{real}) * (b + e)$$

Donde:

$$L_{h1} = 17\text{m}$$

$$L_{h2} = 16\text{m}$$

- Tiempo de retención teórico de la zona 2

$$t = \frac{H * b * L_o}{Q * 60}$$

Donde:

$$t = 9.92\text{min} = 596\text{ seg}$$

- Volumen teórico para la zona 2

$$V = 60 * Q * t_1$$



Donde:

$$V = 51.48m^3$$

- Espaciamiento entre pantallas

$$a = \frac{[L_h - e(N' - 1)]}{N'}$$

Donde:

a=espaciamiento entre pantallas

e= 5cm (espesor)

Lh=16m

N'=32

a= 0.456m = 46cm

- Altura de paso

$$P = \frac{Q/v_2}{b}$$

Donde:

P= 0.8m

- Extensión total de canales

$$I = 60 * v_1 * t_1$$

Donde:

t1=tiempo de retención

I= 117m

- Radio hidráulico del compartimiento entre pantallas

$$R_h = \frac{a * b}{b + 2a}$$

Donde:

a=0.8m

b=0.45

Rh=0.212m

- Pérdida de carga continua en los canales



$$h_1 = \left[\frac{nv_1}{R_h^{2/3}} \right]^2 * I$$

Donde:

n=coeficiente de Manning

Rh= radio hidráulico

$$h_1 = 0.00165 \approx 0.17 \text{ cm}$$

- Pérdida de carga por cambios de dirección

$$h_2 = \left(\frac{(N + 1)v_1^2 + Nv_2^2}{2g} \right)$$

Donde:

$$N=22$$

$$h_2 = 2.89 \text{ cm}$$

- Pérdida de carga total en el tramo

$$h_f = h_1 + h_2$$

Donde:

$$h_f = 3.06 \text{ cm}$$

- Volumen efectivo de la zona

$$V_e = H * b * L_o - e(N - 1) * b(H - P)$$

Donde:

$$V_e = 31.48 \text{ m}^3$$

Geometría del floculador zona 3

- Distancia total recorrida

$$L_r = v_1 * t_1$$

Donde:

L= longitud del canal de floculación

v1= 0.28m/s (velocidad media de flujo)

t1= 360 seg (tiempo de retención hidráulica)

$$L_r = 100.8 \text{ m}$$

- **Profundidad efectiva de la zona 3**

H=3.74 m (profundidad de la zona 1)

hf= 0.125 m (pérdida de carga en el zona 1)

Pe= 3.62 m (Profundidad efectiva)



- **Número de bafles**

$$N = 0.045 \left[\left(\frac{b * L_o * G}{Q} \right)^2 * t \right]^{1/3}$$

Donde:

$$b = 0.8 \text{ m}$$

$$L_o = 11 \text{ m}$$

$$t = 6 \text{ min}$$

Gradiente de velocidad en la zona 3 para 10 °C se tiene:

$$\sqrt{\frac{\gamma}{\mu}} = 2737$$

Aplicando la Ecuación 7 se obtiene:

$$G = 51 \text{ s}^{-1}$$

Aplicando la ecuación se obtiene el número de bafles:

$$N = 32.29 \approx 33$$

Forma alternativa

$$N' = \frac{L_r}{P_e}$$

Donde:

$$L_r = 100.8 \text{ m}$$

$$P_e = 3.62 \text{ m}$$

$$L = N' * P_e$$

Donde:

$$N' = 28$$

$$L = 101.36 \text{ m}$$

Para un $T_r = 6 \text{ min}$

$$v_1 = \frac{L}{t_1}$$

$$V_1 = 0.282 \text{ m/s}$$

- Velocidad de paso en los orificios entre compartimentos.

$$v_2 = \frac{2}{3} v_1$$



$$V_2 = 0.19 \text{ m/s}$$

- Longitud horizontal de la cámara 3

$$L_o = 11 \text{ m}$$

$$L_{h1} = L_o + (N - N_{real}) * (b + e)$$

Donde:

$$L_{h1} = 16.5 \text{ m}$$

$$L_{h2} = 14 \text{ m}$$

- Tiempo de retención teórico de la zona 1

$$t = \frac{H * b * L_o}{Q * 60}$$

Donde:

$$t = 9.59 \text{ min} = 575 \text{ seg}$$

- Volumen teórico para la zona 3

$$V = 60 * Q * t_1$$

Donde:

Q= caudal (m³/s)

t₁=tiempo de retención (min)

$$V = 20.59 \text{ m}^3$$

- Espaciamiento entre pantallas

$$a = \frac{[L_h - e(N' - 1)]}{N'}$$

Donde:

a=espaciamiento entre pantallas

e= 5cm (espesor)

$$L_h = 14 \text{ m}$$

$$N' = 28$$

$$a = 0.452 \text{ m} = 45 \text{ cm}$$

- Altura de paso

$$P = \frac{Q/v_2}{b}$$



Donde:

$$P= 0.38m$$

- Extensión total de canales

$$I = 60 * v_1 * t_1$$

Donde:

t1=tiempo de retención

$$I= 100.8m$$

- Radio hidráulico del compartimiento entre pantallas

$$R_h = \frac{a * b}{b + 2a}$$

Donde:

$$a=0.8m$$

$$b=0.45$$

$$R_h=0.212m$$

- Pérdida de carga continua en los canales

$$h_1 = \left[\frac{nv_1}{R_h^{2/3}} \right]^2 * I$$

Donde:

n=coeficiente de Manning

Rh= radio hidráulico

$$h_1 = 0.0106m \approx 1.06 \text{ cm}$$

- Pérdida de carga por cambios de dirección

$$h_2 = \left(\frac{(N + 1)v_1^2 + Nv_2^2}{2g} \right)$$

Donde:

$$N=22$$

$$h_2 = 13.24cm$$

- Pérdida de carga total en el tramo

$$h_f = h_1 + h_2$$

Donde:



$$h_f = 14.3 \text{ cm}$$

- Volumen efectivo de la zona

$$V_e = H * b * L_o - e(N - 1) * b(H - P)$$

Donde:

$$V_e = 30.09 \text{ m}^3$$

Tabla 17. Dimensiones reales del floculador en la Zona 1

Cámara	b (m)	a (m)	H (m)	V (m)	Rh (m)	hf real (cm)	G (1/s)
1	0,79	0,44	4,15	1,44	0,208	0	3,03
2	0,80	0,45	4,10	1,48	0,212	5,49	3,00
3	0,81	0,45	4,09	1,49	0,213	1,00	2,99
4	0,79	0,46	4,07	1,48	0,213	1,69	3,00
5	0,80	0,46	4,05	1,49	0,214	1,80	2,99
6	0,80	0,45	4,04	1,45	0,212	1,51	3,00
7	0,80	0,45	4,02	1,45	0,212	1,80	3,00
8	0,79	0,44	4,01	1,40	0,208	0,71	3,03
9	0,79	0,45	4,00	1,42	0,210	0,99	3,01
10	0,81	0,46	3,99	1,49	0,215	1,49	2,98
11	0,80	0,45	3,98	1,43	0,212	0,51	3,00
12	0,80	0,44	3,97	1,40	0,210	1,01	3,02
13	0,80	0,45	3,96	1,43	0,212	1,49	3,00
14	0,79	0,44	3,93	1,37	0,208	2,51	3,03
15	0,80	0,45	3,92	1,41	0,212	0,99	3,00
16	0,80	0,45	3,91	1,41	0,212	1,50	3,00
17	0,80	0,46	3,90	1,44	0,214	0,49	2,99
18	0,79	0,46	3,91	1,42	0,213	-1,00	3,00
19	0,81	0,45	3,91	1,43	0,213	0,01	2,99
20	0,81	0,45	3,91	1,43	0,213	0,50	2,99
21	0,80	0,44	3,90	1,37	0,210	1,01	3,02
22	0,80	0,45	3,89	1,40	0,212	0,99	3,00

Fuente: Autores



Tabla 18. Dimensiones reales del floculador en la zona 2

Cámara	b (m)	a (m)	H (m)	V (m)	Rh (m)	hf real (cm)	G (1/s)
1	0,81	0,45	3,87	1,41	0,213	1,50	4,44
2	0,78	0,44	3,88	1,33	0,207	-0,49	4,50
3	0,8	0,44	3,88	1,37	0,210	-0,50	4,47
4	0,8	0,45	3,86	1,39	0,212	1,99	4,45
5	0,81	0,46	3,87	1,44	0,215	-0,51	4,41
6	0,81	0,45	3,85	1,40	0,213	1,81	4,44
7	0,79	0,45	3,85	1,37	0,210	-0,30	4,47
8	0,8	0,46	3,84	1,41	0,214	1,49	4,43
9	0,8	0,44	3,83	1,35	0,210	1,02	4,47
10	0,81	0,44	3,83	1,36	0,211	0,00	4,46
11	0,81	0,45	3,82	1,39	0,213	0,99	4,44
12	0,81	0,46	3,81	1,42	0,215	0,99	4,41
13	0,79	0,45	3,80	1,35	0,210	0,51	4,47
14	0,79	0,46	3,79	1,38	0,213	0,99	4,44
15	0,78	0,45	3,80	1,33	0,209	-0,49	4,48
16	0,8	0,45	3,78	1,36	0,212	1,50	4,45
17	0,8	0,44	3,78	1,33	0,210	0,01	4,47
18	0,81	0,44	3,77	1,35	0,211	1,00	4,46
19	0,79	0,44	3,77	1,31	0,208	0,00	4,49
20	0,81	0,45	3,77	1,37	0,213	0,49	4,44
21	0,79	0,46	3,76	1,37	0,213	0,49	4,44
22	0,8	0,45	3,75	1,35	0,212	1,01	4,45

Fuente: 1Autores



Tabla 19. Dimensiones reales del floculador en la zona 3

camara	b (m)	a (m)	H (m)	V (m)	Rh (m)	hf real (cm)	G (1/s)
1	0,8	0,45	3,74	1,35	0,212	1,00	14,07
2	0,81	0,45	3,73	1,36	0,213	1,00	14,02
3	0,79	0,44	3,74	1,30	0,208	-0,49	14,19
4	0,79	0,44	3,72	1,29	0,208	2,00	14,19
5	0,79	0,44	3,72	1,29	0,208	-0,50	14,19
6	0,81	0,45	3,71	1,35	0,213	0,99	14,02
7	0,8	0,45	3,71	1,34	0,212	0,50	14,07
8	0,8	0,46	3,70	1,36	0,214	0,49	14,00
9	0,8	0,45	3,70	1,33	0,212	0,01	14,07
10	0,79	0,45	3,69	1,31	0,210	1,50	14,11
11	0,79	0,45	3,68	1,31	0,210	0,50	14,11
12	0,81	0,44	3,67	1,31	0,211	1,01	14,10
13	0,81	0,45	3,68	1,34	0,213	-0,51	14,02
14	0,8	0,44	3,67	1,29	0,210	1,01	14,14
15	0,81	0,45	3,67	1,34	0,213	-0,51	14,02
16	0,81	0,44	3,66	1,30	0,211	1,51	14,10
17	0,79	0,44	3,65	1,27	0,208	0,50	14,19
18	0,8	0,44	3,65	1,28	0,210	0,50	14,14
19	0,8	0,45	3,64	1,31	0,212	0,49	14,07
20	0,79	0,44	3,64	1,27	0,208	0,01	14,19
21	0,79	0,46	3,63	1,32	0,213	0,98	14,04
22	0,81	0,46	3,63	1,35	0,215	0,50	13,95

Fuente: Autores

5.8 Sedimentación

Ilustración 5 Unidad de sedimentación



Fuente: Autores

5.8.1 Geometría de la unidad

A continuación en la Figura 16 presenta las dimensiones especificadas en el diseño y en la Tabla 19 se presenta las dimensiones reales levantadas.

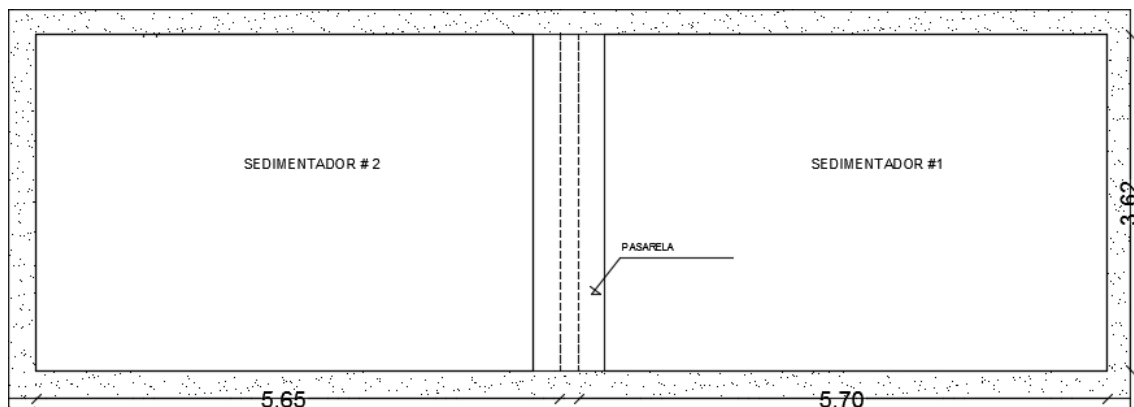


Figura 15 Medidas de la unidad de sedimentación especificadas en el diseño



Tabla 20. Dimensiones reales de los sedimentadores

sedimentador	Longitud m	Ancho m	Área m ²
1	5,55	3,64	20,2
2	5,61	3,65	20,48

Nota: La tabla 6.5 muestra las dimensiones levantadas en campo así como el área superficial para cada unidad de sedimentación

Fuente: Autores

Las medidas especificadas en el diseño (Figura 16) varían con las reales (Tabla 20), sin embargo las diferencias que se presentan son del orden del milímetro por lo que no representan variaciones significativas que afecten la capacidad de la planta.

5.8.2 Eficiencia

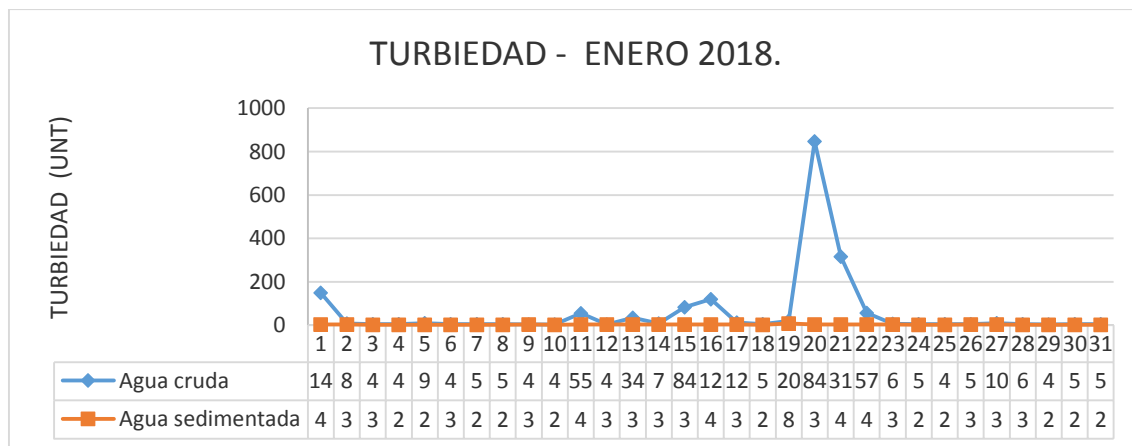


Figura 16 Turbiedad agua cruda y agua sedimentada (Enero 2018)

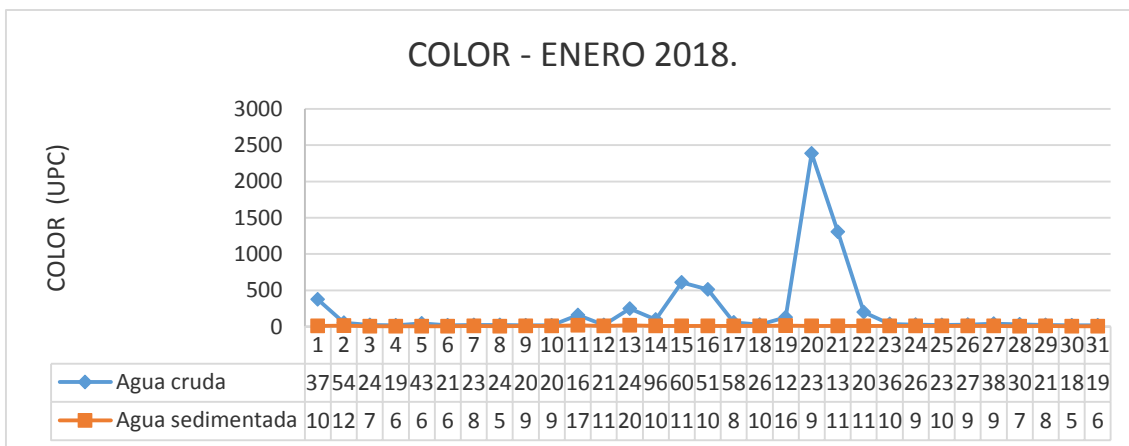


Figura 17 Color agua cruda y agua sedimentada (Enero 2018)

