



Universidad de San Carlos de Guatemala
Facultad de Ingeniería
Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria y
Recursos Hidráulicos -ERIS-

**Caracterización, evaluación y propuestas, para el mejoramiento de las
tres plantas de tratamiento de agua residual doméstica por lodos activados
en la mina Marlin, ubicada en el departamento de San Marcos**

Inga. Nancy Karina Díaz Fulgan

Ing. Jorge Roberto Mejía Tuche

Asesorado por Dr. Ing. Adán Pocasangre Collazos

Guatemala, octubre de 2013

Universidad de San Carlos de Guatemala



Facultad de Ingeniería

Caracterización, evaluación y propuestas, para el mejoramiento de las tres plantas de tratamiento de agua residual doméstica por lodos activados en la mina Marlin, ubicada en el departamento de San Marcos

Estudio especial

Presentado a la Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria y Recursos Hidráulicos -ERIS-

Por los ingenieros

Inga. Química Nancy Karina Díaz Fulgan

Ing. Civil Jorge Roberto Mejía Tuche

Asesorado por el MSc. Ing. Adán Pocasangre Collazos

Como requisito previo para optar al grado académico de

Maestro (Magister Scientifical) en Ciencias de Ingeniería Sanitaria

Guatemala, octubre de 2013

Universidad de San Carlos de Guatemala
Facultad de Ingeniería



Nómina de Junta Directiva

Decano	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
Vocal I	Ing. Alfredo Enrique Beber Aceituno
Vocal II	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
Vocal III	Inga. Elvia Miriam Ruballos Samayoa
Vocal IV	Br. Walter Rafael Véliz Muñoz
Vocal V	Br. Sergio Alejandro Donis Soto
Secretario	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

**Director de la Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria y Recursos
Hidráulicos**

Msc. Ing. Pedro Cipriano Saravia Celis

Tribunal que practicó el examen general privado

Examinador	MSc. Ing. Zenón Much Santos
Examinador	MSc. Ing. Joram Matías Gil Laroj
Examinador	MSc. Ing. Adán Ernesto Pocasangre Collazos

UNIVERSIDAD SAN CARLOS
DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

Guatemala, 18 de octubre de 2013

El director de la Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria y Recursos Hidráulicos -ERIS- después de conocer el dictamen del tribunal examinador integrado por los profesores siguientes: Dr. Ing. Adán Pocasangre Collazos, M.Sc. Ing. Zenón Much Santos, M.Sc. Ing. Joram Matías Gil Laroj, así como el visto bueno del Coordinador de la Maestría en Ciencias en Ingeniería Sanitaria; Dr. Ing. Adán Pocasangre Collazos y la revisión lingüística realizada por la Licenciada Rosa Amelia González Domínguez, Colegiada No. 5284, al trabajo de los estudiantes Inga. Nancy Karina Díaz Fulgan e Ing. Jorge Roberto Mejía Tuche, titulado: **Caracterización, evaluación y propuestas, para el mejoramiento de las tres plantas de tratamiento de agua residual doméstica por lodos activados en la mina Marlín, ubicada en el departamento de San Marcos.** En representación de la Comisión de Admisión y Otorgamiento de Grado, procede a la autorización del mismo, en Guatemala a los 18 días del mes de octubre de 2013.

Imprimase

"ID Y ENSEÑAD A TODOS"



M.Sc. Ing. Pedro Cipriano Saravia Celis
Director

UNIVERSIDAD SAN CARLOS
DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

Guatemala, 15 de octubre de 2013

Señores Comisión de Admisión y Otorgamiento de Grado
Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria y Recursos Hidráulicos

Respetuosamente les comunico que he revisado y aprobado, en mi calidad de Asesor y Coordinador de la Maestría en Ciencias en Ingeniería Sanitaria, el documento de Estudio Especial titulado:

Caracterización, evaluación y propuestas, para el mejoramiento de las tres plantas de tratamiento de agua residual doméstica por lodos activados en la mina Marlin, ubicada en el departamento de San Marcos

Presentado por los estudiantes:

Inga. Nancy Karina Díaz Fulgan
Ing. Jorge Roberto Mejía Tuche

Les manifiesto que los estudiantes cumplieron en forma satisfactoria con todos los requisitos establecidos por la Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria y Recursos Hidráulicos -ERIS- y por la Universidad de San Carlos de Guatemala en la realización de su estudio.

Agradeciéndoles de antemano la atención a la presente, se suscribe de ustedes,

Atentamente,

"ID Y ENSEÑAD A TODOS"

Dr. Ing. Adán E. Pocasangre Collazos
Coordinador Maestría en Ciencias en Ingeniería Sanitaria

Honorable tribunal examinador

En cumplimiento con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

Caracterización, evaluación y propuestas, para el mejoramiento de las tres plantas de tratamiento de agua residual doméstica por lodos activados en la mina Marlin, ubicada en el departamento de San Marcos

Tema que nos fuera asignado por la Dirección de la Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria y Recursos Hidráulicos, de la Facultad de Ingeniería, con fecha enero 2013.

Inga. Nancy Karina Díaz Fulgan

nancyfulgan@yahoo.com

No. carné: 1000-23564

Ing. Jorge Roberto Mejía Tuche

mejiatuchez@yahoo.es

No. carné: 1000-23566

Agradecimientos a:

Mi padre “Dios”

Por cuidarme, iluminarme, darme paciencia, vida y la fuerza necesaria para no desmayar y lograr la meta trazada.

Mis padres

Por su incondicional apoyo, amor y por ser esos seres tan especiales que mi padre Dios me dio, para alentarme a seguir adelante, y ser una mejor persona y profesional cada día.

Mis hermanos

Samantha Nicole y René Orlando, por brindarme su alegría, cariño y la motivación necesaria para ser ejemplo a seguir en su vida profesional.

Mis amigos y compañeros

Por su amistad, apoyo y aprendizaje y por esos momentos tan extraordinarios que compartimos en la ERIS 2012.

Mina Marlin, Montana Exploradora, S.A.

Por confiar en mi persona, brindarme su apoyo para la realización de este trabajo, y sobre todo por la experiencia y los conocimientos adquiridos.

Mi asesor

Ing. Adán Pocasangre, por los valiosos conocimientos compartidos.

Ing. Zenón Much

Por sus enseñanzas, apoyo y colaboración en la realización de este trabajo de graduación.

**Universidad de San
Carlos de Guatemala**

Por ser el centro de enseñanza que inculcó en mí, la responsabilidad, dedicación y el deseo de hacer las cosas lo mejor posible.

Inga. Nancy Karina Díaz Fulgan

Agradecimientos a:

Dios	Porque su soberanía en mi vida se ha manifestado; seguro estoy que concluir esta meta es voluntad suya, su bondad y misericordia me han alcanzado.
Mi madre	Por crecer junto a mí. Todos los días de mi vida, su amor incondicional me ha rodeado.
Mis hermanos	En esta aventura como en muchas otras, sus consejos, apoyo, compañía, motivación y alegría están siempre conmigo.
Mis amigos	Nuevamente han hecho amena otra meta; dichoso mi existir por conocerlos.
Mina Marlin, Montana Exploradora, S.A.	Por el apoyo en este proyecto, mis experiencias de vida se han enriquecido al trabajar con ustedes.
Universidad de San Carlos de Guatemala	Orgullosamente siento de tener una formación sancarlista.

Ing. Jorge Roberto Mejía Tuche

Índice general

Índice de ilustraciones	VII
Lista de símbolos	XV
Glosario	XVII
Resumen	XXIII
Objetivos/Hipótesis	XXVII
Planteamiento del problema	XXXI
Introducción	XXXIII
1. Antecedentes	1
2. Justificación.....	7
3. Generalidades y ubicación del proyecto.....	9
3.1. Goldcorp, Montana Exploradora de Guatemala, mina Marlín.....	9
3.2. Ubicación de la mina Marlín	9
3.3. Ubicación de las tres plantas de tratamiento de agua residual dentro de la empresa Montana Exploradora de Guatemala.....	11
3.4. Ubicación de los cuatro tanques de almacenamiento de agua residual dentro de mina Marlín	13
4. Marco teórico.....	15
4.1. Agua residual.....	15

4.2.	Caracterización del agua residual en una planta de tratamiento	18
4.2.1.	Importancia de conocer el caudal de ingreso en una planta de tratamiento de agua residual.....	18
4.2.2.	Caracterización del agua residual	20
4.3.	Muestreo de agua residual.....	26
4.4.	Sistema de tratamiento de agua residual por medio de lodos activados	26
4.5.	El flóculo dentro del sistema de lodos activados.....	29
4.6.	Suministro de aire a las plantas de tratamiento por medio de aireadores tipo trompeta o Venturi Jet.....	30
4.7.	Funcionamiento de los tanques de almacenamiento de agua residual y fosas sépticas.	32
4.8.	Proceso de digestión anaerobia.....	34
4.9.	Tratamiento de agua residual por medio de un reactor anaerobio de flujo ascendente	36
4.10.	Análisis del proceso de recolección.	37
5.	Evaluación (metodología)	41
5.1.	Localización en donde se desarrolló la etapa experimental.....	41
5.1.1.	Recursos humanos.	41
5.1.2.	Recursos materiales.....	41
5.1.3.	Material de escritorio	42
5.2.	Metodología experimental.....	42
5.2.1.	Cantidad representativa de muestras.....	42
5.2.2.	Elaboración de las curvas de caudal.....	44
5.2.3.	Caracterización de las aguas residuales.....	46