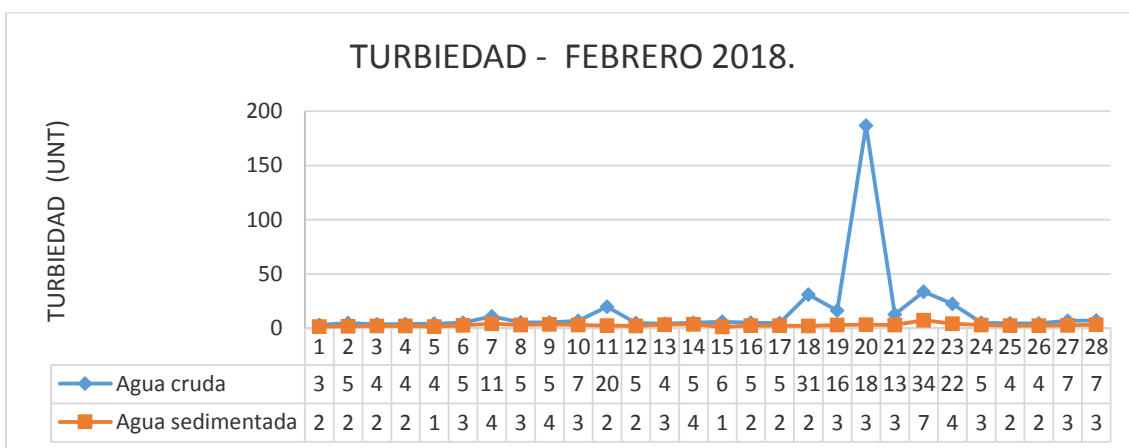


Figura 18 Turbiedad agua cruda y agua sedimentada (Febrero 2018)

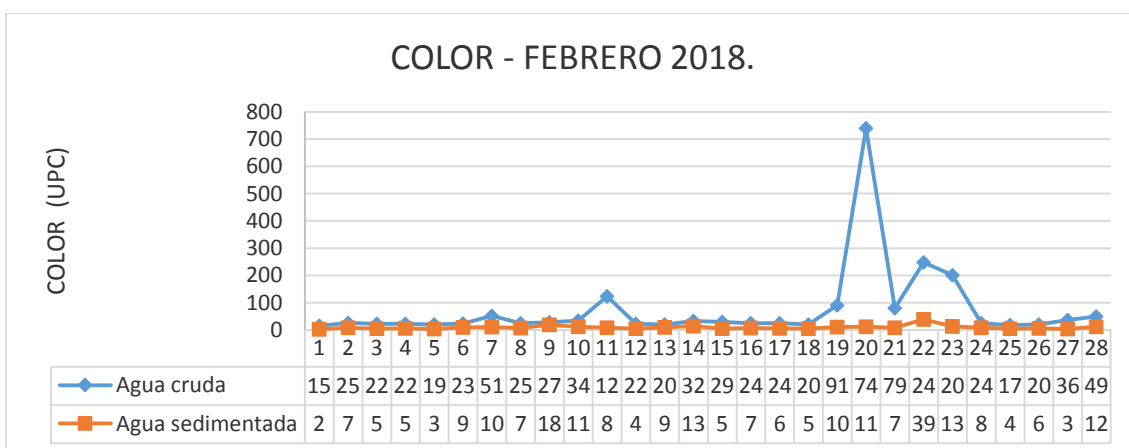


Figura 19 Color agua cruda y agua sedimentada (Febrero 2018)

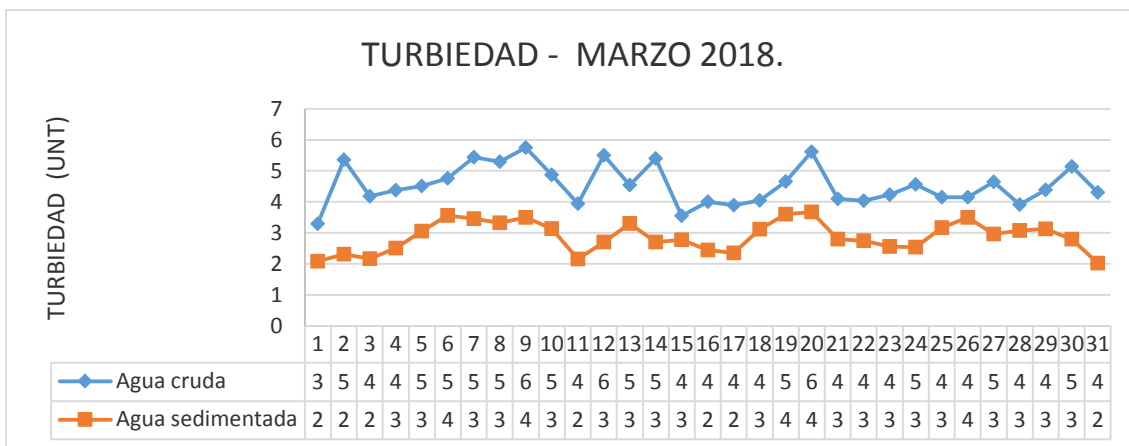


Figura 20 Turbiedad agua cruda y agua sedimentada (Marzo 2018)

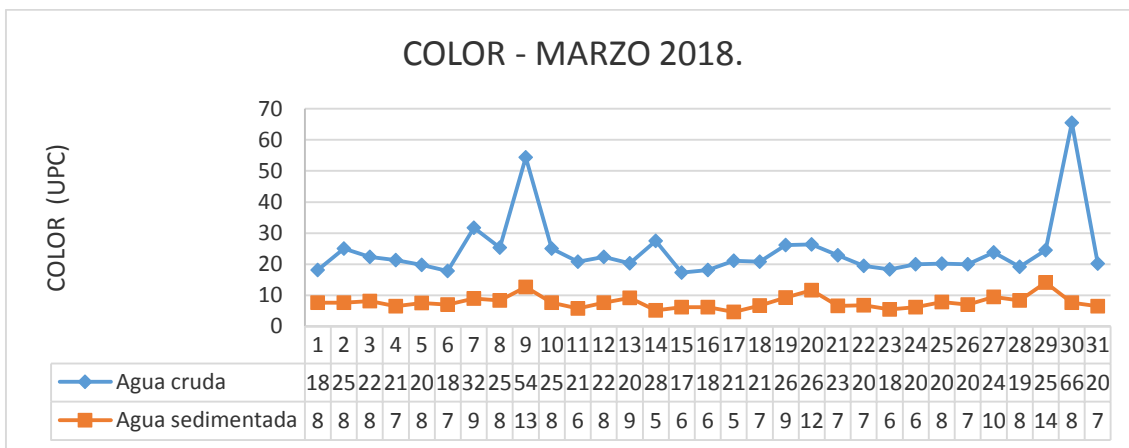


Figura 21 Color agua cruda y agua sedimentada (Marzo 2018)

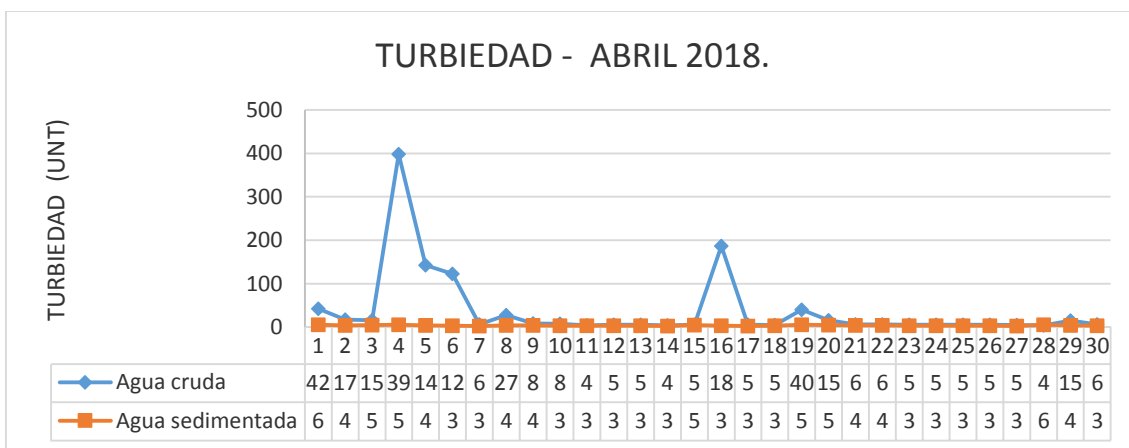


Figura 22 Turbiedad agua cruda y agua sedimentada (Abril 2018)

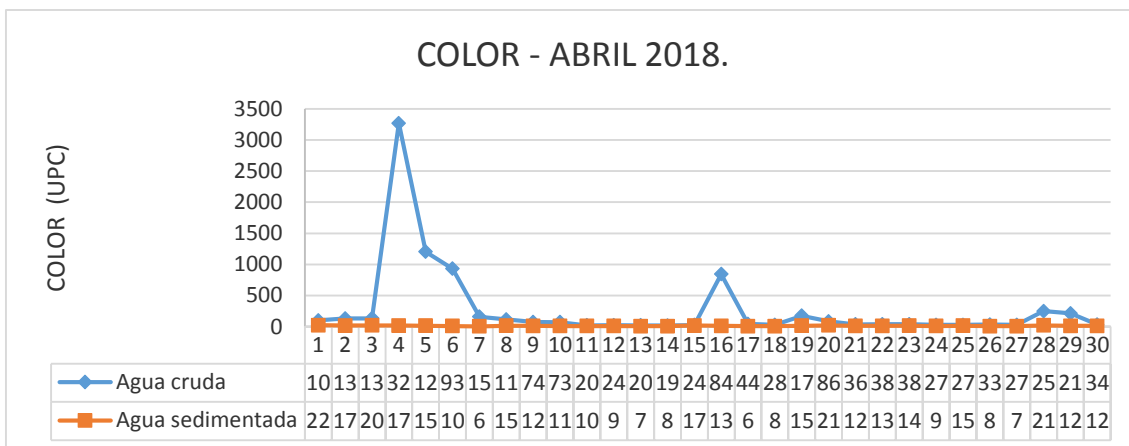


Figura 23 Color agua cruda y agua sedimentada (Abril 2018)

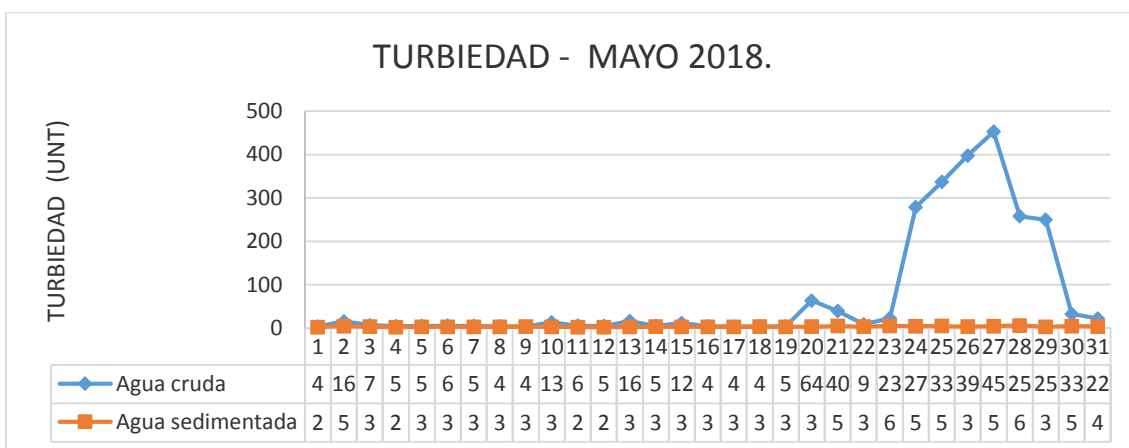


Figura 24 Turbiedad agua cruda y agua sedimentada (Mayo 2018)

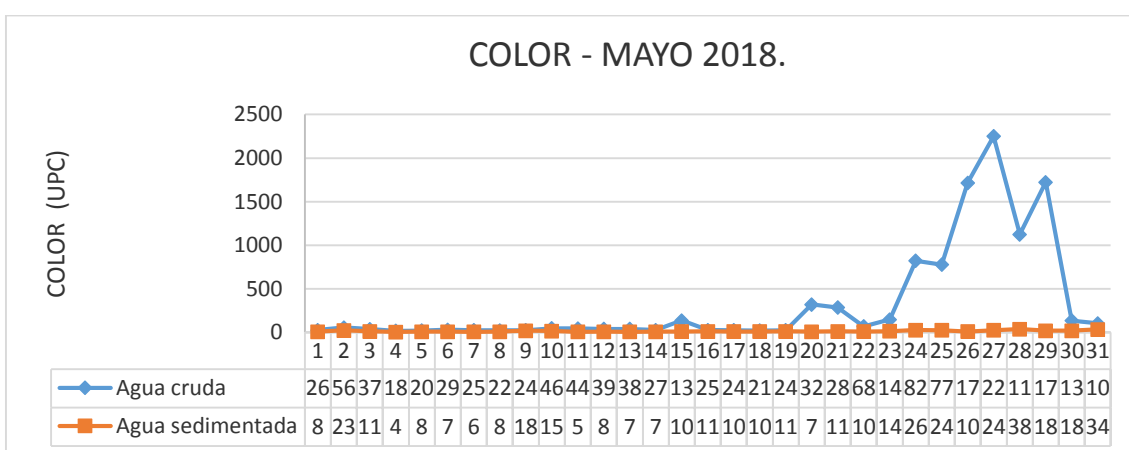


Figura 25 Color agua cruda y agua sedimentada (Mayo 2018)

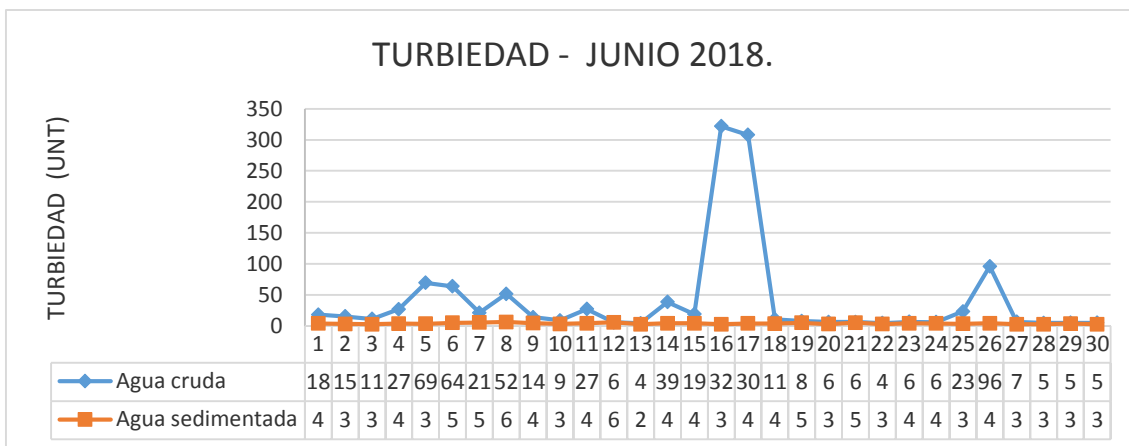


Figura 26 Turbiedad agua cruda y agua sedimentada (Junio 2018)

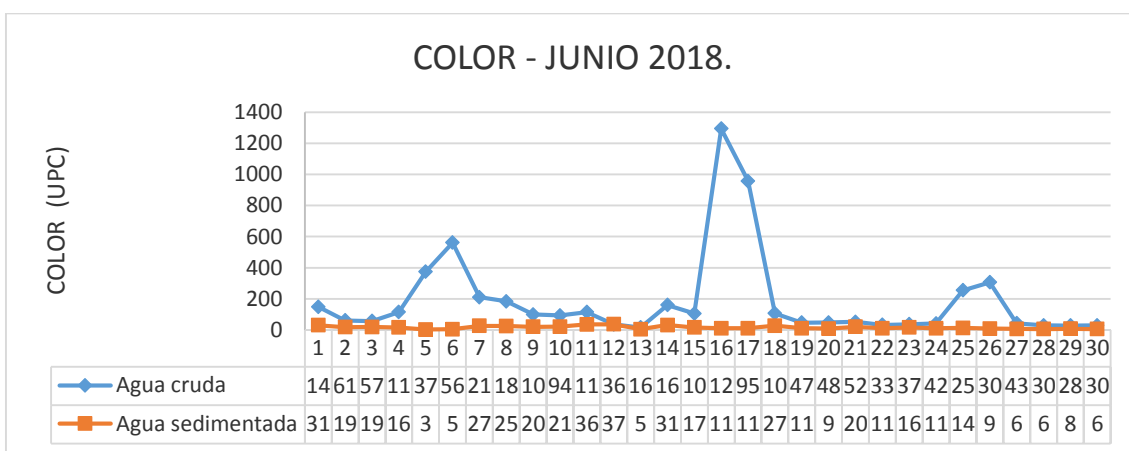


Figura 27 Color agua cruda y agua sedimentada (Junio 2018)

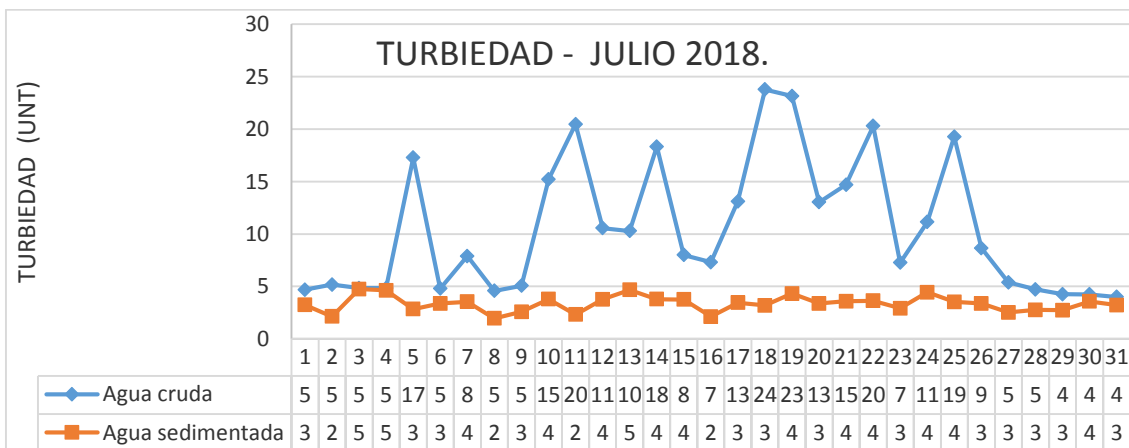


Figura 28 Turbiedad agua cruda y agua sedimentada (Julio 2018)