5.2.3.1.	Parámetros a analizar.....	46
5.2.4.	Volumen y caracterización del agua residual y lodos producidos en los baños portátiles y tanques de almacenamiento, descargados en las plantas de tratamiento de agua residual 2 y 3	50
5.2.4.1.	Volumen descargado.....	50
5.2.4.2.	Caracterización.....	50
5.2.4.3.	Análisis del recorrido de recolección de lodos	51
5.3.	Cálculo de la muestra de los consumidores de agua purificada.....	52
5.4.	Diseño de alternativa para mejorar la calidad del agua en las plantas de tratamiento y el tratamiento de los lodos producidos dentro de la mina Marlín.....	53
6.	Muestra de cálculo	55
7.	Datos calculados	71
7.1.	Caudales característicos de la PTAR 1.	71
7.2.	Caudales característicos de la PTAR 2.	75
7.3.	Caudales característicos de la PTAR 3.	80
7.4.	Análisis físicos, químicos y biológicos de la PTAR 1	85
7.5.	Análisis físicos, químicos y biológicos de la PTAR 2.....	92
7.6.	Análisis físicos, químicos y biológicos de la PTAR 3.....	99

8.	Resultados	107
8.1.	Caudales característicos y curvas, de la entrada y salida de las tres plantas de tratamiento de agua residual doméstica.	107
8.2.	Caracterización de las aguas residuales domésticas por medio de sus parámetros físicos, químicos y biológicos más representativos.	116
8.3.	Evaluación del funcionamiento de las unidades de tratamiento de las plantas de tratamiento de agua residual doméstica.	126
8.4.	Propuesta de mejoras a los tratamientos actuales.....	129
8.5.	Evaluación de la reutilización de las aguas residuales domésticas.	130
8.6.	Análisis fisicoquímicos del agua residual de los tanques de almacenamiento, y lodos de los baños portátiles	131
8.7.	Evaluación de la descarga de agua residual y lodos generados en los baños portátiles y tanques de almacenamiento en las PTAR 2 y 3.	133
8.8.	Mapa con la ubicación de los distintos puntos de recolección de tanques de almacenamiento de agua residual y baños portátiles.....	135
9.	Discusión de resultados	139
9.1.	PTAR 1.....	139
9.2.	PTAR 2.....	145
9.3.	PTAR 3.....	150
9.4.	Selección de alternativas de propuesta de mejoras	156
	9.4.1. Alternativa de propuesta de mejoras 1 (seleccionada).	156

9.4.2.	Alternativa de propuesta de mejoras 2 (no seleccionada).....	158
9.4.3.	Selección de alternativas.....	161
9.5.	Detalle de la propuesta de mejoras seleccionada.	162
9.5.1.	Planta de tratamiento de agua residual doméstica 1..	162
9.5.2.	Planta de tratamiento de agua residual doméstica 2..	163
9.5.3.	Planta de tratamiento de agua residual doméstica 3.	167
9.5.4.	Propuesta de construcción de nueva línea de tratamiento de agua residual doméstica.	169
	Conclusiones	171
	Recomendaciones	175
	Bibliografía.....	177
	Apéndices	181

Índice de ilustraciones

Figuras

1.	Ubicación de la mina Marlin en Guatemala.....	10
2.	Ubicación de plantas de tratamiento en mina Marlin.....	12
3.	Descarga de agua residual doméstica en agua dulce.....	15
4.	Curva “caudal vs tiempo” de la “Planta de tratamiento 2” en la mina...	19
5.	Escala de pH y líquidos típicos de los distintitos valores de pH.....	21
6.	Ensayo de laboratorio para determinar sólidos sedimentables.....	22
7.	Ciclo del Nitrógeno en las PTAR de mina Marlin.....	25
8.	Tanque de aireación en la “Planta de tratamiento 1” en mina Marlin, Guatemala.....	27
9.	Flóculo típico de una planta de lodos activados.....	28
10.	Flóculo maduro después de 29 días de formación, lente 100 X.....	30
11.	Aireador marca “ideal” tipo Venturi jet.....	31
12.	Fosa séptica prefabricada instalada de manera subterránea.....	33
13.	Vehículo de recolección de lodos producidos en baños portátiles y tanques de almacenamiento de agua residual.....	39
14.	Caudal de entrada en la planta de tratamiento de agua residual 2, a cada hora de medición.....	45
15.	Caudal de salida en la planta de tratamiento de agua residual, 2 a cada hora de medición.....	45
16.	Equipo para la medición de DBO ₅	47
17.	Digestor utilizado para medir fosforo total, nitrógeno total y DQO.....	48

18.	Conos Imhoff utilizados para determinar sólidos sedimentables.....	49
19.	Curvas de parámetros fisicoquímicos y biológicos en la PTAR 1.....	89
20.	Curvas de parámetros fisicoquímicos y biológicos en la PTAR 2.....	96
21.	Curvas de parámetros fisicoquímicos y biológicos en la PTAR 3.....	103
22.	Curvas de caudal de entrada en la PTAR 1.....	109
23.	Curvas de caudal de salida en la PTAR 1.....	110
24.	Curvas de caudal de entrada en la PTAR 2.....	111
25.	Curva de caudal de entrada en la PTAR 2, lunes 19/11/2012.....	112
26.	Curva de caudal de salida en la PTAR 2, martes 13/11/2012.....	112
27.	Curvas de caudal de salida en la PTAR 2.....	113
28.	Curvas de caudal de entrada en la PTAR 3.....	114
29.	Curvas de caudal de salida en la PTAR 3.....	115
30.	Curvas de los parámetros fisicoquímicos y biológicos comparados con el Acuerdo 236-2006 en la PTAR 1.....	118
31.	Curva de parámetro físico “color aparente” comparado con el Acuerdo Gubernativo 236-2006 en la PTAR 1.....	119
32.	Curva de parámetro biológico “DBO ₅ ” comparado con el Acuerdo Gubernativo 236-2006 en la PTAR 2.....	120
33.	Curvas de parámetros fisicoquímicos y biológicos comparados con el Acuerdo 236-2006 en la PTAR 2.....	121
34.	Curvas de parámetros fisicoquímicos y biológicos comparados con el Acuerdo 236-2006 en la PTAR 3.....	124
35.	Curva de parámetro físico “color aparente” comparado con el Acuerdo Gubernativo 236-2006 en la PTAR 3.....	125
36.	Diagrama de propuesta de mejoras seleccionada.....	129
37.	Ubicación de los distintos puntos de recolección de tanques de almacenamiento de agua residual y baños portátiles.....	135

38.	Unidades y proceso de tratamiento del agua residual en la planta de tratamiento 1.....	140
39.	Canal de rejas y tanque compensador, PTAR 1.....	141
40.	Módulo previo al sedimentador, PTAR 1.....	143
41.	Sedimentador laminar, PTAR 1.....	143
42.	Cámara de contacto, PTAR 1.....	144
43.	Unidades y proceso de tratamiento del agua residual en la planta de tratamiento 2.....	146
44.	Proceso Ludzack-Ettinger modificado para la remoción de nitrógeno..	148
45.	Primer módulo de sedimentación, PTAR 2.....	149
46.	Tubería de conducción del efluente del sedimentador al hipoclorador, PTAR 2.....	150
47.	Unidades y proceso de tratamiento del agua residual en la planta de tratamiento 3.....	152
48.	Canal de rejas o cribado, PTAR 3.....	153
49.	Segundo módulo de sedimentación, PTAR 3.....	155
50.	Cámara de contacto, PTAR 3.....	155
51.	Diagrama de propuesta de mejoras, no seleccionada.....	159

Tablas

I.	Concurrencia de actividades.....	44
II.	Parámetros a analizar.....	47
III.	Parámetros a analizar para la caracterización.....	51
IV.	Datos de tiempos, volúmenes de llenado y caudales en la entrada de la PTAR 1. Martes 20/11/2012.....	71
V.	Datos de tiempos, volúmenes de llenado y caudales en la entrada de la PTAR 1. Miércoles 21/11/2012.....	72

VI.	Datos de tiempos, volúmenes de llenado y caudales en la entrada de la PTAR 1. Sábado 24/11/2012.....	72
VII.	Datos de tiempos, volúmenes de llenado y caudales en la entrada de la PTAR 1. Viernes 7/12/2012.....	73
VIII.	Datos de tiempos de llenado, volúmenes de llenado y caudales en la salida de la PTAR 1. Martes 20/11/2012.....	73
IX.	Datos de tiempos, volúmenes de llenado y caudales en la salida de la PTAR 1. Miércoles 21/11/2012.....	74
X.	Datos de tiempos, volúmenes de llenado y caudales en la salida de la PTAR 1. Sábado 24/11/2012.....	74
XI.	Datos de tiempos, volúmenes de llenado y caudales en la salida de la PTAR 1. Viernes 07/12/2012.....	75
XII.	Datos de tiempos, volúmenes de llenado y caudales en la entrada de la PTAR 2. Martes 13/11/2012.....	75
XIII.	Datos de tiempos, volúmenes de llenado y caudales en la entrada de la PTAR 2. Miércoles 14/11/2012.....	76
XIV.	Datos de tiempos, volúmenes de llenado y caudales en la entrada de la PTAR 2. Jueves 15/11/2012.....	76
XV.	Datos de tiempos, volúmenes de llenado y caudales en la entrada de la PTAR 2. Domingo 18/11/2012.....	77
XVI.	Datos de tiempos, volúmenes de llenado y caudales en la entrada de la PTAR 2. Lunes 19/11/2012.....	77
XVII.	Datos de volumen registrado, cambio en el volumen registrado, tiempo y caudales en la salida de la PTAR 2 Martes 13/11/2012.....	78
XVIII.	Datos de volumen registrado, cambio en el volumen registrado, tiempo y caudales en la salida de la PTAR 2. Martes 14/11/2012.....	78