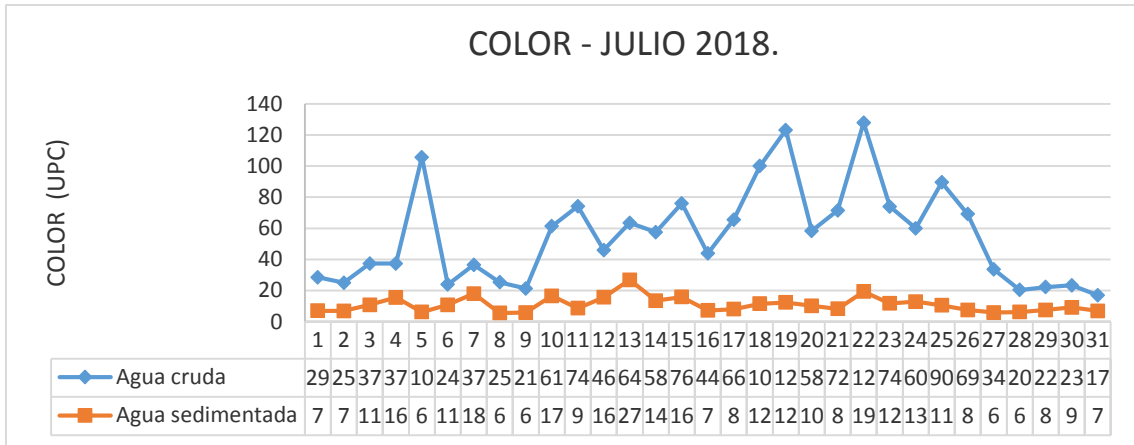


Figura 29 Color agua cruda y agua sedimentada (Julio 2018)

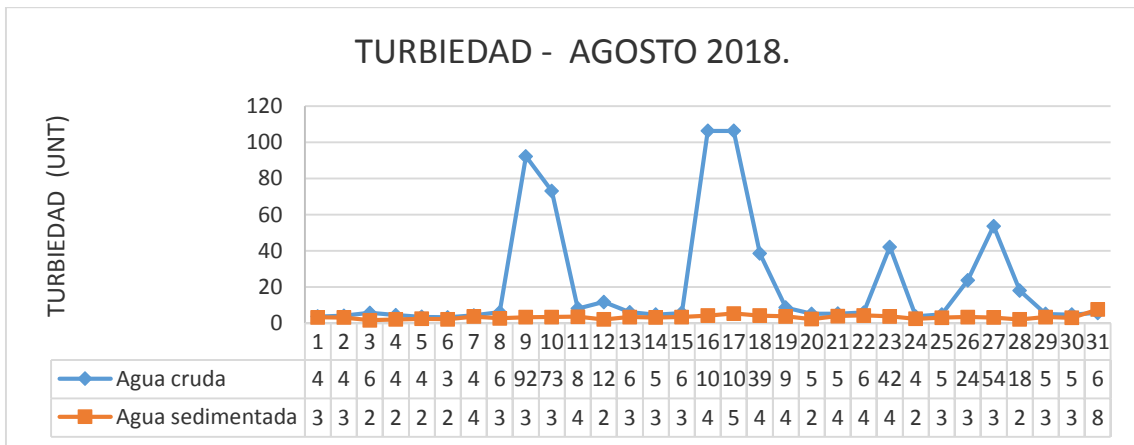


Figura 30 Turbiedad agua cruda y agua sedimentada (Agosto 2018)

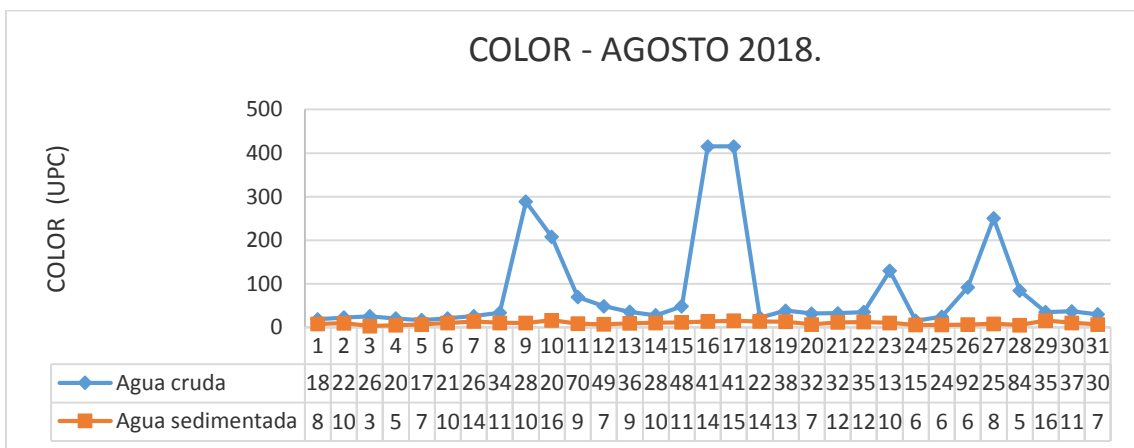


Figura 31 Color agua cruda y agua sedimentada (Agosto 2018)

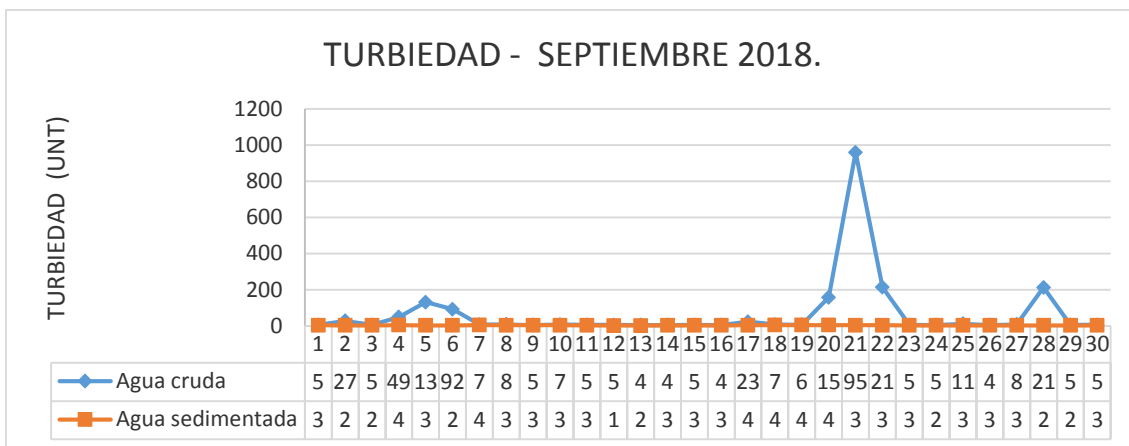


Figura 32 Turbiedad agua cruda y agua sedimentada (Septiembre 2018)

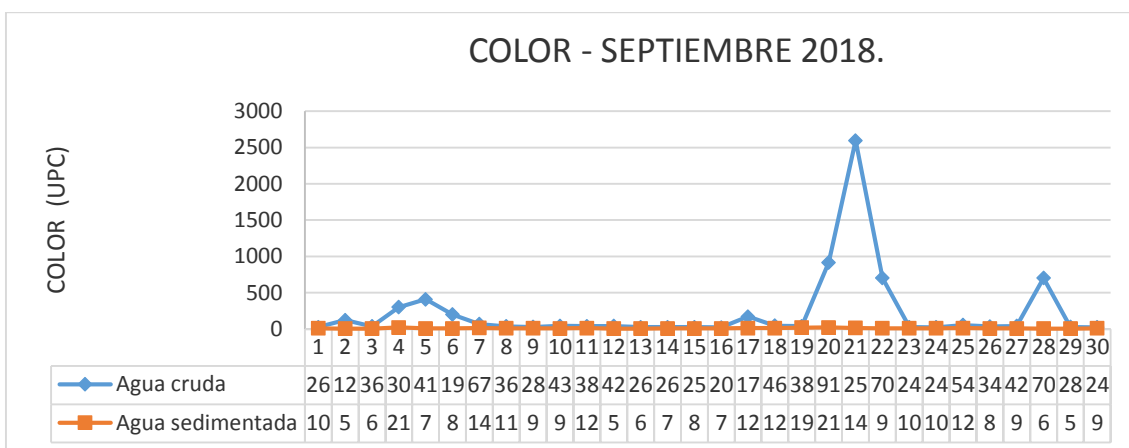


Figura 33 Color agua cruda y agua sedimentada (Septiembre 2018)

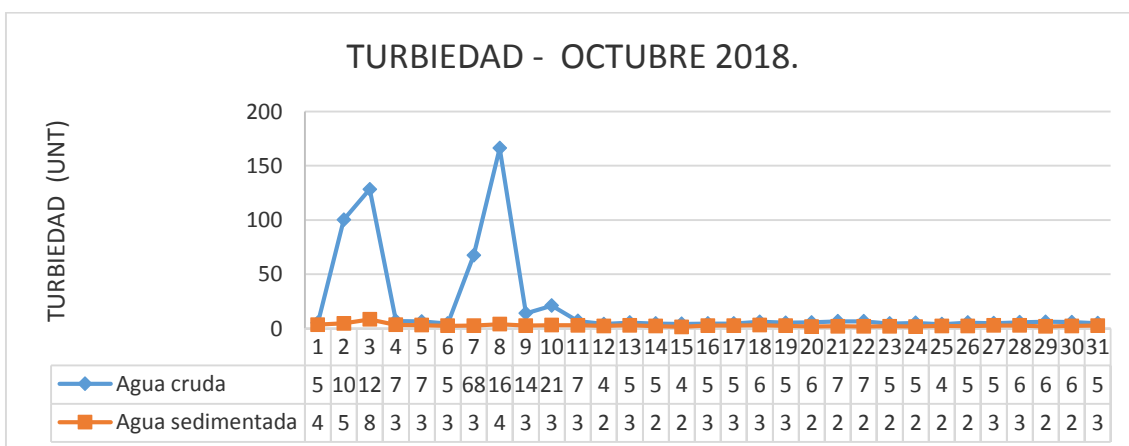


Figura 34 Turbiedad agua cruda y agua sedimentada (Octubre 2018)

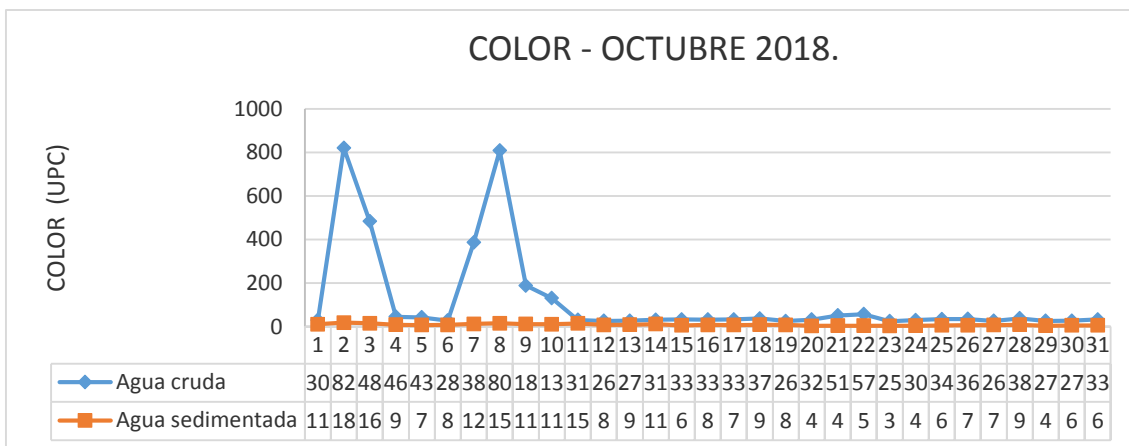


Figura 35 Color agua cruda y agua sedimentada (Octubre 2018)

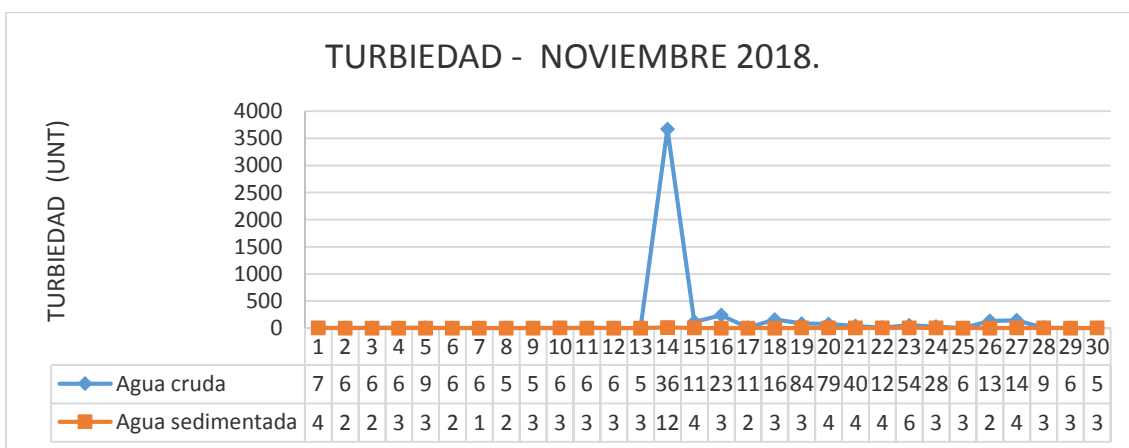


Figura 36 Turbiedad agua cruda y agua sedimentada (Noviembre 2018)

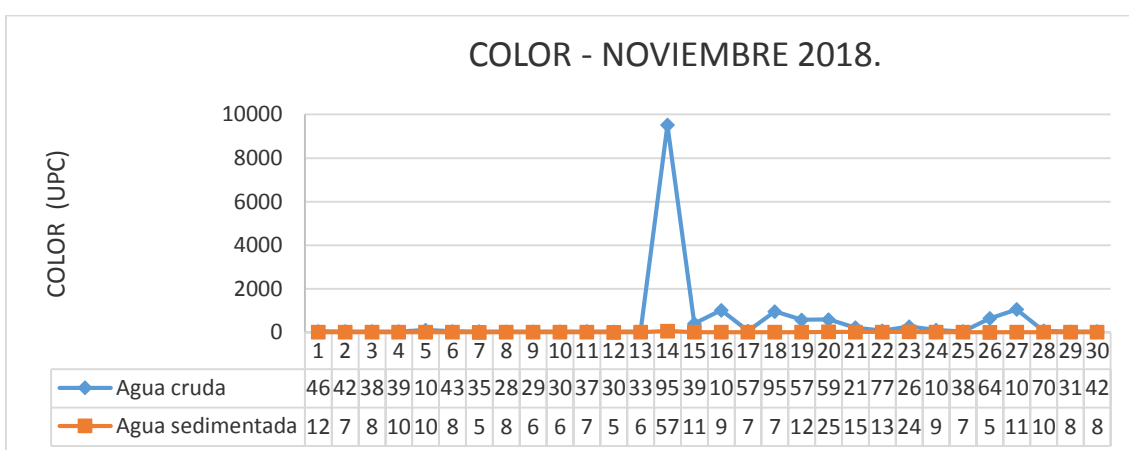


Figura 37 Color agua cruda y agua sedimentada (Noviembre 2018)



Tabla 21 Eficiencia de los sedimentadores a partir de la turbiedad

Mes	Agua cruda	Agua sedimentada	Eficiencia
-	UNT	UNT	%
Enero	58,24	3,03	94,80
Febrero	15,42	2,82	81,71
Marzo	4,53	2,88	36,42
Abril	37,48	3,67	90,21
Mayo	73,96	3,59	95,15
Junio	40,35	3,75	90,71
Julio	10,52	3,35	68,16
Agosto	21,75	3,33	84,69
Septiembre	66,22	2,93	95,58
Octubre	20,40	2,84	86,08
Noviembre	162,71	3,32	97,96
Año 2018	46,51	3,23	83,77

Tabla 22 Eficiencia de los sedimentadores a partir del color

Mes	Agua cruda	Agua sedimentada	Eficiencia
-	UC	UC	%
Enero	213,29	9,32	95,63
Febrero	73,60	8,72	88,15
Marzo	24,38	7,77	68,13
Abril	273,07	12,65	95,37
Mayo	327,52	13,56	95,86
Junio	188,17	16,24	91,37
Julio	55,44	10,91	80,32
Agosto	83,73	9,61	88,52
Septiembre	228,11	9,88	95,67
Octubre	118,01	8,49	92,81
Noviembre	538,98	11,11	97,94
Año 2018	193,12	10,75	89,98

Las Tablas 21 y 22 muestran la eficiencia de los sedimentadores a partir del agua cruda y sedimentada, para ello se usaron los valores mensuales de turbiedad y color respectivamente.

La eficiencia en el sedimentador en el año 2018 fue de 83.77 % de remoción de la turbiedad y del 89.98 % de remoción de color que indica una excelente eficiencia a pesar que la unidad se encuentra en su penúltimo año de servicio. En el estudio de esta unidad se puede observar la diferencia entre el tiempo de retención teórico y real.

Tabla 23 Carga superficial del sedimentador

	Profundidad (m)	Tiempo de retención (min)	Resultado (m ³ /m ² /d)
Carga teórica	2,47	14,53	244,8
Carga real	2,47	20	177,8

5.8.3 Carga unitaria de las tuberías recolectoras

- Caudal operación : 57.2 l
- Tuberías recolectoras: 4
- Longitud de las tuberías recolectoras(c/u): 2.55 l/s

$q=2.55 \text{ l/s}$

El sedimentado presenta un tiempo de retención teórico de 14.53 min y un tiempo de retención real de 20 minutos presentando un incremento del 37.64% respecto del teórico si bien esto significa que el agua permanece más tiempo en dicha unidad, al contrario al floculador esto favorece pues hay un mayor tiempo para que las partículas más pequeñas se logren sedimentar.

5.9 Filtración

5.9.1 Geometría de la Unidad

Las dimensiones reales levantadas mediante un levantamiento planímetro se presentan en la Tabla 24 mientras que en la Figura 39 se presenta las dimensiones especificadas en el diseño.

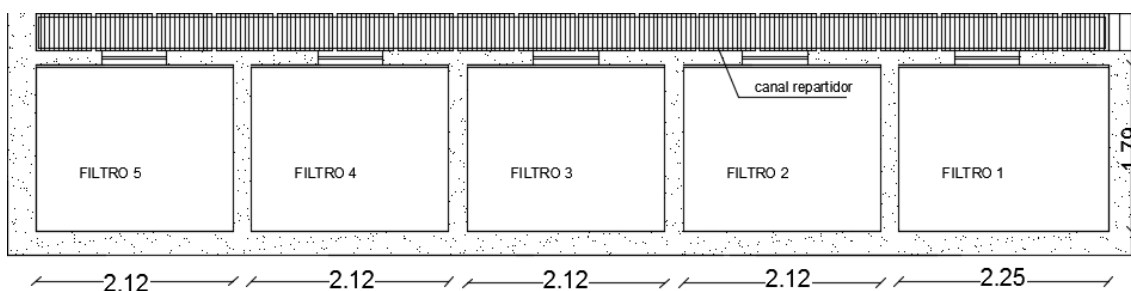


Figura 38 Medidas de las unidades de filtración especificadas en el diseño



Tabla 24. Medidas Reales de la unidad de filtración

unidad de filtración	Largo m	Ancho m	Profundidad m	Área m2
Filtro 1	2,08	1,74	4,25	3,62
Filtro 2	2,08	1,74	4,25	3,62
Filtro 3	2,09	1,74	4,25	3,64
Filtro 4	2,10	1,72	4,25	3,61
Filtro 5	2,08	1,75	4,25	3,64

Nota: La Tabla 23 muestra las dimensiones levantadas en campo así como el área superficial para cada una de las unidades de filtración

Fuente: Autores

5.9.2 Eficiencia

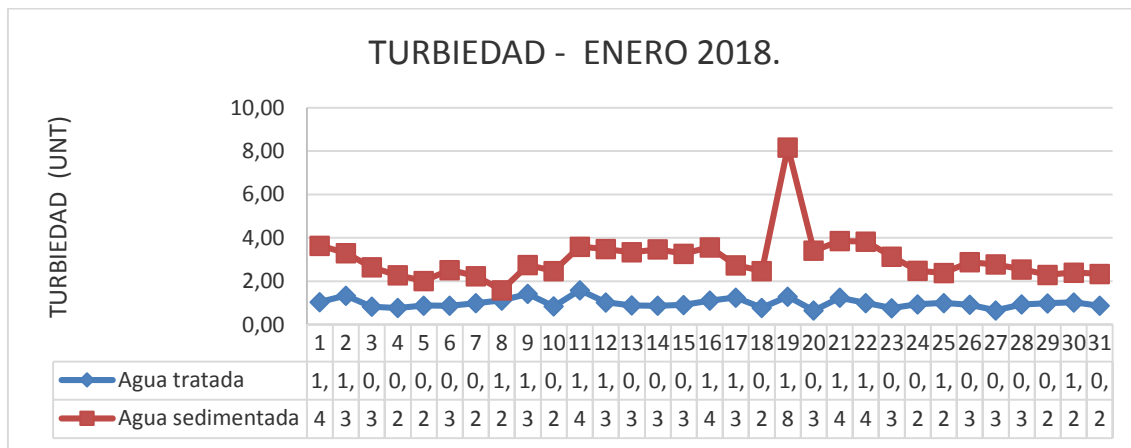


Figura 39 Turbiedad agua tratada y agua sedimentada (Enero2018)

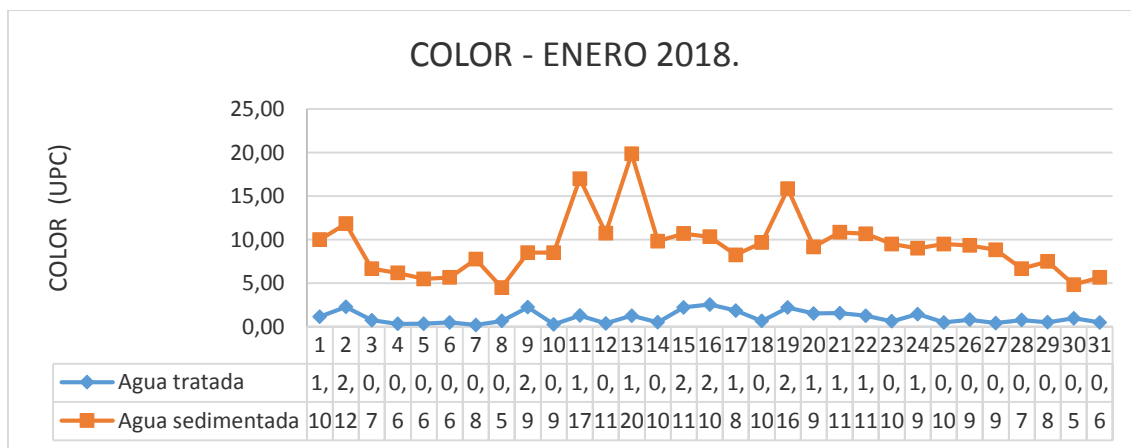


Figura 40 Color agua tratada y agua sedimentada (Enero2018)

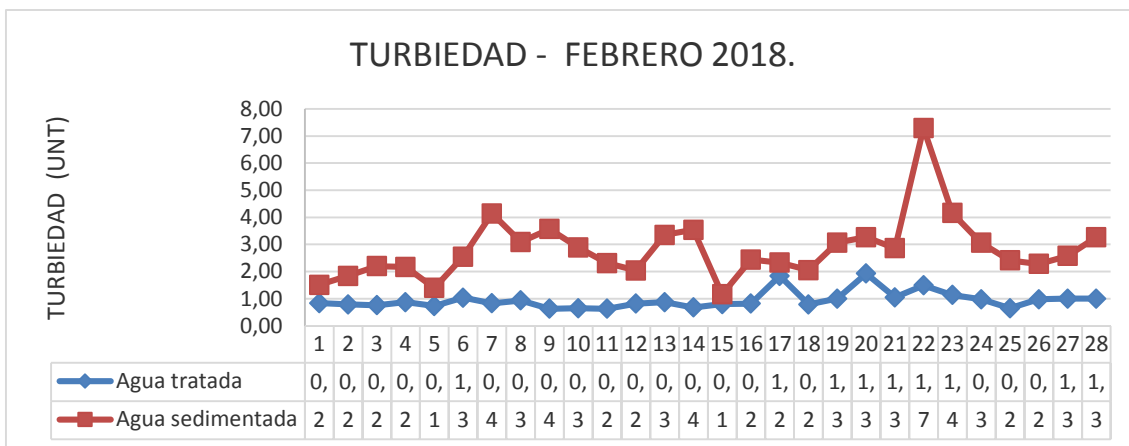


Figura 41 Turbiedad agua tratada y agua sedimentada (Febrero 2018)

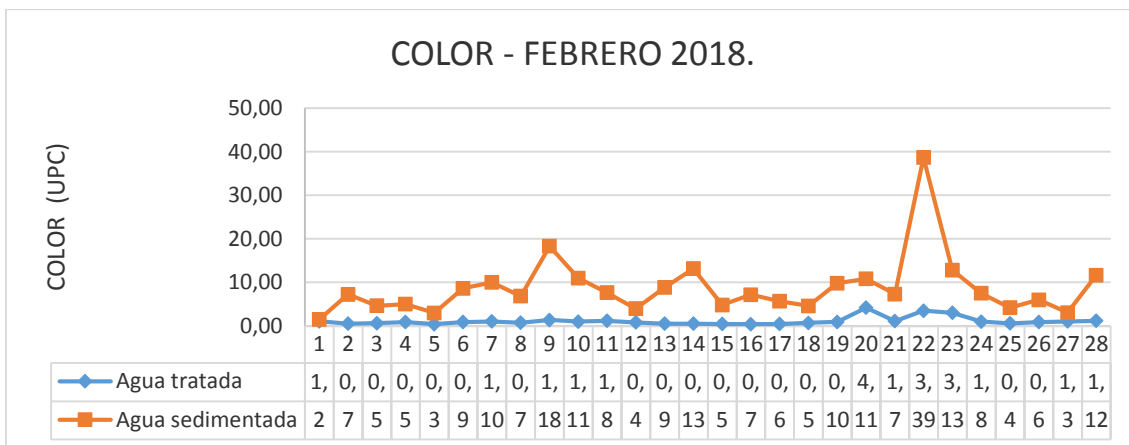


Figura 42 Color agua tratada y agua sedimentada (Febrero 2018)

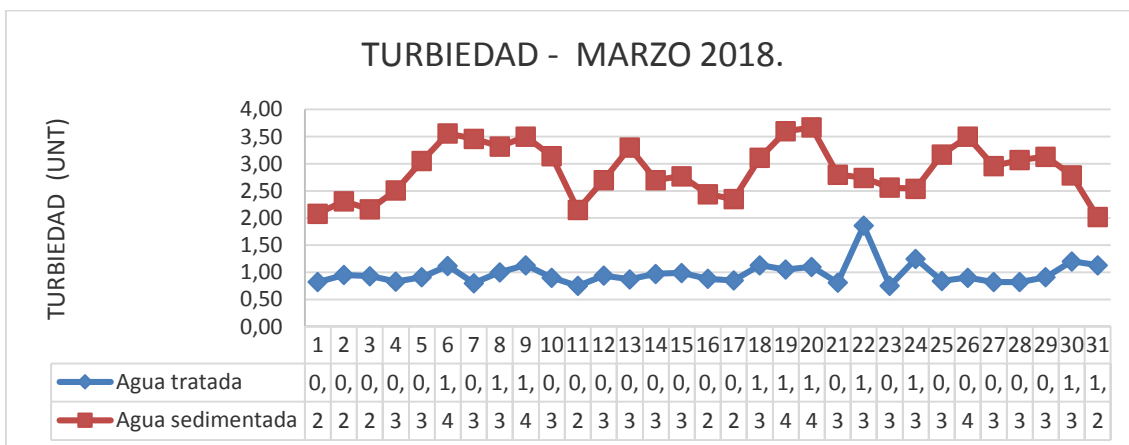


Figura 43 Turbiedad agua tratada y agua sedimentada (Marzo 2018)

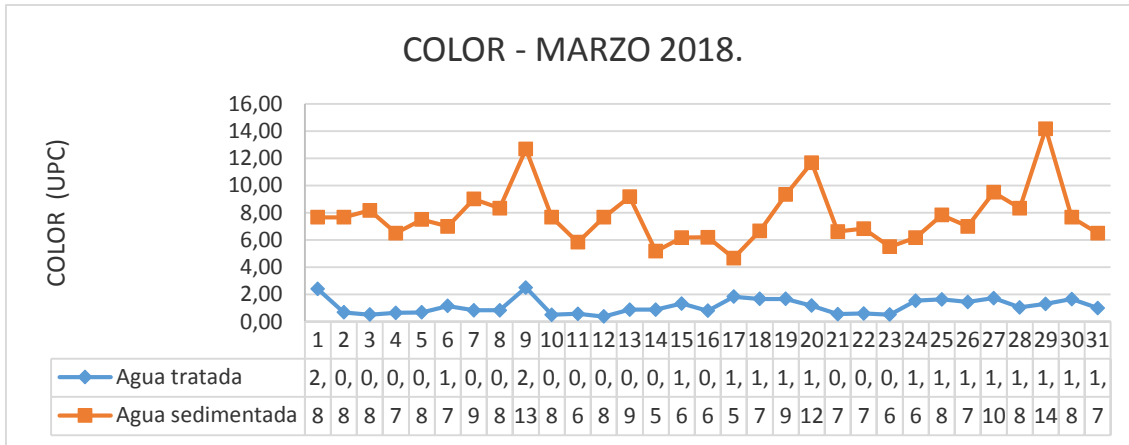


Figura 44 Color agua tratada y agua sedimentada (Marzo 2018)

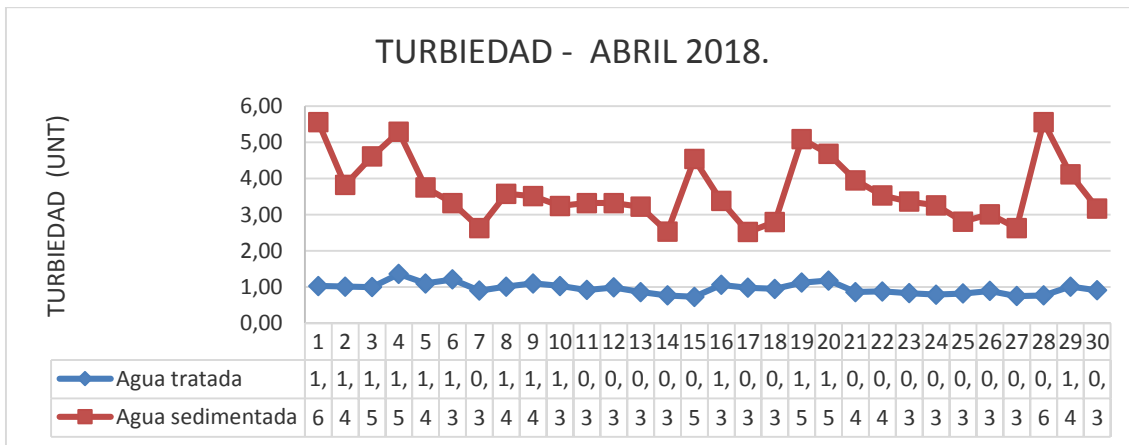


Figura 45 Turbiedad agua tratada y agua sedimentada (Abril 2018)

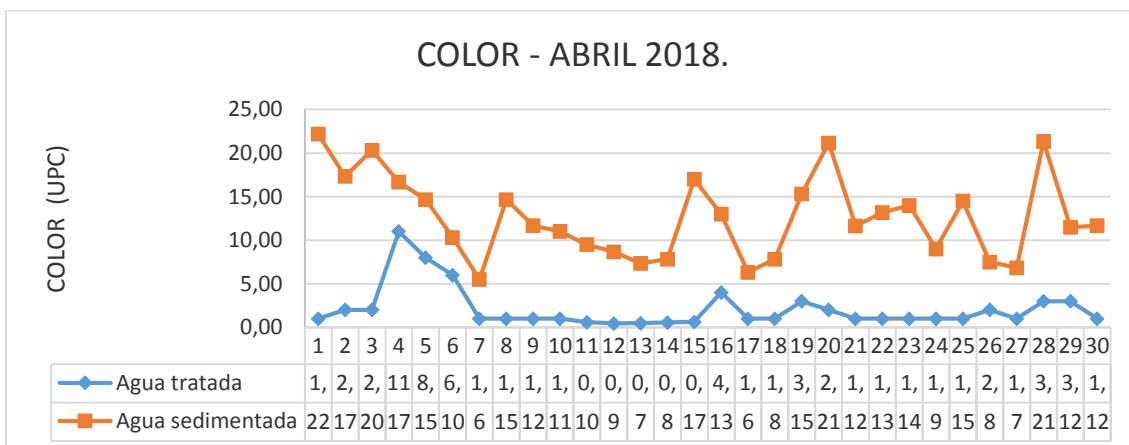


Figura 46 Color agua tratada y agua sedimentada (Abril 2018)

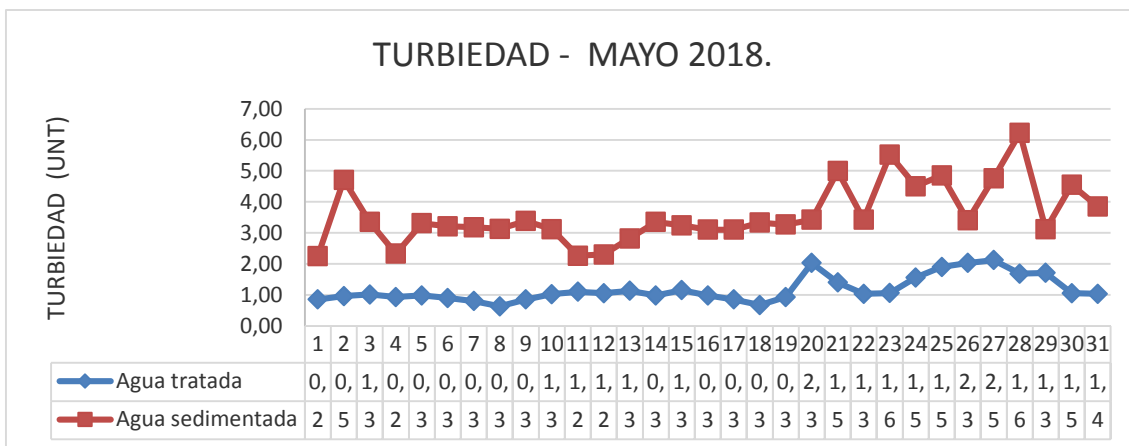


Figura 47 Turbiedad agua tratada y agua sedimentada (Mayo 2018)