XIX.	Datos de volumen registrado, cambio en el volumen registrado, tiempo y caudales en la salida de la PTAR 2. Jueves 15/11/2012.....	79
XX.	Datos de volumen registrado, cambio en el volumen registrado, tiempo y caudales en la salida de la PTAR 2. Domingo 18/11/2012.....	79
XXI.	Datos de volumen registrado, cambio en el volumen registrado, tiempo y caudales en la salida de la PTAR 2. Lunes 19/11/2012.....	80
XXII.	Datos de tiempo de lectura, caudales, niveles, volúmenes y cambio de volúmenes en la entrada de la PTAR 3. Sábado 12/01/2013.....	80
XXIII.	Datos de tiempo de lectura, caudales, niveles, volúmenes y cambio de volúmenes en la entrada de la PTAR 3. Lunes 14/01/2013.....	81
XXIV.	Datos de tiempo de lectura, caudales, niveles, volúmenes y cambio de volúmenes en la entrada de la PTAR 3. Miércoles 16/01/2013.....	81
XXV.	Datos de tiempo de lectura, caudales, niveles, volúmenes y cambio de volúmenes en la entrada de la PTAR 3. Viernes 18/01/2013.....	82
XXVI.	Datos de volumen registrado, cambio en el volumen registrado, tiempo y caudales en la salida de la PTAR 3. Sábado 12/01/2013.....	82
XXVII.	Datos de volumen registrado, cambio en el volumen registrado, tiempo y caudales en la salida de la PTAR 3. Lunes 14/01/2013.....	83

XXVIII.	Datos de volumen registrado, cambio en el volumen registrado, tiempo y caudales en la salida de la PTAR 3. Miércoles 16/01/2013.....	83
XXIX.	Datos de volumen registrado, cambio en el volumen, tiempo y caudales en la salida de la PTAR 3. Viernes 18/01/2013.....	84
XXX.	Entrada al proceso de lodos activados con aireación extendida, para la PTAR 1.....	85
XXXI.	Porcentaje del caudal de recirculación en la PTAR 1.....	85
XXXII.	Salida del proceso de lodos activados con aireación extendida, para la PTAR 1.....	86
XXXIII.	Eficiencia de remoción de contaminantes en la PTAR 1.....	87
XXXIV.	Valores puntuales promedio de los parámetros fisicoquímicos analizados en las diferentes unidades que conforman la PTAR 1.....	88
XXXV.	Entrada al proceso de lodos activados con aireación extendida, para la PTAR 2.....	92
XXXVI.	Porcentaje del caudal de recirculación en la PTAR 2.....	92
XXXVII.	Salida del proceso de lodos activados con aireación extendida, para la PTAR 2.....	93
XXXVIII.	Eficiencia de remoción de contaminantes en la PTAR 2.....	94
XXXIX.	Valores puntuales promedio de los parámetros fisicoquímicos analizados en las diferentes unidades que conforman la PTAR 2.....	95
XL.	Entrada al proceso de lodos activados con aireación extendida, para la PTAR 3.....	99
XLI.	Porcentaje del caudal de recirculación en la PTAR 3.....	100
XLII.	Salida del proceso de lodos activados con aireación extendida, para la PTAR 3.....	100

XLIII.	Eficiencia de remoción de contaminantes en la PTAR 3.....	101
XLIV.	Valores puntuales promedio de los parámetros fisicoquímicos analizados en las diferentes unidades que conforman la PTAR 3.....	102
XLV.	Caudales característicos de la PTAR 1.....	107
XLVI.	Caudales característicos de la PTAR 2.....	107
XLVII.	Caudales característicos de la PTAR 3.....	108
XLVIII.	Valores promedio de los parámetros fisicoquímicos y biológicos más representativos y su dictamen con respecto al cumplimiento del Acuerdo Gubernativo 236-2006, para la PTAR 1.....	116
XLIX.	Valores promedio de los parámetros de diseño biológico en la PTAR 1.....	117
L.	Valores promedio de los parámetros fisicoquímicos y biológicos más representativos y su dictamen con respecto al cumplimiento del Acuerdo Gubernativo 236-2006, para la PTAR 2.....	119
LI.	Valores promedio de los parámetros de diseño biológico en la PTAR 2.....	120
LII.	Valores promedio de los parámetros fisicoquímicos y biológicos más representativos y su dictamen con respecto al cumplimiento del Acuerdo Gubernativo 236-2006, para la PTAR 3.....	122
LIII.	Valores promedio de los parámetros de diseño biológico en la PTAR 3.....	123
LIV.	Evaluación del funcionamiento de las unidades de tratamiento de la PTAR 1.....	126
LV.	Evaluación del funcionamiento de las unidades de tratamiento de la PTAR 2.....	127

LVI.	Evaluación del funcionamiento de las unidades de tratamiento de la PTAR 3.....	128
LVII.	Valores puntuales promedio de los parámetros fisicoquímicos y biológicos analizados del agua residual en los tanques de almacenamiento.....	131
LVIII.	Valores puntuales promedio de los parámetros fisicoquímicos y biológicos analizados de la descarga de lodos de los baños portátiles.....	132
LIX.	Días de descarga de las diferentes fuentes generadoras.....	133
LX.	Dimensiones y tipos de tanques de almacenamiento.....	134
LXI.	Dimensiones y especificaciones del tanque del vehículo de recolección.....	134
LXII.	Volúmenes en metros cúbicos descargados.....	135
LXIII.	Costos del proyecto, para la alternativa de propuesta de mejoras 1.....	157
LXIV.	Costos del proyecto, para la alternativa de propuesta de mejoras 2.....	160

Lista de símbolos

h_T	Altura en el nivel del tanque de ingreso
A	Área
ΔVT	Cambio de volumen del tanque de ingreso
ΔVF	Cambio de volumen en el flujómetro
Co	Carga orgánica
Cv	Carga volumétrica
QD	Caudal de día máximo
QH	Caudal de hora máximo
q_B	Caudal de impulsión en el tanque de ingreso PTAR 3
q_T	Caudal dentro del tanque de ingreso PTAR 3
QL	Caudal de producción de lodos
Q`w	Caudal de recirculación de lodos
Q	Caudal medio diario
q	Caudal parcial
QB	Caudal producido por baños portátiles
QF	Caudal producido por fosas sépticas
cm	Centímetros
cm³	Centímetros cúbicos
COV	Compuestos orgánicos volátiles
ρ	Densidad
D	Diámetro
°	Grados hexadecimales
IVL	Índice volumétrico de lodos
max	Máximo valor registrado
\bar{X}	Media aritmética

m	Metro
m²	Metro cuadrado
m³	Metro cúbico
mg	Miligramo
ml	Mililitro
mm	Milímetro
min	Minutos
n	Número de datos analizados
Pm	Perímetro mojado
PTAR	Planta de tratamiento de agua residual
%	Porcentaje con base 100
med	Promedio o valor medio registrado
plg	Pulgadas
A/M	Relación alimento y microorganismos
s	Segundo
s²	Segundo cuadrado
SSLM	Sólidos suspendidos en el licor e mezcla
SSLVM	Sólidos suspendidos volátiles en el licor de mezcla
tr	Tasa de recolección
tF	Tiempo de lectura del flujómetro
tT	Tiempo de lectura del tanque de ingreso PTAR 3
t	Tiempo de llenado para aforo
θ	Tiempo de retención celular
V	Volumen de llenado para aforo
v	Volumen de sedimentación en 30 minutos
VT	Volumen en el tanque de ingreso. PTAR 3
V	Volumen en el tanque de aireación
VF	Volumen registrado en el flujómetro

Glosario

Afluente	Corriente de aguas residuales que alimenta otro curso de agua que descarga en el alcantarillado público municipal o a un sistema para su tratamiento.
Aforo	Medir el caudal de un líquido.
Aguas residuales	Son las aguas que han recibido uso y cuyas calidades han sido modificadas.
Aguas residuales de tipo ordinario o domésticas	Aguas residuales generadas por actividades domésticas tales como: uso en servicios sanitarios, pilas, lavamanos, lavatrastos, lavado de ropa, y otras similares, así como la mezcla de las mismas, que se conduzcan a través de un alcantarillado.
Aireación	Proceso de transferencia de oxígeno al agua por medios naturales o artificiales.
Bacterias aeróbicas	Organismos unicelulares y microscópicos que realizan todos sus procesos con la ayuda de oxígeno.

Bacterias anaeróbicas	Organismos unicelulares y microscópicos que sobreviven sin la presencia de oxígeno.
Biodigestor	Instalación u obra cuyo propósito es la estabilización de materia orgánica por medios biológicos; generalmente, hay producción de gas aprovechable como combustible.
Biomasa	Masa de materia viva que se encuentra en un medio.
Caracterización de una muestra	La medición de los parámetros físicos, químicos y biológicos representativos de las aguas residuales en estudio.
Carga	Resultado de multiplicar el caudal por concentración.
Caudal	Volumen de un fluido que pasa por una sección transversal en la unidad de tiempo.
Coliformes totales	Bacterias aeróbicas y anaeróbicas facultativas, bacilos gramnegativos no esporulados que fermentan lactosa con formación de ácido y gas después de 24 a 48 horas de incubación a $35 \pm 0,5$ °C, cuando se investigan por el método de tubos múltiples de fermentación.

Coliformes fecales

Bacterias del grupo coliforme procedentes de heces fecales de animales de sangre caliente, incluidos los seres humanos. También se les designa como termotolerantes o termorresistentes. Son capaces de producir gas a partir de la lactosa en un medio de cultivo a $44,5 \pm 0,2$ °C, en un periodo de 24 ± 2 horas, cuando se investigan por el método de tubos múltiples de fermentación.

Cuerpo receptor

Embalse natural, lago, laguna, río, quebrada, manantial, humedal, estuario, estero, manglar, pantano, aguas costeras y subterráneas, donde se descargan las aguas residuales.

Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO₅)

Medida indirecta de la materia orgánica presente en las aguas residuales y que se determina por la cantidad de oxígeno consumido en la oxidación bioquímica de la materia orgánica biodegradable, durante un periodo de 5 días a una temperatura de 20 °C.

Demanda Química de Oxígeno (DQO)

Es la medida de la cantidad de oxígeno disuelto necesario para lograr una combustión química, en húmedo, de la materia orgánica.

Desarenador

Obra de arte de una planta de tratamiento de agua potable o aguas residuales, utilizada

para retener arenas presentes en el afluente.

Desinfección

Destrucción selectiva de organismos que producen enfermedades.

Efluente

Agua que sale de un medio de tratamiento, que ha sido sometida a operaciones y procesos.

Lodo

Parte semisólida de las aguas residuales que se sedimenta y es atacada por bacterias.

Represa de colas

Barrera fabricada de hormigón cubierta de material impermeable, cuya finalidad es almacenar el agua proveniente del proceso de extracción de oro por medio de cianuro, para su posterior aprovechamiento en el proceso de extracción (se reprocesa el lixiviado).

Tratamiento

Acción o conjunto de acciones que se ejecutan para remover sustancias contaminantes al agua.

Tratamiento preliminar (pretratamiento)

Las unidades utilizadas para este tratamiento están destinadas a eliminar o separar los sólidos mayores o flotantes y los sólidos inorgánicos pesados, y eliminar cantidades excesivas de aceites o grasas.

Tratamiento secundario

Remoción del material coloidal y en suspensión por medio de procesos biológicos (a través de la acción de microorganismos presentes en las aguas residuales).

Tratamiento terciario

Grado de tratamiento necesario para alcanzar una calidad fisicoquímica y biológica adecuada; le da una calidad al agua de acuerdo con el reuso que se le pretenda dar a las aguas residuales (remoción de sólidos suspendidos, compuestos orgánicos, compuestos inorgánicos, nutrientes y microorganismos patógenos).

Resumen

El presente trabajo se realizó con el propósito de caracterizar, evaluar y proponer mejoras en el sistema de tratamiento de aguas residuales domésticas de la mina Marlin, y darle el manejo adecuado a los lodos producidos en los baños portátiles y tanques de almacenamiento de agua residual, para mejorar la calidad fisicoquímica y microbiológica del efluente de las plantas de tratamiento y darle la disposición adecuada a los lodos generados; de tal manera que se cumpla con los parámetros establecidos por el “Reglamento de las descargas y reuso de aguas residuales y de la disposición de los lodos” Acuerdo Gubernativo No. 236-2006, del Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales.

Se hizo el planteo del tema de la reutilización, como forma de minimizar la contaminación ambiental.

La mina Marlin cuenta con tres plantas de tratamiento de agua residual doméstica; estas se basan en un sistema de tratamiento tipo biológico aeróbico con base en lodos activados; dichas plantas son denominadas PTAR 1 “Durman”, PTAR 2 “ISMS” y PTAR 3 “Túnel”. En las instalaciones de la Mina se ubican un total de 52 baños portátiles; los lodos producidos por los baños se descargan en la PTAR 2, también se ubican cuatro tanques de almacenamiento de agua residual, dos de estos se descargan en la PTAR 2 y dos en la PTAR 3 cada semana (a excepción del tanque de almacenamiento situado a un costado de la garita principal, los lodos que produce se descargan cuatro días a la semana en la PTAR 2).

Se determinó que el caudal característico “caudal medio” de las PTAR 1, 2 y 3 en el afluente es de 1,35, 0,21 y 0,25 l/s, respectivamente. Respecto de la caracterización del agua residual doméstica para la PTAR 1, la carga orgánica aumentó en un 133 %; por lo que se demostró que esta planta de tratamiento está sobrecargada hidráulica y orgánicamente. La eficiencia de remoción de DBO₅ para las PTAR 1, 2 y 3 es de 72%, 87%, y 81%, respectivamente.

En relación con el análisis de los parámetros fisicoquímicos, sólidos suspendidos y nitrógeno total, se determinó que las tres plantas de tratamiento de agua residual doméstica no cumplen con los límites máximos permisibles establecidos por el Acuerdo Gubernativo 236-2006, para estos parámetros.

Con base en la gestión y caracterización que se les hizo a los lodos producidos en los baños portátiles, se determinó que los valores puntuales promedio de los parámetros DBO₅, sólidos suspendidos, nitrógeno total y fósforo total de las descargas de lodos son: 10 920 mg/l, 51 200 mg/l, 1936 mg/l y 442 mg/l, respectivamente. A partir de esto se demostró que la PTAR 2 no tiene la capacidad de tratarlos, debido a la alta carga orgánica de estos y a la ausencia de una cámara de mezcla que sirva para diluir su concentración.

A partir de la evaluación que se les realizó a las tres plantas de tratamiento, se verificó que estas poseen canal de rejillas, pero las PTAR 2 y 3 carecen de desarenador y separador de grasas y aceites. Ninguna planta posee derivador de demasías. Como tratamiento primario, cada planta tiene un contactor anóxico (también conocido como bioselector), en el caso de la PTAR1, este contactor solo funciona como compensador de caudal y no como cámara de desnitrificación. Se propone la mejora de las cámaras de contacto (sistema de desinfección), sedimentadores, y patios de secado de las PTAR 2 y 3.

Se recomienda implementar la propuesta de mejoras para las tres plantas de tratamiento de agua residual doméstica en la mina Marlin, con el propósito de que su eficiencia sea mayor del 85%. Asimismo, que se cumpla con los límites máximos permisibles establecidos por el Acuerdo Gubernativo 236-2006 del Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales, de los siguientes parámetros físicos, químicos y biológicos: color aparente, sólidos suspendidos, fósforo total, nitrógeno total y coliformes fecales.

El procedimiento experimental se realizó en los siguientes laboratorios: Laboratorio Unificado de Química y Microbiología Sanitaria “Dra. Alba Tabarini Molina”, Laboratorio de Aguas Residuales y Laboratorio de Procesos de la mina Marlin, Montana Exploradora.

Objetivos

A. General

Evaluar las tres plantas de tratamiento de agua residual doméstica, basadas en un sistema de tratamiento de tipo biológico aeróbico por lodos activados con aireación extendida, en la mina Marlin y proponer mejoras a las mismas.

Específicos

- A.1. Determinar el caudal mínimo, medio y máximo que ingresa y sale diario de las tres plantas de tratamiento. Mediante la construcción de curvas de caudal versus tiempo.
- A.2. Caracterizar las aguas residuales domésticas de las tres plantas de tratamiento, por medio de la medición de sus parámetros físicos, químicos y biológicos más representativos.
- A.3. Evaluar el funcionamiento de las unidades de pretratamiento, tratamiento primario, tratamiento secundario, tratamiento terciario y patios de secado de lodos de las tres plantas de tratamiento, a partir de la caracterización hidráulica de las plantas y la caracterización fisicoquímica y biológica del agua residual.
- A.4. Evaluar la reutilización de las aguas residuales domésticas previamente tratadas en riego tipo I y III, con base en los lineamientos expuestos en el artículo 35: “Parámetros y límites máximos permisibles para reuso”

Acuerdo Gubernativo 236-2006, y reutilización de los lodos producidos de las plantas de tratamiento como abono para reforestación, en las instalaciones de mina Marlin, para el mejoramiento del ambiente en general.

- A.5. Proponer mejoras a los tratamientos actuales, que conlleven a procesos eficientes y resultados dentro de parámetros.

B. General

Evaluar el manejo de los lodos producidos en los baños portátiles y tanques de almacenamiento de agua residual, que ingresan a las plantas de tratamiento de agua residual doméstica 2 y 3 en la mina Marlin.

Específicos

- B.1. Caracterizar los lodos producidos en los baños portátiles y tanques de almacenamiento de agua residual ubicados en la mina Marlin, por medio de la medición de sus parámetros físicos, químicos y biológicos más representativos.
- B.2. Evaluar la descarga de los lodos generados en los baños portátiles y tanques de almacenamiento de agua residual en las plantas de tratamiento de agua residual doméstica 2 y 3.
- B.3. Realizar el mapa donde se ubicarán los distintos puntos de recolección de tanques de almacenamiento de agua residual y baños portátiles, para evaluar y optimizar este proceso.
- B.4. Proponer mejoras al proceso, que conlleven a su optimización.

Hipótesis

Las tres plantas de tratamiento de agua residual doméstica en la mina Marlin tienen una eficiencia de remoción de DBO_5 mayor del 90 %, y cumplen con los límites máximos permisibles establecidos por el Acuerdo Gubernativo 236-2006, del Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales, de los siguientes parámetros físicos, químicos y biológicos: color aparente, sólidos suspendidos, temperatura, fósforo total, nitrógeno total, potencial de hidrógeno, DBO_5 y coliformes fecales.