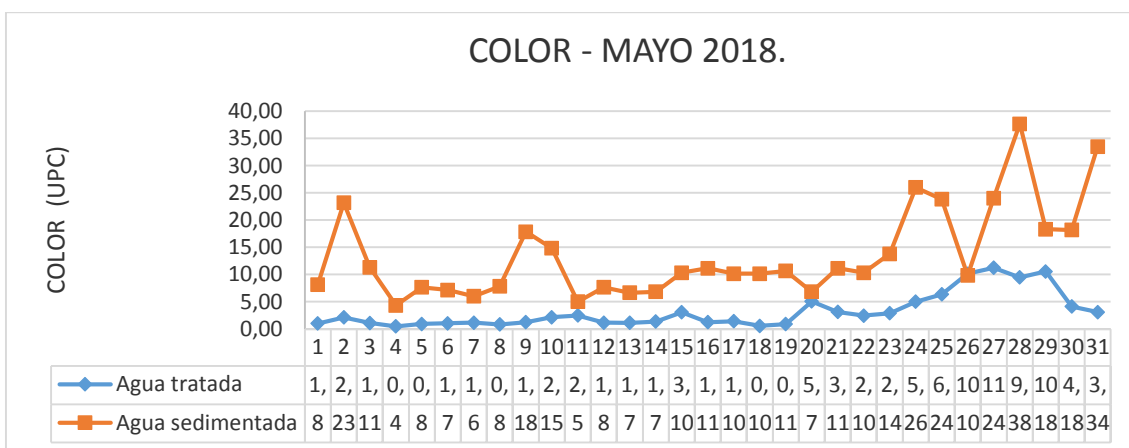


Figura 48 Color agua tratada y agua sedimentada (Mayo 2018)

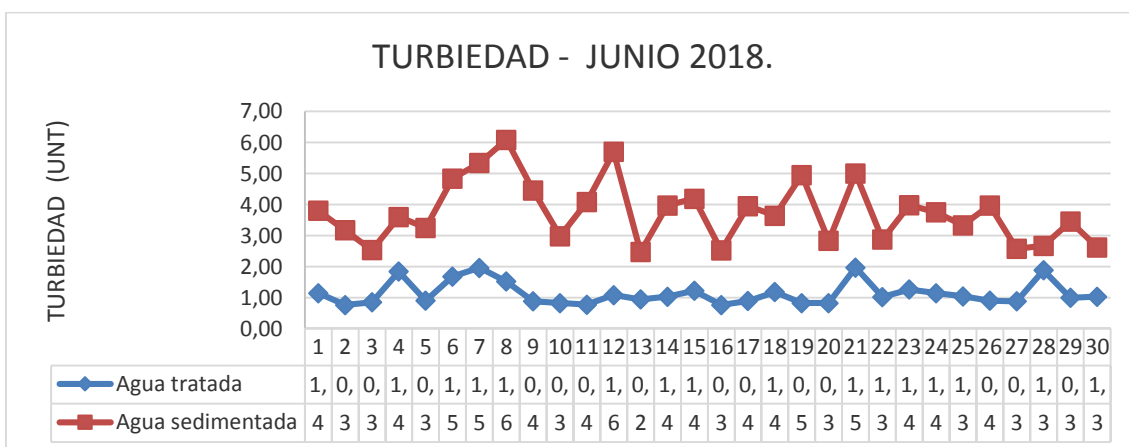


Figura 49 Turbiedad agua tratada y agua sedimentada (Junio 2018)

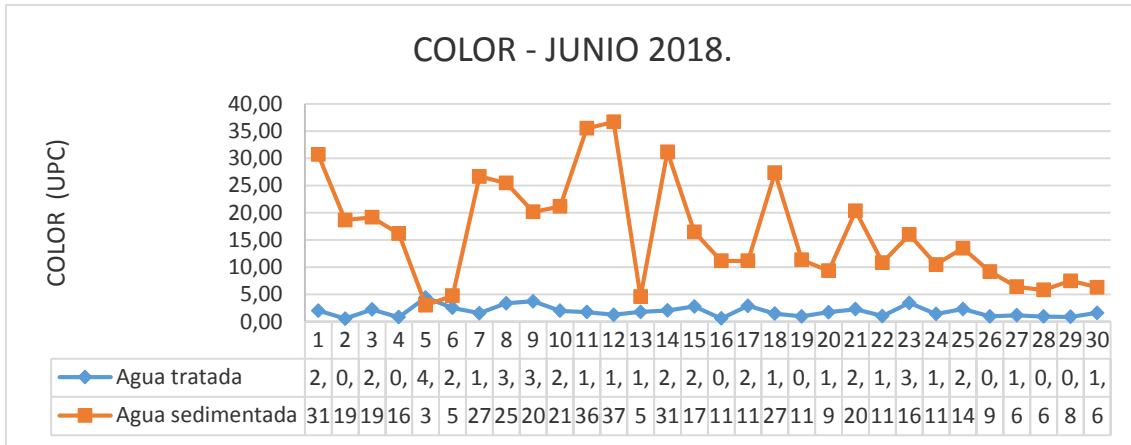


Figura 50 Color agua tratada y agua sedimentada (Junio 2018)

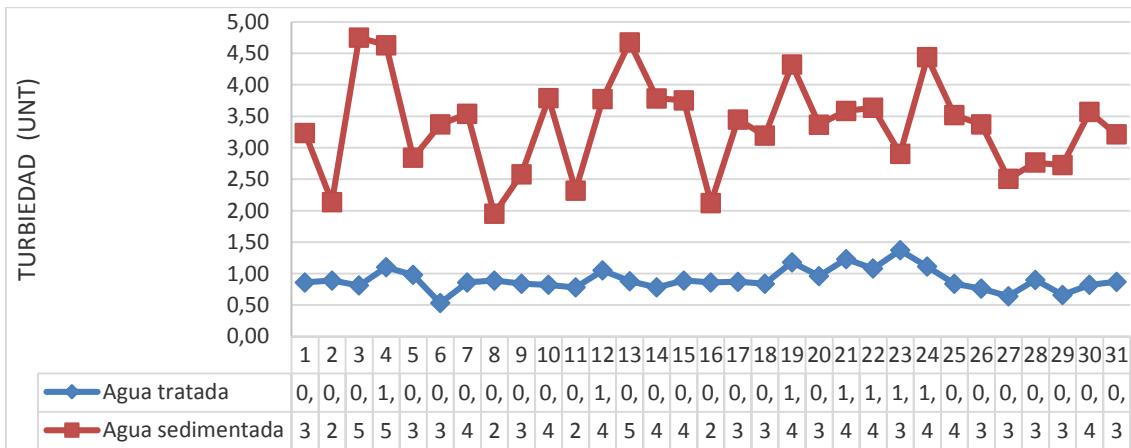


Figura 51 Turbiedad agua tratada y agua sedimentada (Julio 2018)

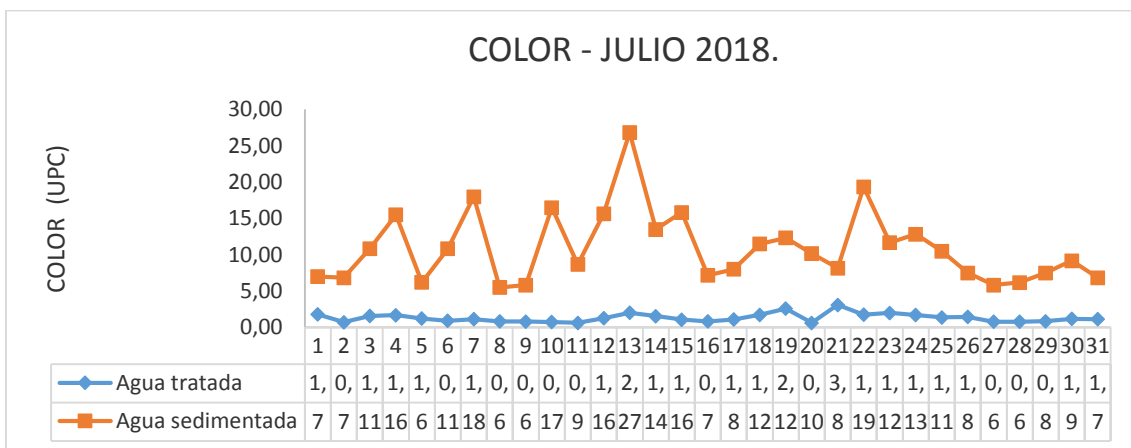


Figura 52 Color agua tratada y agua sedimentada (Julio 2018)

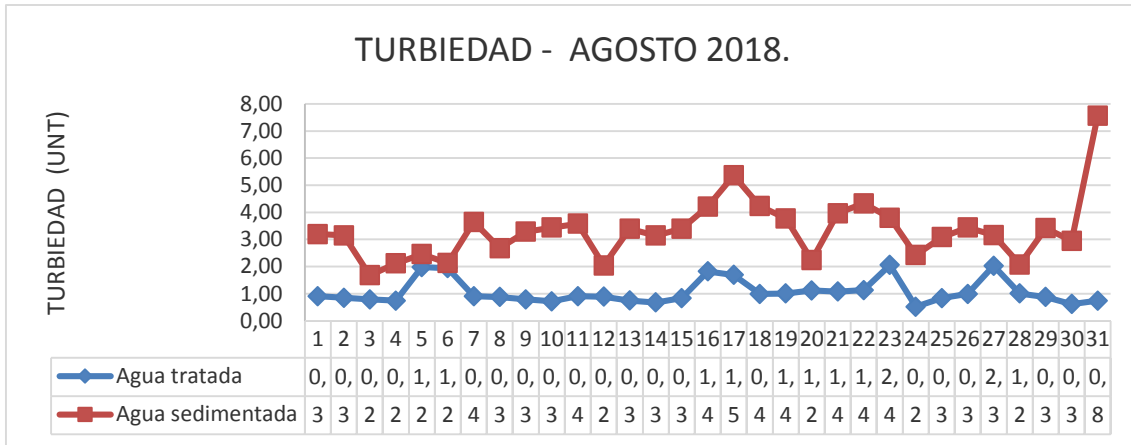


Figura 53 Turbiedad agua tratada y agua sedimentada (Agosto 2018)

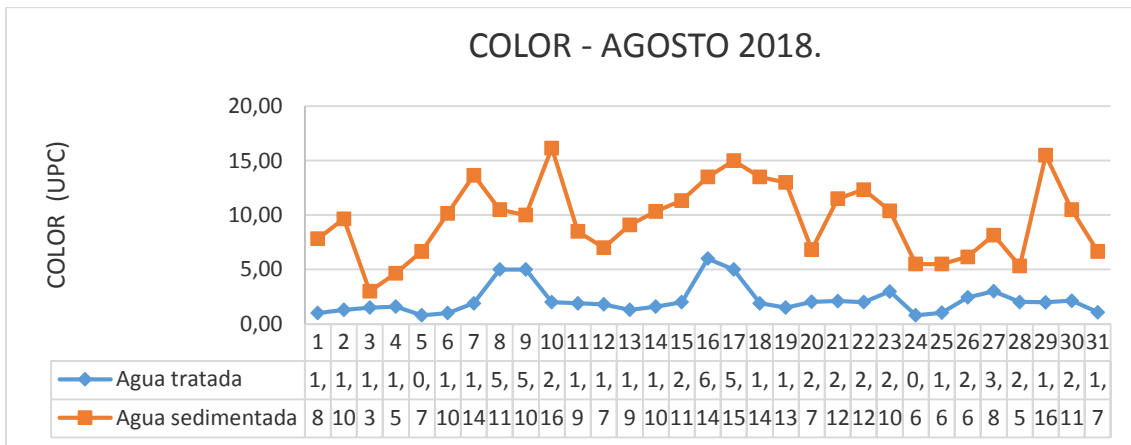


Figura 54 Color agua tratada y agua sedimentada (Agosto 2018)

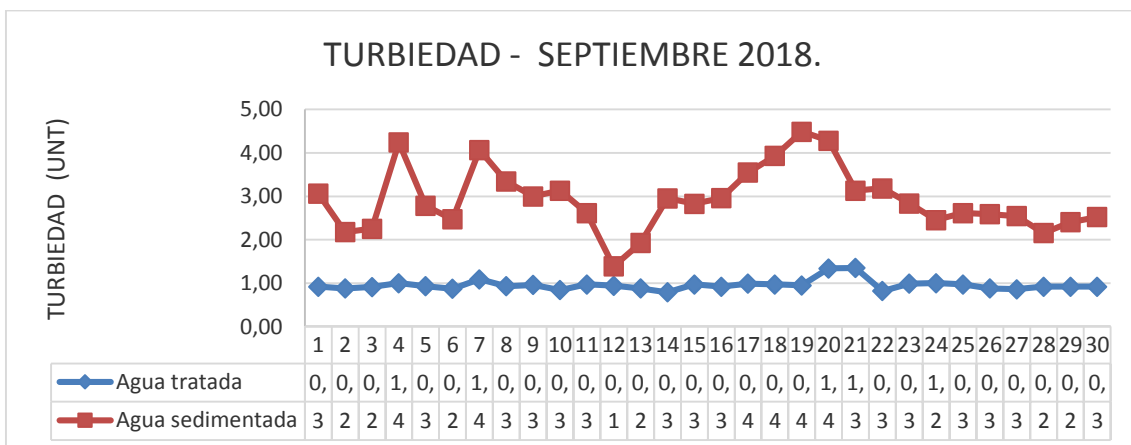


Figura 55 Turbiedad agua tratada y agua sedimentada (Septiembre 2018)

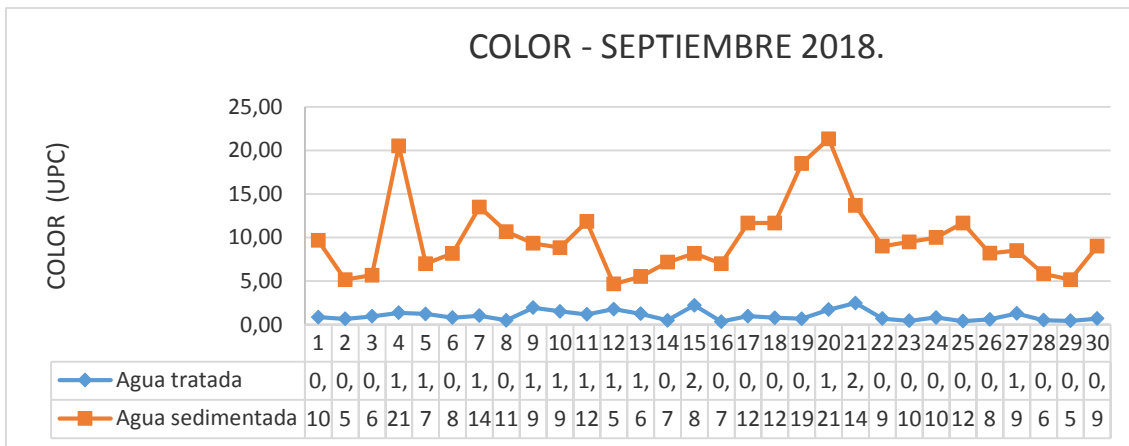


Figura 56 Color agua tratada y agua sedimentada (Septiembre 2018)

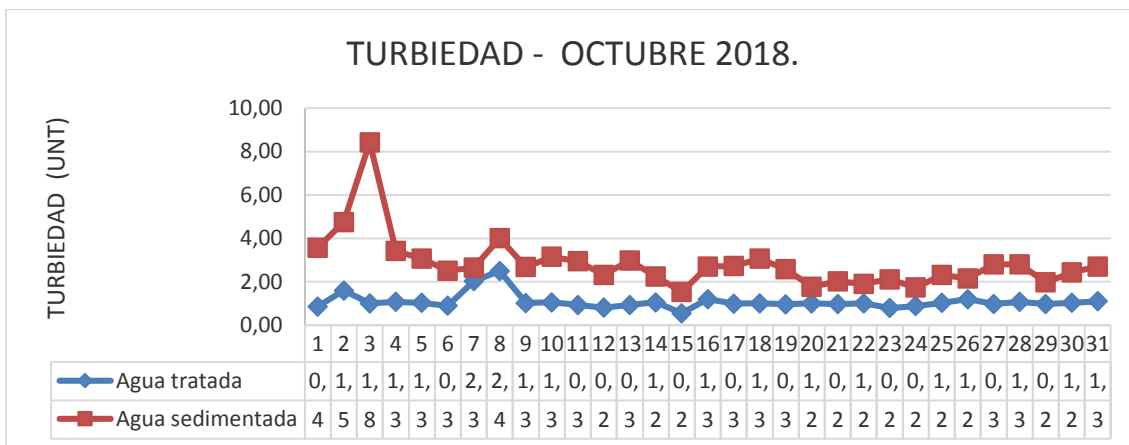


Figura 57 Turbiedad agua tratada y agua sedimentada (Octubre 2018)

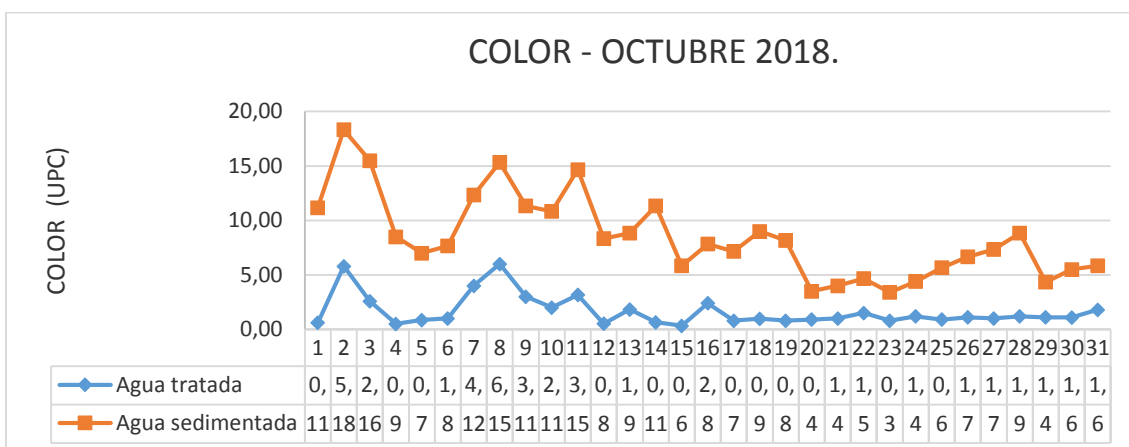


Figura 58 Color agua tratada y agua sedimentada (Octubre 2018)