Planteamiento del problema

En los últimos años, diversas organizaciones en los municipios de San Miguel Ixtahuacán, Sipacapa y otros, junto con entidades gubernamentales, han monitoreado la calidad del agua en diversos cuerpos receptores, según las organizaciones de las comunidades en el área de estudio, los resultados obtenidos indican que estos habitantes y las demás formas de vida que se encuentran en el área de influencia de la mina, continúan en alto riesgo de contaminación, lo cual viola los derechos humanos a un ambiente sano.

En la actualidad, la mina Marlin cuenta con tres plantas de tratamiento de agua residual doméstica, en las cuales diversas deficiencias impiden que determinados parámetros contaminantes del agua no cumplan con lo establecido en la legislación guatemalteca vigente; esto podría contaminar directamente los acuíferos y los ríos de la cuenca donde se ubica la empresa, afectando a las comunidades que se encuentran alrededor, ya que se pone en riesgo su salud.

Con base en la problemática anterior, se deducen los siguientes cuestionamientos:

¿Se encuentran operando en condiciones de eficiencia y eficacia aceptables, desde el punto de vista hidráulico, fisicoquímico y biológico las distintas unidades de las tres plantas de tratamiento de aguas residual doméstica de la mina Marlin, de tal manera que el efluente cumpla con el “Reglamento de las descargas y reuso de aguas residuales y de la disposición

de los lodos” Acuerdo Gubernativo No. 236-2006 del Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales?

¿Es adecuado el manejo que se le está dando a los lodos producidos en los baños portátiles y tanques de almacenamiento de agua residual, al continuar descargando en las plantas de tratamiento 2 y 3 como se hace actualmente, o la descarga se repartirá proporcionalmente en las tres plantas de tratamiento, o será necesaria la implementación de una determinada tecnología para tratarlos?

Con las dos interrogantes anteriores se planteó el cuestionamiento principal:

¿Es adecuado el funcionamiento de las tres plantas de tratamiento de agua residual doméstica, y el sistema de recolección de lodos de los baños portátiles y tanques de almacenamiento es el óptimo en la mina Marlin?

Con esta interrogante queda definido el problema a resolver en el presente estudio especial, fundamentalmente porque cualquier cuestionamiento en cuanto al funcionamiento de las plantas de tratamiento debe girar en torno a la calidad, desde el punto de vista fisicoquímico y biológico, que posee el efluente que se descarga. Para mejorar la calidad de vida de la población y el ambiente que la rodea.

Introducción

El ser humano genera agua residual en grandes cantidades, lo que ha generado una problemática, la cual debe ser resuelta para beneficio del mismo ser humano. La legislación guatemalteca regula las descargas de aguas residuales y reuso de las mismas, con la finalidad de proteger los cuerpos receptores de agua y promover el desarrollo del recurso hídrico.

En la empresa Montana Exploradora de Guatemala (mina Marlin), laboran más de 2000 trabajadores, quienes generan grandes cantidades de agua residual doméstica durante todo el día. La empresa cuenta con dos sistemas de recolección: el primero es por medio de alcantarillado y el segundo, por medio de un vehículo que recolecta el agua residual en aquellos lugares en la mina en los que no existe sistema de alcantarillado; estos dos sistemas transportan el agua residual doméstica desde el punto de generación hasta las tres plantas de tratamiento.

En el presente trabajo se propuso la optimización de las distintas plantas de tratamiento de agua residual doméstica, así como el tratamiento adecuado para los lodos generados en baños portátiles y tanques de almacenamiento de agua residual que se encuentran dentro de la empresa. Para realizar este estudio se hicieron análisis de caracterización de las tres plantas de tratamiento, que inició determinando diversos parámetros físicos, químicos y biológicos del agua que ingresa y sale de las plantas; se determinaron las dimensiones físicas de estas y el recorrido del vehículo de recolección y limpieza, de baños portátiles y tanques de almacenamiento de agua residual.

Terminada la fase de caracterización se propusieron mejoras a las plantas de tratamiento y al sistema de recolección de lodos en baños y tanques de almacenamiento de agua residual. Con el fin de que el sistema de tratamiento de agua residual doméstica trabaje en óptimas condiciones.

1. Antecedentes

La mina Marlin fue descubierta en 1998 por dos geólogos guatemaltecos; sin embargo fue hasta el año 2004 cuando se inició la construcción principal de la empresa, y hasta el año 2005, la explotación y producción de oro dentro de la mina.

Al inicio de las operaciones dentro de la mina Marlin, el agua residual doméstica producida dentro de la empresa era conducida a zanjas de infiltración y pozos de absorción. Sin embargo, la empresa creció en personal, territorio y actividades propias de la minería, por lo que rápidamente las zanjas y pozos no se dieron abasto para tratar esta agua, por lo que se hizo necesaria la construcción de la primera planta de tratamiento de agua residual doméstica.

A inicios del año 2007, se iniciaron los estudios para la construcción de la primera planta de tratamiento, ese mismo año se inició la construcción de la misma, por la empresa Durman Esquivel, por lo que es comúnmente llamada “Planta de tratamiento Durman”; esta planta será nombrada como planta de tratamiento de agua residual 1; la misma trabaja con un sistema de lodos activados, y al finalizar su construcción le fueron asignados dos operadores encargados del mantenimiento menor.

Poco tiempo después se incorporó un pequeño laboratorio dentro de las instalaciones de la planta de tratamiento de agua residual 1. Este laboratorio tiene como finalidad el control y registro de diversos parámetros de calidad del agua residual de ingreso y salida de la planta de tratamiento. En el año 2010 se incorporó una persona más al equipo de mantenimiento preventivo y correctivo.

En el 2010, la limpieza y tratamiento de los lodos de los baños portátiles y tanques de almacenamiento de agua residual, pasó de una empresa privada, que hacía dichas actividades y retiraba los desechos líquidos, a ser una función a realizarse dentro de mina Marlin. Esto aumentó el caudal de ingreso a la planta de tratamiento de agua residual 1, además de fuertes descargas puntuales con alta carga orgánica; por ende, el proceso aerobio de degradación de la materia orgánica que se generaba en la cámara de aireación no era suficiente y fue necesaria la construcción de dos plantas de tratamiento adicionales. Estas plantas de tratamiento fueron construidas en paralelo.

Durante el año 2011 se realizó la construcción de un campamento para personal contratista, que incluía una casa de cambio y oficinas en el área cercana a mina subterránea, por lo que se previó la construcción de dos plantas de tratamiento de agua residual doméstica, una para cada construcción nueva; las cuales adicionalmente soportarían las cargas de baños portátiles y tanques de almacenamiento de agua residual.

Por ello, a finales del año 2011 se inició la construcción de las dos plantas de tratamiento, la primera trata el agua del campamento de contratistas, actualmente ocupado por la empresa mexicana ISMS, “Planta de tratamiento de agua residual 2”, por lo que es llamada frecuentemente “Planta ISMS”. La otra fue construida en la zona cercana a la entrada de mina subterránea, “Planta de tratamiento de agua residual 3”; por su ubicación es llamada “planta túnel”.

Estas dos últimas plantas de tratamiento están constituidas dentro de cilindros de fibra de vidrio y su principio de funcionamiento se basa en el sistema de lodos activados.

Actualmente la entidad ASOTRAMON (Asociación Solidarista de Trabajadores de Montana Exploradora de Guatemala) es la encargada de la recolección y correcta disposición de los lodos producidos en baños portátiles y tanques de almacenamiento de agua residual.

Para ello la asociación cuenta con un vehículo con cisterna de recolección, que extrae los lodos de agua residual de baños portátiles en las instalaciones de mina Marlin; además, recolecta el agua residual acumulada dentro de cuatro tanques de almacenamiento de las áreas denominadas: vivero, garita principal, grupo HERGO y grupo EMO. En el proceso de recolección trabajan dos personas de manera simultánea, el inicio de la jornada de recolección es a las 5:00 a.m. y finaliza a las 17:00 horas.

Este no incluye únicamente la recolección de los lodos, sino también una limpieza interna y externa de los baños portátiles.

Existen varias investigaciones de trabajos de graduación de la Escuela de Ingeniería Sanitaria y Recursos Hidráulicos -ERIS- referentes al tratamiento de aguas residuales, las cuales se presentan a continuación:

En el 2001 se realizó el estudio especial de la Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria (ERIS), por parte de los Ingenieros José Edmundo Rodríguez y Ever Manolo Sánchez de León, cuyo título es "Evaluación de la planta de tratamiento de aguas residuales de Panajachel, Sololá". En esta investigación se determinó que de acuerdo con la revisión de los parámetros analizados (temperatura, potencial de hidrógeno, sólidos sedimentables, sólidos disueltos, sólidos totales, turbiedad, DQO, DBO, nitritos, nitratos y fosfatos), la planta de tratamiento de aguas residuales de Panajachel se encuentra funcionando, según los niveles requeridos por las instituciones reguladoras.

Durante el año 2004 se realizó el estudio especial de la Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria (ERIS), por parte de los Ingenieros Ramón Antonio Castellanos Duarte y Manlia Alicia Del Rosario Romero Cristales, que se titula “Rehabilitación del sistema lagunar de la planta piloto Ingeniero Arturo Pazos Sosa, para su aprovechamiento con fines de riego”. En esta investigación se determinó que el costo total de rehabilitación equivale a Q 89 911,12; este monto incluye la construcción de la obra física, diseño, monitoreo y operación, comunicación y divulgación del proyecto.

Durante el 2010, se realizó el estudio especial de la Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria (ERIS), por parte del Ingeniero Carlos Federico Guillermo Boburg Morales, cuyo título es “Propuesta de tratamiento de las aguas residuales y de su reutilización para un rastro de porcinos”. En esta investigación se concluyó que el reuso del efluente de la PTAR del rastro de porcinos en la zona 17, ciudad de Guatemala, no es posible, dada su ubicación geográfica y su descarga más favorable es al colector municipal.