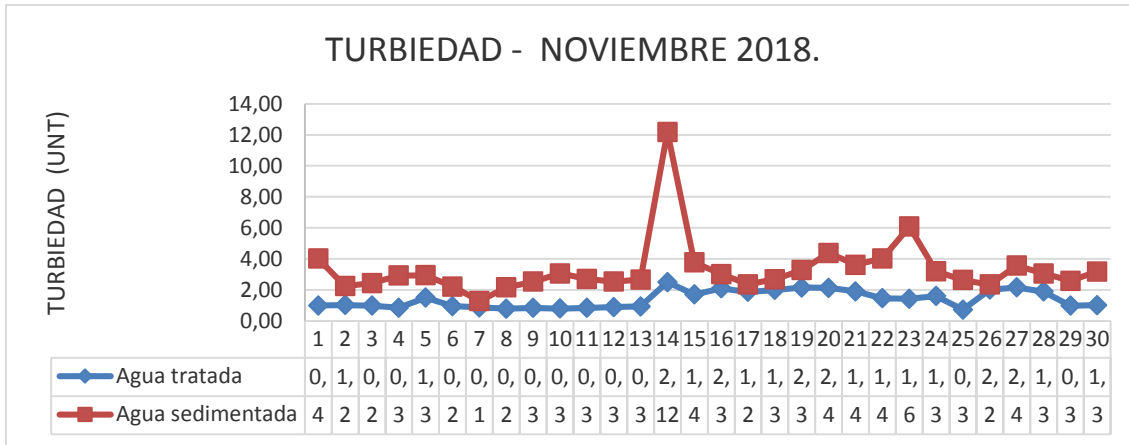


Figura 59 Turbiedad agua tratada y agua sedimentada (Noviembre 2018)

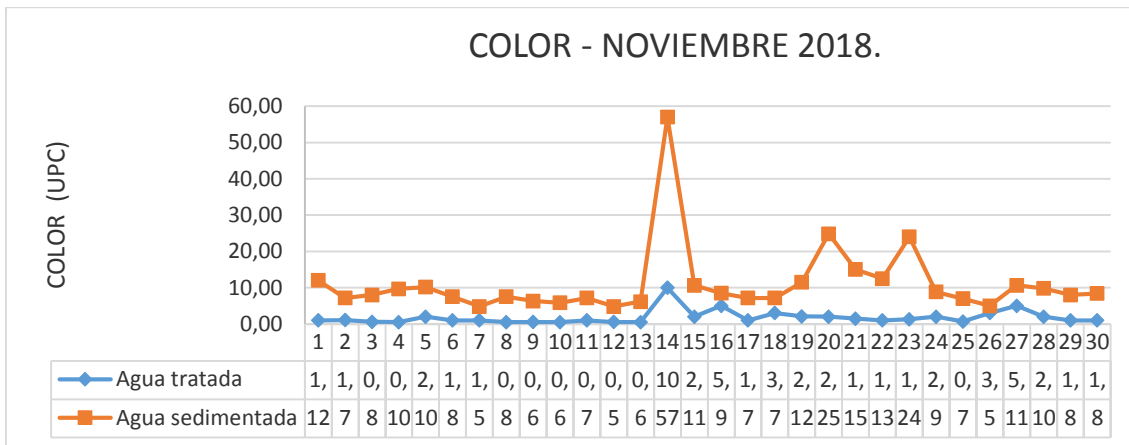


Figura 60 Color agua tratada y agua sedimentada (Octubre 2018)

Tabla 25 Eficiencia de los filtros en función de la turbiedad

Mes	Agua sedimentada	Agua filtrada	Eficiencia
-	UNT	UNT	%
Enero	3,03	0,99	67,33
Febrero	2,82	0,95	66,31
Marzo	2,88	0,97	66,32
Abril	3,67	0,96	73,84
Mayo	3,59	1,17	67,41
Junio	3,75	1,13	69,87
Julio	3,35	0,90	73,13
Agosto	3,33	1,07	67,87
Septiembre	2,93	0,96	67,24
Octubre	2,84	1,08	61,97
Noviembre	3,32	1,39	58,13
Año 2018	3,23	1,05	67,22

Fuente: Autores



Tabla 26 Eficiencia de los filtros en función del color

Mes	Agua sedimentada UC	Agua filtrada UC	Eficiencia %
Enero	9,32	1,05	88,73
Febrero	8,72	1,12	87,16
Marzo	7,77	1,13	85,46
Abril	12,65	2,09	83,48
Mayo	13,56	3,19	76,47
Junio	16,24	1,89	88,36
Julio	10,91	1,31	87,99
Agosto	9,61	2,19	77,21
Septiembre	9,88	1,02	89,68
Octubre	8,49	1,66	80,45
Noviembre	11,11	1,81	83,71
Año 2018	10,75	1,68	84,43

Fuente: Autores

Las Tablas 25 y 26 muestran la eficiencia de los filtros a partir del agua sedimentada y filtrada, para ello se usaron los valores mensuales de turbiedad y color respectivamente.

Caudal de operación de los filtros

Tabla 27 Caudal de operación de los filtros

	B cm	b cm	P cm	H cm	Θ °	Cd	Q l/s
Filtro 1	68	5	50	13,5	90	0,609	15,2
Filtro 2	61	6	50	12,5	90	0,611	12,9
Filtro 3	65	5	50	12	90	0,612	11,7
Filtro 4	60	6	50	11	90	0,615	9,4
Filtro 5	61,5	5	50	10	90	0,619	7,5

Para la eficiencia de la unidad de filtración se toman muestras de color y Turbiedad a la salida del sedimentador y a la salida de los filtros mostrando un promedio en el año 2018 de 67.22 % de remoción para la turbiedad y de 84.43 % en la unidad de sedimentación y de filtración se puede apreciar mayor remoción de color.



En la Tabla 27 se puede observar que los caudales que ingresan a la unidad de filtración difieren como el caudal de 15.2 l/s que ingresa en el filtro1 en comparación al caudal de 7.5 l/s que ingresa al filtro número 5, esta diferencia se debe a que la geometría de los tubos que salen del sedimentador no concuerdan con la geometría de los vertederos de ingreso a los filtros distribuyéndose el caudal de forma irregular.

5.10 Desinfección

Tabla 28 Resultados de la medición del cloro residual

Cloro residual						
Ubicación en la red de distribución						
Fecha	Planta de tratamiento	Reservas Capzha	Reservas Parculoma	Registro Civil	Estadio Gerardo L.	GAD Gualaceo
31-ene-18	1,50	1,50	1,30	0,59	1,40	1,50
4-abr-18	1,50	1,22	0,71	0,95	0,58	0,71
16-mar-18	1,21	1,15	0,65	0,32	0,77	0,83
21-mar-18	1,50	1,40	1,34	1,13	1,27	1,25
28-mar-18	1,35	1,24	0,79	0,86	0,84	0,81
16-may-18	1,21	1,15	0,65	0,32	0,77	0,98
23-may-18	1,32	1,48	0,61	0,42	0,7	0,69
30-may-18	1,49	1,49	1,48	1,47	1,24	1,46
13-jun-18	1,48	1,32	1,19	1,03	0,66	1,09
20-jun-18	1,50	1,41	0,93	1,41	1,23	1,36
17-oct-18	1,50	1,38	0,97	1,34	0,70	1,00
5-dic-18	1,38	1,25	0,55	1,02	0,90	0,48

Fuente: EMAPAS-G

La normativa vigente para el control de calidad de agua potable establece que el límite del cloro residual es de 1.5 mg/l para no afectar sus condiciones estéticas de sabor y olor, además, para no producir un efecto toxico para los consumidores. Así también, en el punto más alejado de la red de distribución se debe tener un valor mínimo de 0.3 mg/l para garantizar la inocuidad del agua. En este presente estudio. Luego de evaluar el cloro residual en diferentes puntos de la red de distribución incluido la planta de tratamiento se pudo verificar que el valor máximo registrado es de 1.5 mg/l a la salida de la planta y un valor mínimo de 0.48 mg/l en el GAD de Gualaceo. Valores que están dentro de la normativa para el consumo seguro del agua. Se tenía previsto realizar un estudio con el tiempo de concentración del cloro, pero, involucraba el aumento en la dosis de cloro en un 30 % que podría provocar afección a los consumidores.

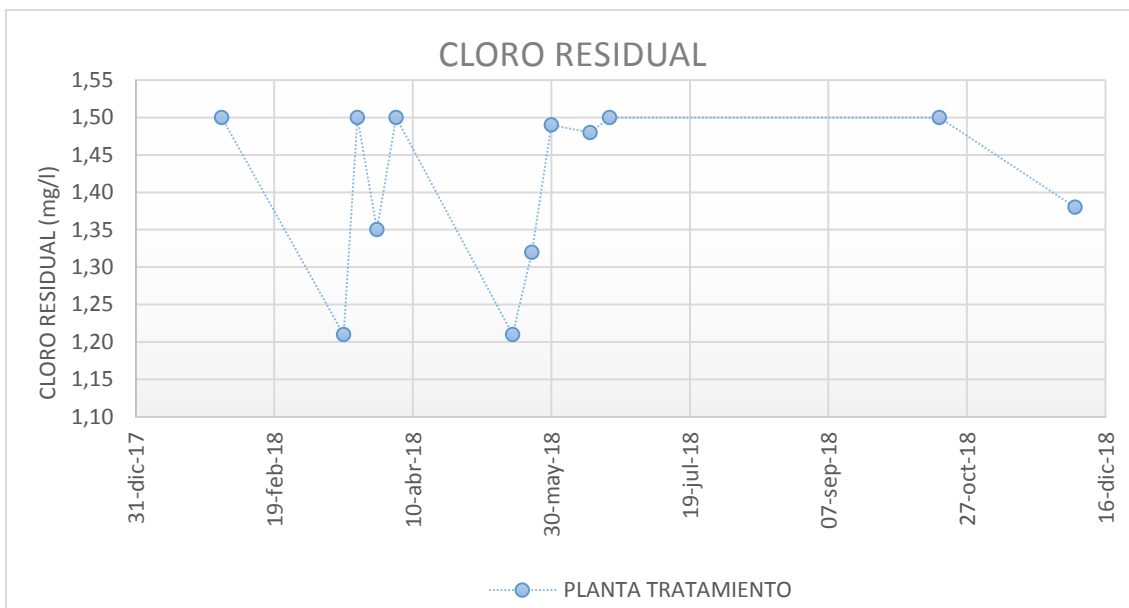


Figura 61 Variación del cloro residual en la planta de tratamiento

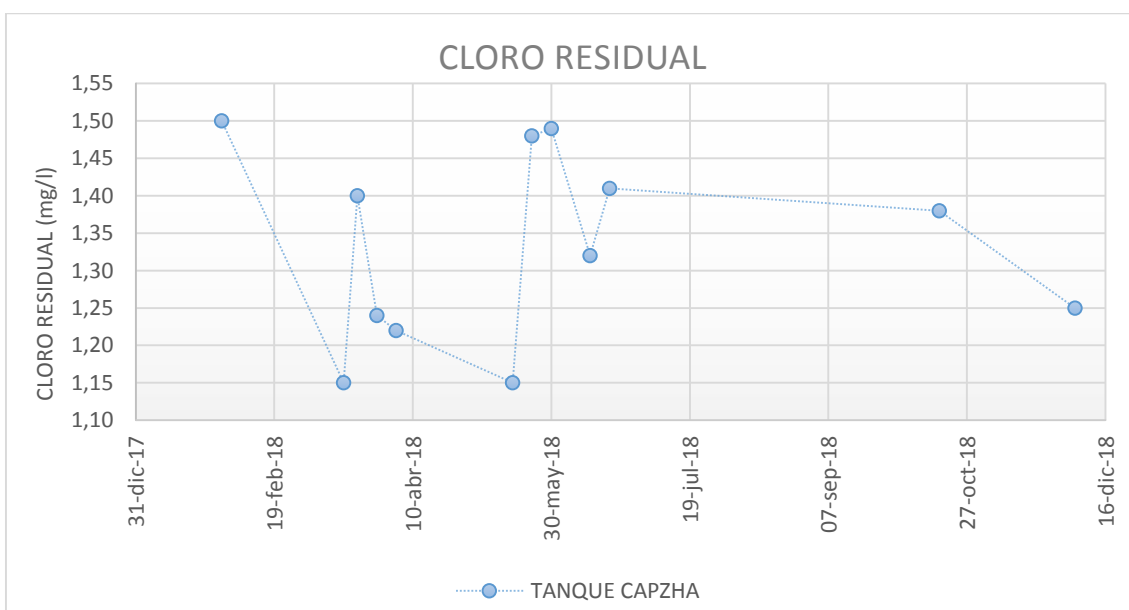


Figura 62 Variación cloro residual en las Reservas de Capzha

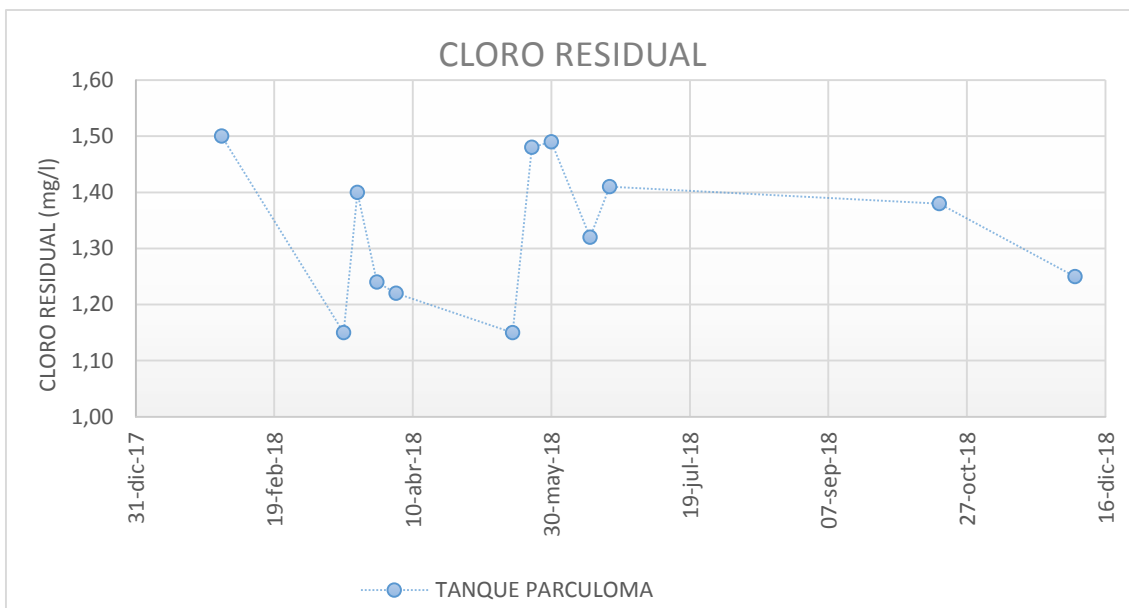


Figura 63 Variación cloro residual en las reservas de Parculoma

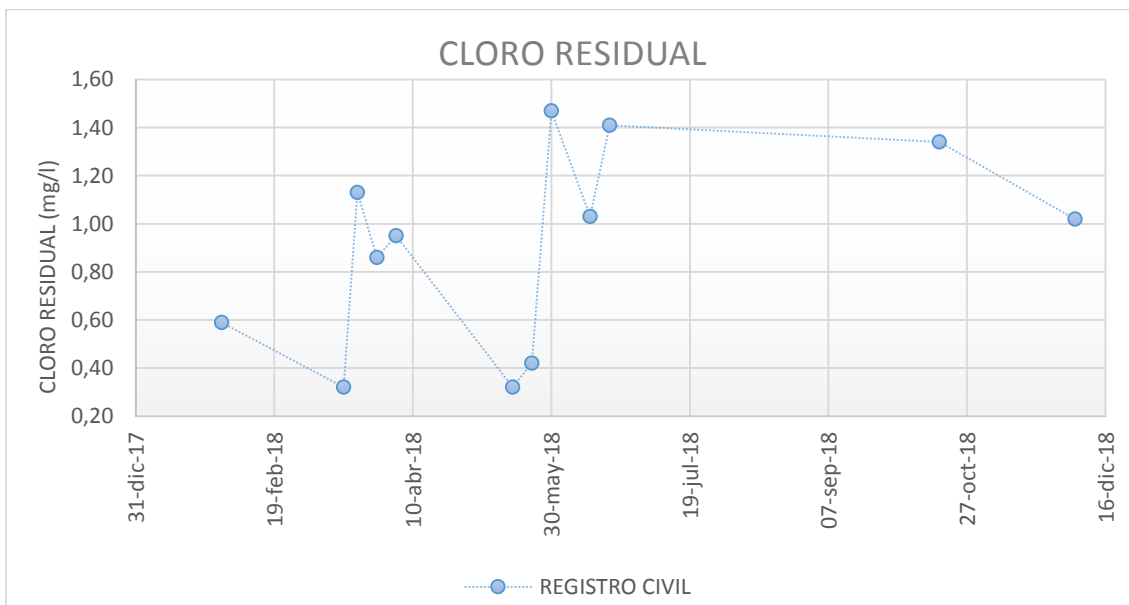


Figura 64 Variación cloro residual registro civil

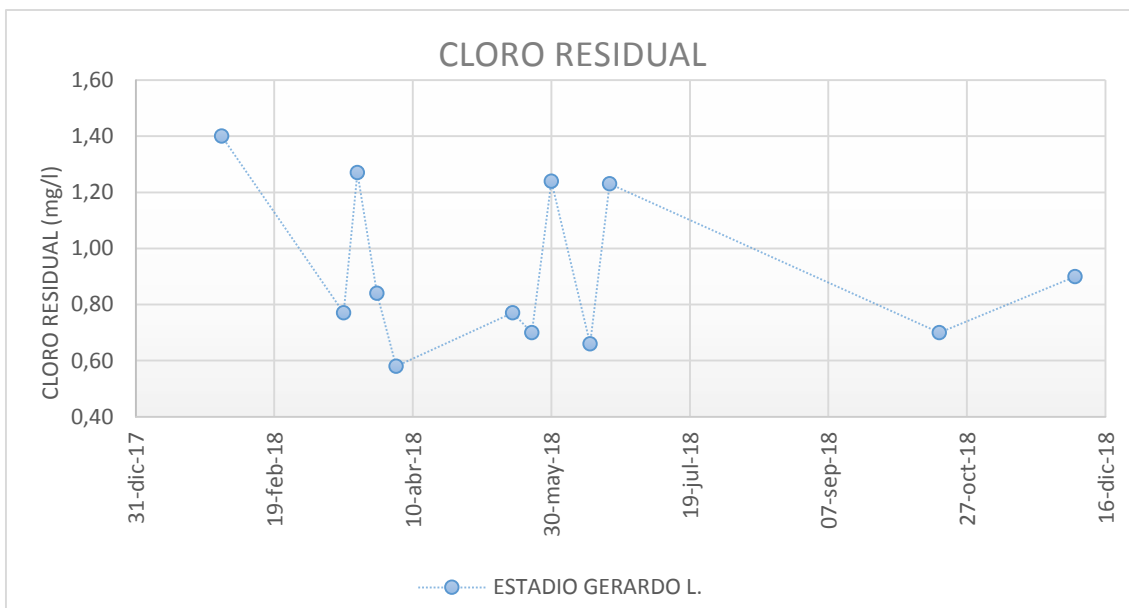


Figura 65 Variación cloro residual en el estadio Gerardo L.