Además, existen varias investigaciones realizadas con anterioridad en relación con el tratamiento de afluentes por fosas sépticas. En los tanques de almacenamiento de agua residual se determinó un proceso de descomposición anaerobia, pero debido al tiempo de retención y a la estructura de estos, no se presentan las cuatro fases de descomposición orgánica que se dan en una fosa séptica. Esto se discute en detalle en el capítulo 4.

En junio del 2010 se realizó el estudio especial de la Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria (ERIS), por el Ingeniero Carlos René Galindo Valeriano, que se titula “Estudio, caracterización y tratamiento de lodos provenientes de fosas sépticas”. En este estudio se comprobó la alta variabilidad en las características físicas, químicas y microbiológicas de los lodos provenientes de

fosas sépticas domésticas, con el valor promedio encontrado de 62,94 % de ST; por lo que los lodos no se encuentran totalmente digeridos, clasificándosele como lodo crudo al encontrarse dentro del intervalo de 60-80 % de ST.

En abril del 2011 se realizó la publicación de un artículo por parte de: Castillo Borges, Lizama Solís, Méndez Novelo, García Sosa y Espada Solís, que se titula “Tratamiento de efluentes de fosas sépticas por el proceso de lodos activados”. En este estudio se comprobó que es posible tratar el efluente de fosas sépticas en plantas de tratamiento de agua residual doméstica que trabajan por medio del proceso de lodos activados.

En diciembre del 2004 se realizó la publicación de una guía por parte de Proarca-Sigma con el título “Guía para el manejo de excretas y aguas residuales municipales”. En este estudio se publican diversas propuestas para manejar excretas y agua residual en Guatemala.

2. Justificación

La empresa Montana Exploradora de Guatemala, respeta la legislación guatemalteca y diversas leyes extranjeras; además, esta empresa cuenta con altos estándares de calidad en todos sus procesos y actividades. Los temas de gestión ambiental, recursos renovables y desarrollo sostenible, no escapan a las altas exigencias y la legislación interna y externa con los que trabaja la empresa.

Montana Exploradora de Guatemala cuenta con alcantarillado por gravedad e impulsión para recolectar el agua residual que se produce dentro de sus instalaciones; un sistema de recolección por medio de un vehículo con cisterna que extrae el agua residual y lodo producido en baños portátiles y tanques de almacenamiento, ubicadas en aquellos lugares donde no fue posible la construcción de alcantarillado; además de tres plantas de tratamiento de agua residual doméstica que trabajan mediante el sistema de lodos activados.

Pese a que el sistema de tratamiento de agua residual doméstica anteriormente descrito hace un buen trabajo, el sistema se puede mejorar y optimizar en la recolección de los lodos producidos en baños portátiles y tanques de almacenamiento, y las plantas de tratamiento pueden mejorar en su funcionamiento hidráulico y en la calidad del agua, optimizando la reducción de contaminantes.

Es totalmente justificable realizar este estudio para conocer el estado actual de las plantas de tratamiento, saber el funcionamiento del sistema de recolección de lodos, y proponer mejoras en todo el sistema de tratamiento de

agua residual doméstica, ya que la empresa Montana Exploradora de Guatemala debe cumplir con la normativa guatemalteca y con altos estándares internacionales en todas sus actividades directas e indirectas que realizan.

Existen más razones que justifican totalmente este estudio y su cumplimiento, puesto que al ejecutarse las mejoras propuestas en el sistema de tratamiento de agua residual, los cuerpos receptores mejorarán su calidad, se protegerá la recarga hídrica, se protegerán los ríos de la cuenca donde se encuentra ubicada la mina Marlin y se promoverá el desarrollo del recurso hídrico.

Hacer un estudio y registro de la calidad de agua que ingresa y sale de las plantas de tratamiento, es una razón más para realizar el presente proyecto.

3. Generalidades y ubicación del proyecto

3.1. Goldcorp, Montana Exploradora de Guatemala, mina Marlin

- Goldcorp: es una empresa transnacional dedicada a la extracción, refinado y venta de oro; la empresa es de origen canadiense con sede en Vancouver, Columbia Británica; actualmente existen más de 14 000 empleados en todo el mundo, y en la actualidad tiene minas en Canadá, Estados Unidos de Norte América, Guatemala, República Dominicana, México, Argentina y Chile.
- Montana Exploradora de Guatemala S.A: la empresa transnacional “Goldcorp” está inscrita en el registro jurídico de Guatemala como “Montana Exploradora de Guatemala S.A.”, ya que las leyes guatemaltecas obligan a cualquier empresa transnacional a inscribirse como empresa guatemalteca y regirse por la legislación interna del país.
- Mina Marlin: este es el nombre del lugar físico en el cual se encuentra la empresa y el material aprovechable o rico; la mina Marlin está ubicada en el departamento de San Marcos, en los municipios de San Miguel Ixtahuacán y Sipacapa.

3.2. Ubicación de la mina Marlin

La mina Marlin se encuentra en Guatemala, en el occidente del país, departamento de San Marcos; se construyó en dos municipios del departamento, estos son: San Miguel Ixtahuacán y Sipacapa.

La mina a cielo abierto y mina subterránea está ubicada en el municipio de San Miguel Ixtahuacán, favoreciendo a la alcaldía de este municipio por las actividades mineras.

Figura 1. **Ubicación de la mina Marlin en Guatemala**



Fuente: PERRY-CASTAÑEDA LIBRARY, Map Collection. U.S. Central Intelligence Agency, 2000. p. 20.

La mina se encuentra ubicada al norte del departamento de San Marcos; sus coordenadas geográficas son: latitud 15°13'46,20" y longitud 91°41'22,10". El acceso por tierra de la ciudad de Guatemala a la mina, es por la carretera CA1 y 9N.

El clima es templado con 13 °C la mínima y 30 °C la máxima, la dirección del viento es variada, los poblados ubicados en los alrededores de la mina, hablan tres idiomas: español, mam y sipacapense, predomina la religión evangélica y católica.

3.3. Ubicación de las tres plantas de tratamiento de agua residual dentro de la empresa Montana Exploradora de Guatemala

Las tres plantas de tratamiento de agua residual doméstica se encuentran ubicadas en puntos distintos en las instalaciones de la mina; a continuación se describe la ubicación de las tres plantas de tratamiento y la proveniencia del caudal que reciben.

- Planta de tratamiento 1: está ubicada frente a la planta de filtros en la zona central de la mina, limita al oeste con la planta de filtros, al norte, este y sur por áreas verdes no utilizadas ni aprovechadas, descarga por medio de tubería de 6" hacia la quebrada de un río intermitente, que desemboca en la represa de colas. Recibe el caudal de oficinas centrales, oficinas de la entidad ASOTRAMON, comedor de campamento, comedor "La casa del minero", campamentos Túnel Tek y EMO, y el campamento principal.
- Planta de tratamiento 2: está ubicada a un costado del campamento de contratistas, ocupado actualmente por la empresa mexicana ISMS, se encuentra en la parte este de la mina, limita al norte, este, oeste por aéreas verdes no utilizadas y al sur, con el camino de terracería que comunica el campamento ISMS con el camino principal. La planta de tratamiento 2 trabaja con el agua del campamento ISMS, los baños portátiles, y los tanques de almacenamiento de agua residual, garita

principal y vivero. Descarga por medio un sistema de impulsión hasta un canal que desfoga en la represa de colas.

- Planta de tratamiento 3: está ubicada en la zona cercana de ingreso a la mina subterránea, bodega y talleres que dan servicio a esta mina; esta planta de tratamiento limita al norte y este con un canal artificial que conduce agua proveniente de mina subterránea, al sur y oeste con el camino y bodegas de equipo de dicha mina; descarga hacia el canal artificial que se encuentra cercano a la planta de tratamiento, la cual la dirige a la represa de colas; recibe el agua residual doméstica de casa de cambio de mina subterránea, oficinas, tanque de almacenamiento de agua residual de la empresa “grupo HERGO” o “Ingeniería futura”, tanque de almacenamiento de agua residual de la empresa “grupo EMO” y en ocasiones el agua residual de algunos baños portátiles.

Figura 2. **Ubicación de plantas de tratamiento en mina Marlin**



Fuente: fotografía aérea, archivo de la empresa Montana Exploradora de Guatemala S.A. 2012.

3.4. Ubicación de los cuatro tanques de almacenamiento de agua residual dentro de mina Marlin

- Tanque de almacenamiento vivero: ubicado a un costado del vivero privado de la Gerencia de Ambiente; este vivero es utilizado para producir plantas y usarlas en el proceso de reforestación; este tanque de almacenamiento está construido con un tanque prefabricado de almacenamiento de agua potable, con capacidad de 5 mil litros. El tanque está expuesto. Se limpia semanalmente.
- Tanque de almacenamiento garita: está ubicado en la garita principal de ingreso a las instalaciones; está construido con un tanque prefabricado de almacenamiento de agua potable, con capacidad de 2500 litros; esta garita es utilizada por el departamento de seguridad; el tanque está enterrado y protegido por una tapa metálica. Se limpia cuatro veces a la semana.
- Tanque de almacenamiento grupo HERGO: ubicado en la parte noroeste de la mina, recibe el agua residual doméstica de los talleres y oficinas de la empresa “Ingeniería futura”; está construido por un tanque prefabricado de agua potable, con capacidad de 2500 litros; dicho tanque está expuesto. Debe limpiarse y vaciarse semanalmente.
- Tanque de almacenamiento grupo EMO: ubicado en la parte norte de la mina, recibe el agua residual doméstica de la empresa “grupo EMO”, está construido con paredes y losas de concreto armado, con capacidad de 4,6 metros cúbicos aproximadamente; este tanque se encuentra enterrado, bajo el taller de torno de grupo EMO. Se limpia semanalmente.

4. Marco teórico

4.1. Agua residual

El agua residual puede definirse como el agua que utiliza el ser humano para sus actividades domésticas y que luego es desechada, puesto que ha modificado sus condiciones biológicas, químicas y físicas. Según su origen las aguas residuales pueden dividirse en: domésticas, agrícolas, industriales y pluviales. A continuación se hace una descripción de cada una de ellas.

Figura 3. **Descarga de agua residual doméstica en agua dulce**



Fuente: informe de contaminación del lago Titicaca en Perú. Ministerio de Ambiente Perú.
Perú, septiembre de 2009. p. 1.

- Agua residual doméstica: es el agua que el ser humano utiliza para fines higiénicos (baños, cocinas, lavandería, etc.). Consiste básicamente en residuos humanos y de productos de higiene, son producidas en: hogares, edificios, oficinas, centros comerciales y otros similares. Las aguas residuales son ricas en nutrientes y materia orgánica biodegradable. Se pueden clasificar en: aguas negras (contaminadas con heces) y aguas residuales grises (no contaminadas con heces).
- Agua residual industrial: es el agua generada en los procesos industriales, posee características específicas, dependiendo de la industria que la genere.
- Agua residual agrícola: agua residual producida después del riego de campos de cultivo y procesos agrícolas. Las características de este tipo de agua es una alta carga orgánica biodegradable. De toda el agua residual producida por un país latinoamericano, la de mayor porcentaje en producción es la de la industria agrícola.
- Agua residual pluvial: es el agua de lluvia descargada en grandes cantidades en suelo y techos.

Las aguas residuales domesticas están constituidas en su mayor parte por agua 99,9 % y apenas un 0,10 % de sólidos totales; este es un valor aproximado y puede variar fácilmente en cualquier muestra de agua residual, pese al bajo contenido de sólidos totales, este pequeño porcentaje hace que el agua residual no pueda ser fácilmente reutilizada, se hace necesario utilizar procesos físicos, biológicos e incluso químicos, para mejorar la calidad del agua residual y reducir ese 0,10 % de sólidos totales.

La siguiente lista es de los contaminantes más importantes en el agua residual:

- **Sólidos suspendidos:** son aquellos que se encuentran suspendidos en el agua y pueden llevar el desarrollo de colonias bacterianas y de microorganismos en el agua.
- **Materia orgánica biodegradable:** compuesta principalmente por proteínas, carbohidratos y grasas; por lo general se mide en términos de DBO₅ y DQO. Si se descarga agua residual sin tratamiento al medio ambiente, su estabilización biológica puede llevar al consumo de oxígeno natural y al desarrollo de condiciones sépticas.
- **Microorganismos patógenos:** estos son los microorganismos dentro del agua residual que pueden transmitir enfermedades.
- **Nutrientes:** el nitrógeno y fósforo son nutrientes esenciales para el crecimiento de vida dentro del agua. Cuando existen nutrientes en grandes cantidades dentro del agua, pueden provocar el crecimiento de vida acuática no esperada.
- **Metales pesados:** difícilmente se encuentran en el agua residual doméstica, pueden ser adicionados por actividades industriales o bien por mala calidad de tuberías y ductos de conducción. Muchos de ellos son nocivos para la salud del ser humano.
- **Grasas y aceites:** incluyen un gran número de sustancias que tienen como principal característica la insolubilidad de la sustancia en el agua, pueden inhibir el crecimiento de bacterias dentro del agua.

4.2. Caracterización del agua residual en una planta de tratamiento

Para realizar un estudio de agua residual en una planta de tratamiento es importante conocer la calidad del agua que ingresa y sale de dicha planta. El agua puede caracterizarse por tres tipos de parámetros: físicos, químicos y biológicos.

Además, para realizar una caracterización completa de la planta de tratamiento se ha de conocer la cantidad de agua que ingresa a la planta de tratamiento.

4.2.1. Importancia de conocer el caudal de ingreso en una planta de tratamiento de agua residual

La relación de volumen de agua y el tiempo, es comúnmente llamada caudal; este se mide en unidades de volumen o capacidad divididas dentro de unidades de tiempo.

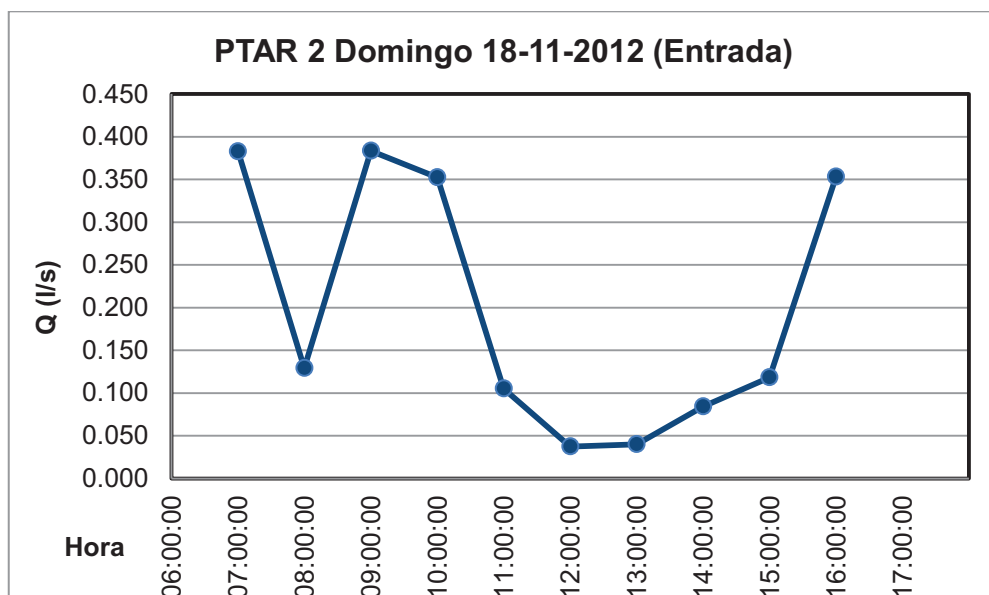
Es importante conocer el caudal de ingreso a una planta de tratamiento de agua residual y no únicamente la calidad del agua que ingresa a dicha planta.

Existe en la actualidad gran cantidad de métodos para conocer el caudal de una corriente, entre estos se puede mencionar: estrangulación de la corriente, flotadores, trazadores químicos, vertederos, métodos geométricos, medidores o contadores mecánicos, entre otros. Sin embargo el método más exacto es el volumétrico, que consiste en conocer el tiempo de llenado de un recipiente con volumen determinado y conocido.

Una planta de tratamiento está diseñada para un caudal medio, si en algún caso el caudal de ingreso es mucho mayor al de diseño, dará como resultado que el agua residual pase un tiempo corto en las unidades de la planta de tratamiento y por ello los procesos biológicos no alcanzarán la madurez adecuada, para degradar la materia orgánica.

Toda planta de tratamiento de agua residual deberá tener una unidad de medición, con el fin de conocer la cantidad de agua que ingresa a la planta. Algunas de estas unidades son: vertederos geométricos, vertederos Sutro, canaleta Parshall, contadores mecánicos, entre otros. En la medición de caudales es importante construir un curva “caudal vs tiempo” cuyo objetivo principal es hacer un estudio de los caudales característicos y las horas de mayor caudal durante un día.

Figura 4. **Curva “caudal vs tiempo” de la “planta de tratamiento 2” en la mina Marlin**



Fuente: elaboración propia.

4.2.2. Caracterización del agua residual

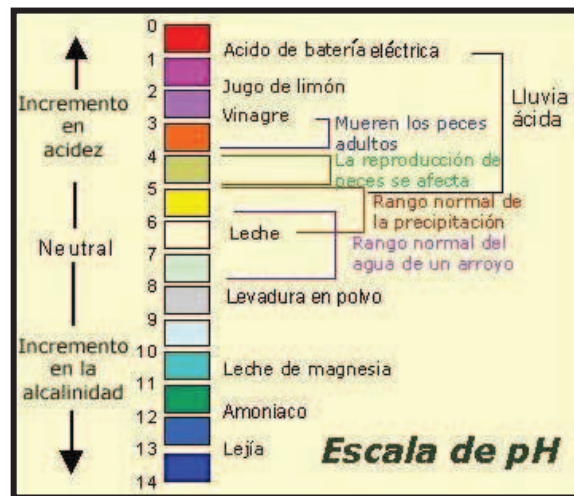
El proceso de caracterización del agua residual es vital para conocer el tipo de tratamiento adecuado para mejorar la calidad del agua, la caracterización incluye parámetros físicos, químicos y biológicos. Si bien estos tres tipos de parámetros tienen características totalmente distintas, están correlacionados unos con otros; de los parámetros físicos depende la calidad química del agua, la cantidad de bacterias y el tipo de microorganismos. Seleccionar el tratamiento de agua residual adecuado y hacer un diagnóstico de la planta de tratamiento depende de las características del agua.

A continuación se hace una descripción de los parámetros analizados en el proceso de caracterización de las plantas de tratamiento ubicadas en la mina Marlin.