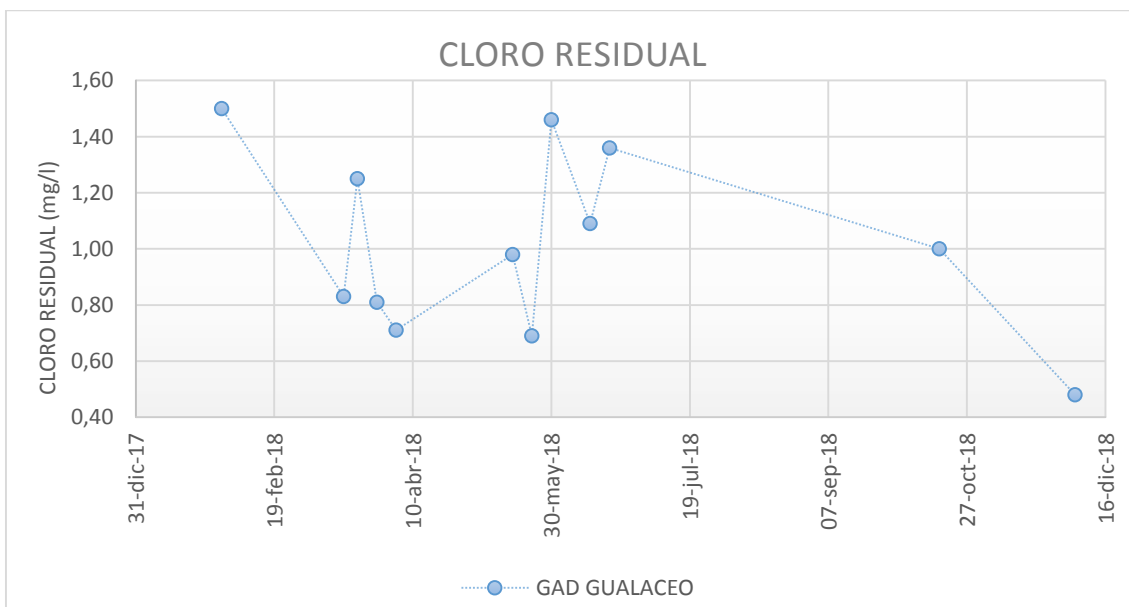


Figura 66 Variación cloro residual en GAD Gualaceo

Con el registro promedio mensual del cloro residual a la salida de la planta de tratamiento, como se muestra en la Tabla 28, se puede observar el efecto que tiene en el pH, el cual se compara con la Normativa.

Tabla 29 Cloro residual y pH

Efecto del cloro residual en el pH			
Mes	Cloro residual		pH
	mg/l	máximo	Unidades
Enero	1,44	1,5	6,88
Febrero	1,38	1,5	6,91
Marzo	1,46	1,5	6,89
Abril	1,42	1,5	6,84
Mayo	1,43	1,5	6,84
Junio	1,46	1,5	6,87
Julio	1,47	1,5	6,88
Agosto	1,50	1,5	6,84
Septiembre	1,48	1,5	6,89
Octubre	1,48	1,5	6,81
Noviembre	1,44	1,5	6,98
Diciembre	1,40	1,5	6,92

Fuente: EMAPAS-G

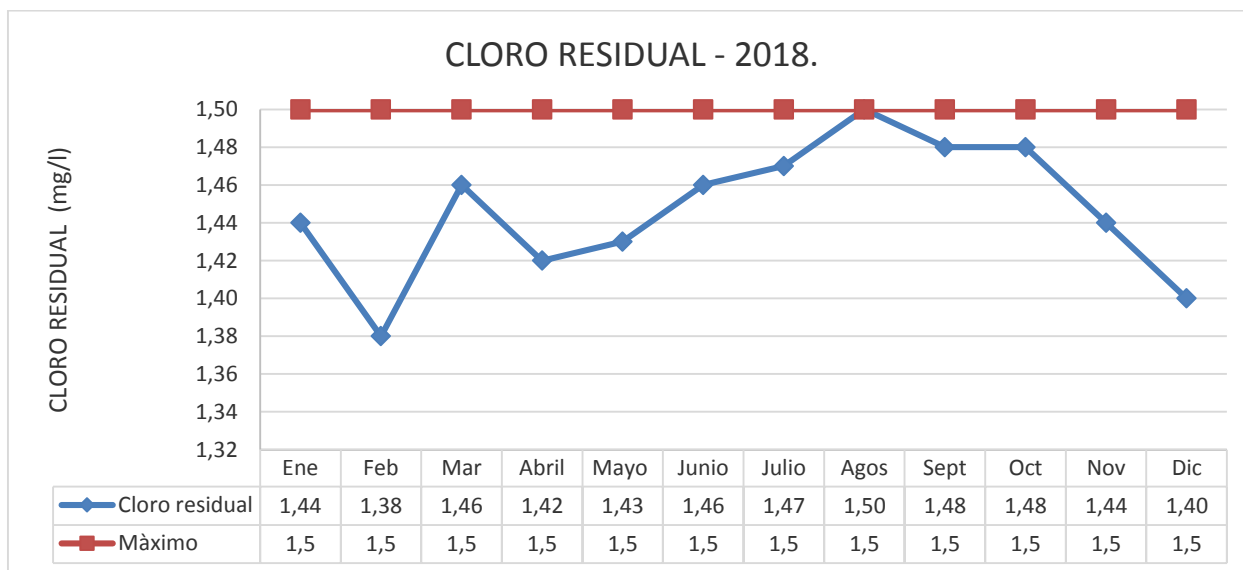


Figura 67 Variación cloro residual en el 2018

En la figura 69 se observa que el pH dl agua que contiene cloro residual esta entre los valores que establece la normativa INEN 1108 de 6.5 a 9.5, a un pH de 7.5 se tienen concentraciones de ácido hipocloroso y de ion hipoclorito iguales que son claves en la desinfección. Así, a pH por debajo de 7.5 la cantidad de hipoclorito para desinfectar el agua es mucho menor que la necesaria para esa misma agua a pH superior a 7.5

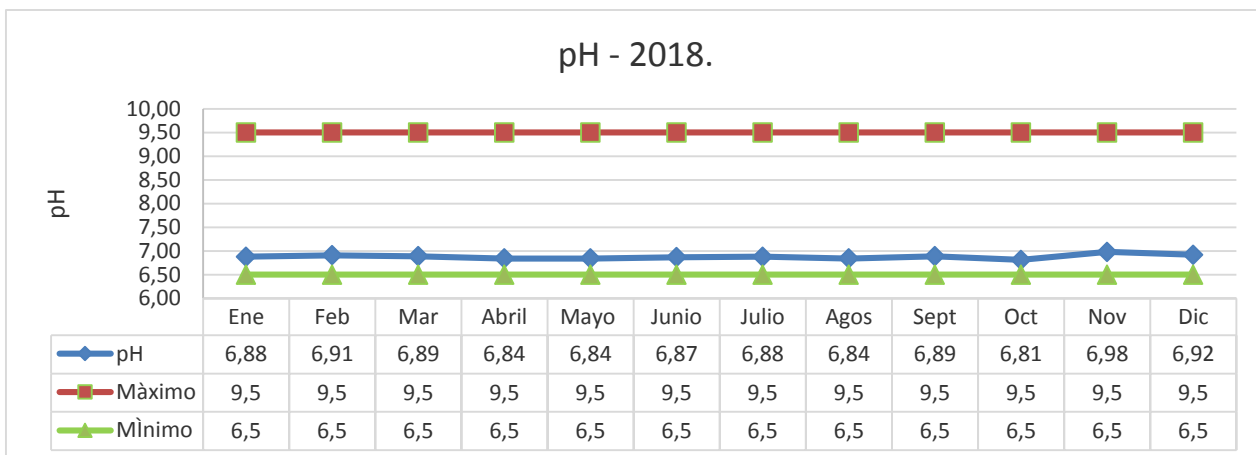


Figura 68 Variación pH en el 2018

5.11 Lodos generados por la planta

Tabla 30 Caudales de agua cruda.

Mes	Qmed l/s	Qprom l/s
Ene	54,74	56,07
Feb	55,93	56,07
Mar	54,90	56,07
Abr	56,15	56,07
May	57,82	56,07
Jun	55,68	56,07
Jul	57,38	56,07
Ago	56,36	56,07
Sep	55,78	56,07
Oct	55,90	56,07
Nov	56,17	56,07

Fuente: EMAPAS-G

La Tabla 30 muestra los caudales de operación medio para cada mes así como un promedio mensuales, los cuales fueron utilizados para la estimación de los lodos producidos por la planta.

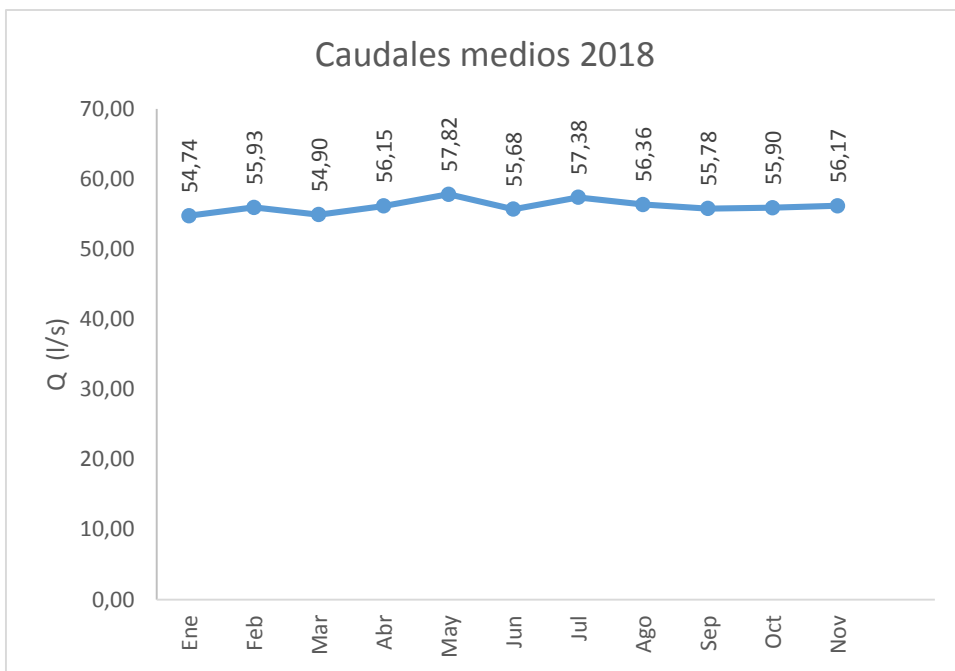


Figura 69 Caudales medios de agua cruda.

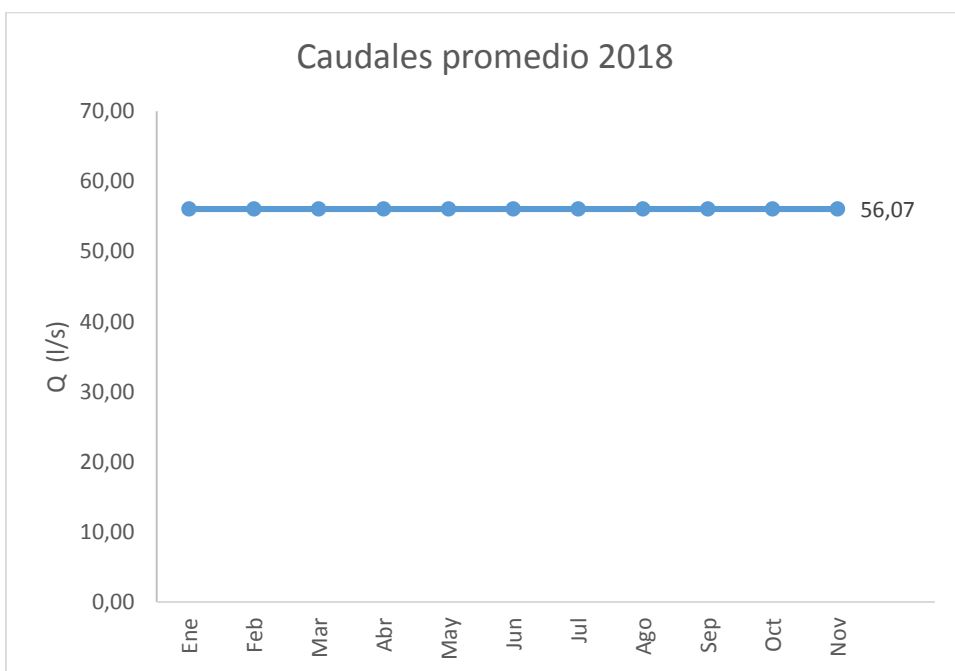


Figura 70 Caudal promedio de agua cruda.

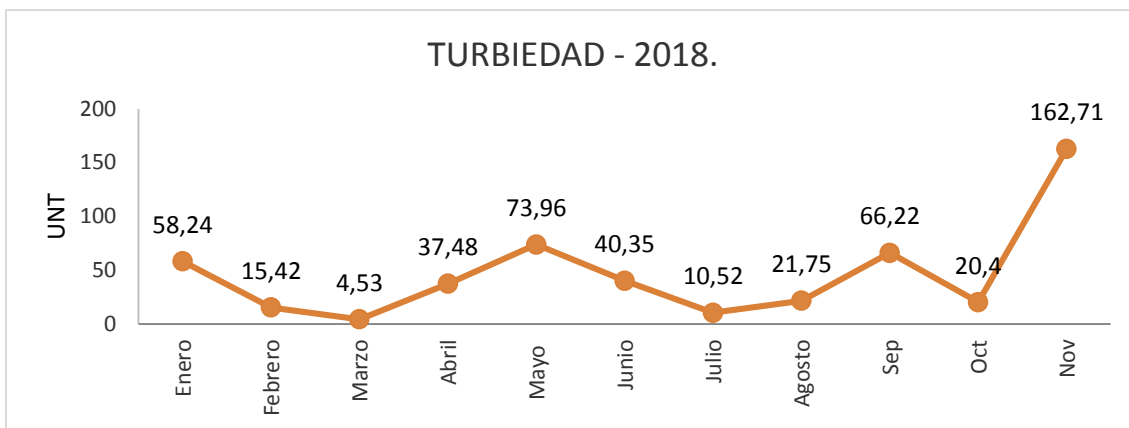


Figura 71 Turbiedad media 2018

La figura 72 muestra una variación significativa entre los valores mínimos y máximos de turbiedad, sin embargo esta variación se debe principalmente a eventos puntuales tales como precipitaciones esporádicas aguas arriba de la captación, además cabe señalar que existen constantes deslizamientos en el sector de Ingamullo provocando el aumento de la turbiedad hasta llegar a la captación.

Tabla 31 producción de lodo

Mes	kg_lodo/dia	k_lodo/mes
Ene	30,4	941,9
Feb	10,4	289,8
Mar	5,0	154,8
Abr	21,1	632,8
May	39,9	1238,3
Jun	22,3	668,9
Jul	8,2	253,9
Ago	13,5	418,9
Sep	34,8	1044,2
Oct	12,8	395,3
Nov	81,9	2456,3

Con los valores de turbiedad mensual (Figura 72), y los caudales mensuales, medio anual, mediante la Ecuación 1 se calcula la cantidad de lodos (masa seca) cuyos valores se muestran en la Tabla 31.



7 Conclusiones y Recomendaciones

- A partir de la evaluación se puede concluir que la planta a pesar de estar en su último año de vida útil sus instalaciones están en buen estado, actualmente puede procesar un caudal de 57.2 l/s que permite dar una dotación de 103 l/hab/día sin presentar problemas de desabastecimiento sin embargo para el 2038 para seguir con la misma dotación se necesitara un caudal de 74.4 l/s para mantener la dotación actual.
- Luego de levantar la geometría de la unidad y de calcular para verificar los resultados se tiene que, la unidad de floculación para mejorar su eficiencia necesita de al menos 6 cámaras adicionales por cada zona, las dimensiones de cada cámara de floculación diferencian en dos centímetros, lo que indica que las dimensiones construidas son correctas. El cálculo de las pérdidas en esta unidad en comparación con los valores medidos dista un 40 %. Esta diferencia considerable de las pérdidas se justifica debido a que el modulo presenta deterioro.
- El crecimiento oscilante de la población de Gualaceo no permite una adecuada estimación de la proyección de población por lo que, las mejores estimaciones se logran cuando se toman en cuenta los censos a partir del año 2001, lo demuestra el método exponencial que estima una población de 62422 habitantes para el año 2038 proporcional al estimado por el INEC.
- El tiempo de retención en la mezcla rápida determinado, es de 5 segundos, relativamente alto para un caudal de operación de 57.2 l/s, aunque se encuentra dentro de lo recomendado (0,01 segundos a 7 segundos), además, se tiene un gradiente de 235.45 s^{-1} , según el manual de la CEPIS (Evaluación de plantas convencionales y de tecnología apropiada), recomienda que dicho gradiente sea próximo a 1000 s^{-1} en el salto hidráulico, este inconveniente se debe a que, a la salida del vertedero el ancho del cajón de mezcla rápida es considerablemente mayor, además presenta una profundidad adicional que involucra un mayor volumen a tratar, el resalto se sumerge sin desarrollarse con normalidad perjudicando el rendimiento en la mezcla rápida.
- Para el floculador el tiempo de retención fue de 38 minutos, esto quiere decir que es el tiempo en que tardaría una molécula de agua en entrar y salir de la unidad, los tiempos de retención recomendados para la floculación es de entre 10 a 30 minutos. Su gradiente de velocidad es de 43.95 s^{-1} , el rango óptimo para



una floculación adecuada esta entre 20 y 75 s⁻¹. En la práctica, la medición del tiempo de retención es difícil debido a la presencia de zonas muertas, corrientes de inercia, cortocircuitos hidráulicos que imposibilita la estabilidad de las condiciones de flujo, el tiempo de retención y su gradiente además se ven afectados por la naturaleza del agua, las variaciones de caudal, intensidad de agitación y número de compartimentos de la unidad.

- El sedimentador presenta una eficiencia promedio de 83.77% para la turbiedad y de 89.98% para el color, durante el año 2018. La mayor remoción de turbiedad se logra en el mes de noviembre con un valor de 97.96% y para el color es de 97.94% en el mismo mes. Los valores mas bajos de eficiencia en la sedimentación se produce en el mes de marzo con 36.42% para la turbiedad y de 68.13% para el color. En esta unidad se remueve los floccs que representa la mayor cantidad de materia en suspensión que contiene el agua cruda.
- La eficiencia de los filtros en el año 2018 presenta un promedio de remoción de la turbiedad de 67.22% y de 84.43% para el color, el mes en el que se registra mayor remoción de turbiedad es en abril con un valor de 73.84% y septiembre para el color, con un valor de 89.68%, el mes de menor remoción de turbiedad es noviembre reflejando un valor de 58.13% y de 76.47% para el color. La remoción de los parámetros del color y la turbiedad depende de la calidad de agua que ingresa a la planta, además, del estado y mantenimiento de los filtros.
- Si se compara la eficiencia del sedimentador y la del filtro se puede observar que la mayor remoción de color y turbiedad se produce en el sedimentador, sin embargo, el porcentaje de remoción en los filtros sigue siendo alta, el parámetro que más se remueve es el color en las dos unidades.
- Se recomienda implementar un sistema de tratamiento de lodos, esto abarca una caracterización de los lodos en la planta así como el estado actual del cuerpo receptor (quebrada), ya que los lodos han sido desalojados sin un tratamiento previo, esta actividad se viene realizando desde el inicio del funcionamiento de la PTAP.
- Se recomienda reparar y cambiar las tuberías recolectoras de los sedimentadores pues presentan grietas lo cual hace que aumente el caudal, provocando turbulencia provocando cambios bruscos que afectan la operación de sedimentación



Bibliografía

- Arboleda, J. (2000). Teoría y práctica de la purificación del agua Tomo II. Bogota: NOMOS.
- Arboleda, J. (2000). *Teoría y práctica de la purificación del agua. Tomo I.* Bogota: NOMOS.
- AWWA. (2002). *Calidad y tratamiento del agua Manual de suministros de agua comunitaria.* Madrid: Edigrafos S.A.
- Cadavid, J. (2006). *Hidráulica de canales Fundamentos.* Medellin: Fondo Editorial Universidad EAFIT.
- Canepa de Vargas, L. (2006). *Tratamiento de agua para consumo humano Manual I: Teoría Tomo I.* Lima: CEPIS.
- Canepa de Vargas, L. (2006). *Tratamiento de agua para consumo humano Manual I: Teoría Tomo II.* Lima: CEPIS.
- Canepa de Vargas, L. (2006). *Tratamiento de agua para consumo humano Manual II: Diseño de plantas de tecnología apropiada.* Lima: CEPIS.
- Canepa de Vargas, L. (2006). *Tratamiento de agua para consumo humano Manual III: Evaluación de plantas.* Lima: CEPIS.
- CEPIS. (2005). *Guía para el diseño de desarenadores y sedimentadores.* Obtenido de <http://www.bvsde.ops-oms.org/tecapro/documentos/agua/158esp-diseno-desare.pdf>
- Chow, V. T. (1994). Hidráulica de Canales Abiertos. En V. T. Chow, *Hidráulica de Canales Abiertos* (págs. 330,343). Santa Fe de Bogota: McGRAW- HILL.
- Coalla, R. L. (2006). Elementos para Acueductos y Alcantarillados. Colombia: Escuela Colombiana de Ingeniería.
- CONAGUA. (2007). *Manual de agua potable alcantarillado y saneamiento. Diseño de plantas potabilizadoras tipo de tecnología simplificada.* Obtenido de <http://www.conagua.gob.mx/CONAGUA07/Publicaciones/Publicaciones/Libros/11DiseñoDePlantasPotabilizadorasTipoDeTecnologíaSimplificada.pdf>
- CONAGUA. (2007). Manual de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento. *Datos Básicos para proyectos de agua potable y alcantarillado.* México.
- De La Peña, J. (2010). *Las técnicas y las construcciones en la Ingeniería Romana.* Arts&Press.
- GAD GUALACEO. (2014). Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial . Gualaceo, Azuay, Ecuador.
- Hernández, A. (2018). *Abastecimiento y Distribución de Agua.* Madrid: Garceta grupo editorial.
- Idrovo, D. (1999). *Diseño, construcción, operación, mantenimiento y evaluación de sistemas de agua potable.* Quito: Gráficas Hernández 842634.
- Lozado , W., & Lozado , G. (2015). *Potabilización del agua principios de diseño, control de procesos y laboratorio.* Bogota: Universidad Piloto de Colombia.



- McGHEE, T. J. (1999). *Abastecimiento de agua y alcantarillado*. Colombia: NOMOS S.A.
- NTE INEN 1108. (2011). *Agua Potable. Requisitos*. Obtenido de <https://bibliotecapromocion.msp.gob.ec/greenstone/collect/promocin/index/assoc/HASH01a4.dir/doc.pdf>
- OMS. (2006). *Guías para la calidad de agua potable*. Organización Mundial de la Salud.
- Perez Carrión, J. (1992). *Programa Regional de Mejoramiento de la Calidad del Agua para Consumo Humano*. Lima: CEPIS.
- Romero, J. A. (2006). *Purificación del Agua*. Colombia: Escuela Colombiana de Ingeniería.
- SEMPLEDES. (2013). *Propuesta Metodológica de Proyecciones de Población 2010-2020 a nivel de distritos y circuitos*. Obtenido de http://sni.gob.ec/documents/10180/3344047/6_propuesta_metodologica_poblacion_2010-2020_distritoscircuitos.pdf/19ba50f6-d8bc-4d66-a2d0-a00b596a5016
- SENAGUA. (1992). CÓDIGO ECUATORIANO DE LA CONSTRUCCIÓN DE PARTE IX OBRAS SANITARIAS. *Normas para el estudio y diseño de sistemas de agua potable y disposición de aguas residuales para poblaciones mayores a 1000 habitantes*. Ecuador.
- Torres-Degró. (2011). Tasas de Crecimiento Poblacional (r): Una mirada desde el modelo matemático lineal, geométrico y exponencial. *CIDE digital*, 2(1), 142-160.
- Trujillo, A. (2007). *Principios básicos de calidad y tratamiento de agua potable*. Manizales: Universidad de Caldas.
- TULAS. (2015). "Texto Unificado de la Legislación Ambiental Secundaria". *Libro VI Anexo 1 Norma de Calidad Ambiental y de Descarga de Efluentes: Recurso Agua* Presidencia de la República del Ecuador. Ecuador.



ANEXOS

Ensayo de trazadores para mezcla rápida

Tabla 32 Ensayo de trazadores para la unidad de mezcla rápida

Tiempo (seg)	Conductividad (uS/m)
0	28
3	279
5	1160
7	1066
9	912
11	721
15	537
20	257
25	221
30	98
35	54
40	45
50	47
60	42

Ensayo de trazadores para la zona 1

Tabla 33 Ensayo de trazadores para la cámara 1 de floculación

Muestra	t (min)	C
0	0	32
1	2	35
2	4	35
3	6	120
4	8	139
5	10	300
6	12	395
7	14	759
8	16	912
9	18	1066
10	20	1160
11	22	984
12	24	721
13	26	603
14	28	410
15	30	325
16	32	133
17	34	77
18	36	48
19	38	47



Ensayo de trazadores para la zona 2

Tabla 34 Ensayo de trazadores para la zona 2 de floculación

Muestra	t (min)	C
0	0	32
1	3	32
2	6	145
3	9	678
4	12	948
5	15	1040
6	18	831
7	21	753
8	24	661
9	27	531
10	30	386
11	33	208
12	36	146
13	39	98
14	42	73
15	45	54
16	48	43
17	51	42
18	54	39
19	57	38

Ensayo de trazadores para la zona 3

Tabla 35 Ensayo de trazadores para la zona 3 de floculación

Muestra	t (min)	C
0	0	53
1	2	245
2	4	627
3	6	763
4	8	657
5	10	631
6	12	594
7	14	512
8	16	453
9	18	364
10	20	320
11	22	340
12	24	402
13	26	286
14	28	231



15	30	134
16	32	85
17	34	61
18	36	63
19	38	70

Gradiente de velocidad método de Wolf Resnick

Tabla 36 Método de Wolf Resnick

Muestra	t (min)	t/to	C	C - Co	$\Sigma(C-Co)$	F(t)	100-F(t)
0	0	0,000	54	0	0	0,00	100,00
1	3	0,091	56	2	2	0,07	99,93
2	6	0,181	54	0	2	0,07	99,93
3	9	0,272	61	7	9	0,31	99,69
4	12	0,363	69	15	24	0,82	99,18
5	15	0,454	82	28	52	1,77	98,23
6	18	0,544	136	82	134	4,56	95,44
7	21	0,635	280	226	360	12,24	87,76
8	24	0,726	179	125	485	16,49	83,51
9	27	0,816	317	263	748	25,43	74,57
10	30	0,907	415	361	1109	37,71	62,29
11	33	0,998	537	483	1592	54,13	45,87
12	36	1,089	525	471	2063	70,15	29,85
13	39	1,179	258	321	2384	81,06	18,94
14	42	1,270	184	243	2627	89,32	10,68
15	45	1,361	143	89	2716	92,35	7,65
16	48	1,451	155	101	2817	95,78	4,22
17	51	1,542	132	78	2895	98,44	1,56
18	54	1,633	113	59	2954	100,44	-0,44
19	57	1,724	45	-9	2945	100,14	-0,14
20	60	1,814	50	-4	2941	100,00	0,00



Ensayos Realizados

Muestra procedencia: Rio San Francisco.- Canton Gualaceo.- Provincia del Azuay
 Fecha de Toma: 27 de febrero de 2019
 Fecha de Análisis: 28 de febrero de 2019
 Solicita: Sr. Andres Gonzalez - Sr. Manuel suarez

Características de la muestra:

Turbiedad 86,9 NTU (FTU)
 Color Aparente 405 U.C. (Pt-Co)
 Color Real 83 U.C. (Pt-Co)
 Conductividad 74,2 uSiemens/cm
 pH 7,50
 Alcalinidad 30,4 mg/l, CaCO₃
 Hierro total 0,21 mg/l
 Manganeseo 0,1 mg/l
 Taninos y Ligninas 3,9 mg/l

Condiciones del ensayo:

Coagulante: Solución de sulfato de aluminio, al 1%
 Mezla rápida: 300 rpm; 1 min
 Mezla lenta: 45 rpm; 20 min
 Sedimentación: 25 min.

Jarra #:	1	2	3	4	5	6
Dosis de coagulante: mg/l	20	30	40	50	60	70
Agua sedimentada						
Color	316	29	14	8	20	43
Turbiedad	54,4	5,51	1,51	1,86	3,48	6,74
pH	7	6,70	6,40	6,1	5,8	5,3
Alcalinidad	25,4	21,4	19,6	16,4	13,6	12,4
Agua filtrada						
Color				5		
Turbiedad				0,830		

Dosis óptima de coagulante: 50 mg/l

UNIVERSIDAD DE CUENCA
 Facultad de Ingeniería
 LABORATORIO DE
 INGENIERIA SANITARIA



DETERMINACION DE LA DOSIS OPTIMA DE POLIMERO

Condiciones del ensayo:

Coagulante: Solución de sulfato de aluminio, al 1%
Polímero: Praestro, ligeramente catiónico, al 0,05%
Mezla rápida: 300 rpm; 1 min
Mezcla lenta: 45 rpm; 20 min
Sedimentación: 25 min.

Jarra #:	1	2	3	4
Dosis de coagulante: mg/l	50	50	50	50
Dosis de polímero: mg/l	0,25	0,375	0,5	0,625
Agua sedimentada				
Color	15	12	24	20
Turbiedad	2,16	1,88	1,99	1,76
Agua filtrada				
Color		6,0		
Turbiedad		0,864		
Solidos Suspendidos		10		
Sedimentables ml/2l				

Dosis óptima de polímero: 0,375 mg/l

Atentamente,

Dra. Guillermina Pauta C.
DIRECTOR DEL LABORATORIO

UNIVERSIDAD D CUENCA
Facultad de Ingeniería
LABORAT - IO DE
INGENIERIA SANITARIA

LABORATORIO DE INGENIERIA SANITARIA

RESULTADOS DE ANALISIS FISICO-QUIMICO Y MICROBIOLOGICO DE AGUA

Muestra Proveniente:	Planta de Tratamiento de Agua Potable - Cantón Guaracabo - Provincia del Azuay
Tipo de Fuente:	Superficial
Fecha de Toma:	14 de noviembre de 2018
Fecha de Análisis:	14 de noviembre de 2018
Condiciones Climatológicas:	Lluvioso
Análisis solicitado por:	Sres: Andrés González - Manuel Suárez

PARÁMETROS	Captación	Entra PTAP	Sedimentador 1	Sedimentador 2	Antes de la entrada al Tanque de Reserva	Tanque de Reserva	Domicilio Lejano	UNIDAD	OBSERVACIONE
PARAMETROS FISICOS									
TEMPERATURA								°C	In situ
TURBIDIDAD	27,0	42,9	10,5	19,0	4,4	15,5	1,12	NTU, FTU	
COLOR APARENTE	131,0	216,0	47,0	88,0	22,0	76,0	10,0	UC, Pt Co	
COLOR REAL	23,0	17,0	9,0	25,0	4,0	22,0	8,0	UC, Pt Co	
CONDUCTIVIDAD	72,5	85,6	86,0	87,9	89,7	91,3	80,1	microsiemens/cm	
SOLIDOS DISUELTOS TOTALES	47,9	56,5	56,8	58,0	59,2	60,3	52,9	mg/l	por cálculo
PARAMETROS QUIMICOS									
pH	7,7	7,8	7,5	7,3	7,5	7,5	7,8		
ALCALINIDAD TOTAL	32,4	35,0	27,2	25,0	28,4	30,4	36,8	mg/l, CaCO3	
ALCALINIDAD F.	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	mg/l, CaCO3	
DUREZA TOTAL	33,0	33,8	32,2	32,2	36,8	40,2	34,4	mg/l, CaCO3	
Ca++	11,0	9,4	9,8	9,5	12,4	10,3	9,2	mg/l	
Mg++	1,4	2,5	1,9	2,0	1,4	3,5	2,8	mg/l	por cálculo
HIERRO TOTAL	0,15	0,11	0,07	0,06	0,08	0,07	0,08	mg/l	
MANGANESO	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	mg/l	
COBRE II LIBRE	0,01	0,02	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	mg/l	
SILICIO	0,03	0,04	0,03	0,03	0,02	0,02	0,03	mg/l	
TANINOS Y LIGNINAS	1,2	1,3	1,1	0,8	0,9	0,7	0,7	mg/l	
P. ORTOFOSFATOS DISUELTOS	0,014	0,018	0,011	0,006	0,060	0,004	0,010	mg/l	como Fósforo
CLORURO	2,5	2,2	2,4	2,5	5,7	4,4	4,2	mg/l	
SULFATOS	1,67	1,56	7,50	10,48	5,77	7,03	1,49	mg/l	
N. NITRIDOS	3,74	4,15	3,34	3,34	2,94	3,34	3,34	ug/l	como Nitrógeno
N. NITRATOS	0,04	0,044	0,037	0,03	0,037	0,04	0,047	mg/l	como Nitrógeno
FLUORURO	0,06	0,04	0,04	0,04	0,06	0,09	0,21	mg/l	
ALUMINIO LIBRE	0,010	0,010	0,009	0,010	0,040	0,044	0,078	mg/l	
CLORO LIBRE RESIDUAL					1,87	1,60	0,86	mg/l	
PARAMETROS BIOLÓGICOS									
COLIFORMES TOTALES	776,0	612,0	115,0	164,0	2,0	0,0	0,0	U.F.C./100ml	35°C, 24H
E. COLI	204,0	180,0	4,0	16,0	0,0	0,0	0,0	U.F.C./100ml	35°C, 24H

Responsable:



Dra. Soilemna Páez C.
DIRECTOR DE LABORATORIO

UNIVERSIDAD DE CUENCA
Facultad de Ingeniería
LABORATORIO DE
INGENIERIA SANITARIA