- **Turbiedad:** es un efecto óptico causado por la dispersión e interferencia de los rayos luminosos que pasan a través de una muestra de agua; esto hace que la luz sea remitida y no transmitida a través de los sólidos en suspensión del agua. La turbiedad en el agua es medida en términos de “Unidades de turbiedad nefelométricas (UTN)”.
- **Color aparente:** el color en el agua existe principalmente por efecto de partículas coloidales cargadas de manera negativa; el color aparente es producto de suspensiones no naturales que interfieren con la calidad del agua. La unidad de medida es “Unidades de color (UC)”.
- **Potencial de Hidrógeno:** es comúnmente llamado pH; es una medida de la acidez o alcalinidad del agua. Este valor indica la concentración de iones de hidrógeno (H_3O^+) presentes en el agua. Fue acuñado por el químico

Danés Sorensen, quien lo definió como el logarítmico negativo de base 10 de la actividad de los iones hidrógeno presentes en el agua. El potencial de hidrógeno se mide en una escala propia que va desde 0 hasta 14.

Figura 5. **Escala de pH y líquidos típicos de los distintos valores de pH**



Fuente: SLAIFSTEIN, Sergio. Concepto de PH. Ministerio de Educación de Argentina. Argentina, julio, 2007.p. 3.

- **Sólidos totales:** se le conoce como el material sólido disuelto y no disuelto dentro del agua, se determinan como: “la materia que permanece como residuo después de evaporación y secado a 103 °C de una muestra determinada”. La unidad de medida es “miligramos dividido litros (mg/l)”.
- **Sólidos disueltos:** es la diferencia entre los sólidos totales y los sólidos suspendidos. Son las sustancias orgánicas e inorgánicas en forma molecular, ionizada o microgranular que contiene el agua; es un indicador de la calidad del agua. La unidad de medida es “miligramos dividido litros (mg/l)”.

- **Sólidos sedimentables:** se le denomina así a aquellos sólidos que se sedimentan por acción de la gravedad, en condiciones tranquilas. Este parámetro es determinado mediante el cono Imhoff de un litro de capacidad y registra el volumen de los sólidos sedimentados en el cono al cabo de 1 hora. Se mide en términos de “mililitros dividido litros en una hora (mg/l/hora)”.

Figura 6. **Ensayo de laboratorio para determinar sólidos sedimentables**



Fuente: laboratorio de Aguas Residuales de Mina Marlin, Montaña Exploradora de Guatemala.

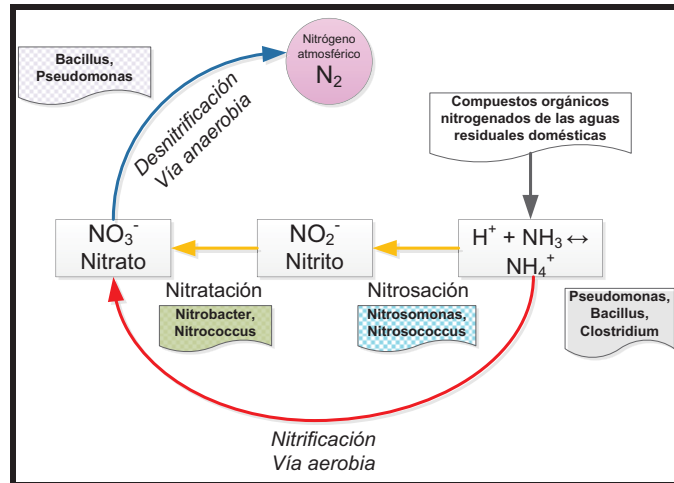
- **Sólidos suspendidos:** son partículas sólidas muy pequeñas inmersas en el agua; estos sólidos son la principal causa de turbiedad en el agua, las partículas en suspensión actúan con fuerzas aleatorias que se contrarrestan con la fuerza de gravedad, impidiendo así que los sólidos se depositen en el fondo. La unidad de medida es “miligramos dividido litros (mg/l)”.

- Sólidos suspendidos volátiles: son los residuos orgánicos presentes en el agua, capaces de combustionar y volatizarse. La unidad de medida es “miligramos dividido litros (mg/l)”.
- Sulfatos (SO_4^-): el anión sulfato es común en agua residual de tipo doméstico e industrial, se encuentra de manera suspendida; el sulfato tiene un efecto purgante en niños menores de 9 años, el contenido de sulfatos es importante, porque en altas cantidades presentes en el agua tiende a formar incrustaciones en tubería, canales y otras estructuras metálicas. La unidad de medida es “miligramos por litro (mg/l)”.
- Fósforo total: el fósforo es un elemento esencial en el crecimiento de plantas y animales; el fósforo total es la suma del elemento en todas sus formas y compuestos; entre los compuestos con fósforo más importantes se tiene: fosfatos orgánicos e inorgánicos. La unidad de medida es “miligramos dividido litros (mg/l)”.
- Fosfatos: el uso de detergentes con altas cantidades de fósforo ha incrementado la cantidad de fosfato en el agua residual doméstica. El fosfato es un indicador del crecimiento de microorganismos presentes en el agua residual. La unidad de medida es “miligramos por litros (mg/l)”.
- Nitrógeno total: es la cantidad de nitrógeno en todas sus formas disueltas en el agua; la química del nitrógeno es compleja debido a los varios estados de valencia que puede tener este elemento, los cambios de valencia en el nitrógeno se dan por los microorganismos vivos en el agua, según sean sus condiciones aerobias o anaerobias.

Las formas de nitrógeno de mayor interés son: amoniaco, nitritos, nitratos, amonio y nitrógeno orgánico. La unidad de medida es “miligramos dividido litros (mg/l)”.

- Nitrógeno amoniacal (NH_4^+): se considera como nitrógeno amoniacal todo el nitrógeno que existe como ion amonio en equilibrio; es un indicativo de un proceso de descomposición anaerobia. La unidad de medida es “miligramos dividido litros (mg/l)”.
- Nitrógeno en nitritos (NO_2^-): el nitrógeno en nitritos raramente aparece en el agua, que exista este compuesto no es más que un indicador de un proceso biológico activo en el agua. La unidad de medida es “miligramos dividido litros (mg/l)”.
- Nitrógeno en nitratos (NO_3^-): el nitrógeno en forma de nitratos está presente en el anión NO_3^- se forma en su estado de oxidación V^+ ; se encuentra en el centro de un triángulo formado por tres moléculas de oxígeno y es característico de un proceso biológico aerobio dentro del agua. La unidad de medida es “miligramos dividido litros (mg/l)”.
- Nitrógeno en amoniaco (NH_3): es un compuesto químico formado por tres moléculas de hidrógeno y una de nitrógeno, regularmente se presenta en forma de gas; su presencia es un indicador de un proceso anaerobio. La unidad de medida es “miligramos dividido litros (mg/l)”.

Figura 7. **Ciclo del nitrógeno en las PTAR de mina Marlin**



Fuente: elaboración propia.

- Demanda química de oxígeno (DQO): es un parámetro de contaminación que mide la materia orgánica contenida en el agua; determina la cantidad de oxígeno consumida por los microorganismos presentes en la materia orgánica y que puede ser oxidable por agentes químicos oxidantes fuertes. El ensayo de DQO tiene la ventaja de ser mucho más rápido y sujeto a menos variables que el ensayo de DBO. La unidad de medida es “miligramos de oxígeno disuelto dividido litros (mg/l)”.
- Demanda bioquímica de oxígeno (DBO): mide la cantidad de oxígeno utilizada por los microorganismos en la estabilización de la materia orgánica biodegradable, bajo condiciones aerobias. El ensayo de la DBO asume la cantidad de oxígeno consumido por organismos vivos utilizados en la materia orgánica que debe ser degradada. El valor de la DBO siempre ha de ser menor o igual a la DQO, pero nunca mayor. La unidad de medida es “miligramos de oxígeno disuelto dividido litros (mg/l)”.

- Coliformes totales: es la cantidad de bacterias en forma bacilar, aerobia, anaerobia y facultativa, no formadas por esporas. Su presencia en el agua es un indicador de contaminación fecal y posible contaminación de microorganismos patógenos dañinos para el ser humano.
- Coliformes fecales: es un indicador de contaminación fecal por *Escherichia coli*, este tipo de bacteria es totalmente patógena para el ser humano y para la mayoría de animales. Este parámetro es básico para determinar la probabilidad de reutilizar el agua residual en riego agrícola.

4.3. Muestreo de agua residual

El éxito de una caracterización y análisis del agua está sujeto a la calidad, tecnología y metodología utilizada en la toma de muestra. Existen básicamente dos tipos de muestras: las simples y las compuestas. Las muestras simples son recolectadas de forma puntual. Las muestras compuestas son el conjunto de varias muestras simples, con igual cantidad de volumen de agua recolectada en intervalos de tiempos similares. Al recolectar la muestra se deberá tener el cuidado de no contaminar con agentes externos la muestra de agua, de ser necesario se deberá preservar la muestra con agentes químicos o bien refrigerar las muestras para inhibir el crecimiento bacteriano.

4.4. Sistema de tratamiento de agua residual por medio de lodos activados

Las plantas de tratamiento de agua residual doméstica que se encuentran en la mina Marlin, trabajan mediante el sistema de lodos activados, con una serie de aireadores y agitadores que proporcionan oxígeno a la masa de agua para degradar los contaminantes y mejorar la calidad del agua.

El sistema de lodos activados es un proceso biológico, que se utiliza para la degradación natural de aguas residuales; el proceso de lodos activados consiste en dos partes: la primera es un tratamiento aerobio en el cual microorganismos aerobios degradan la materia orgánica y la segunda, es una biodegradación cuya función es la de clarificado para la reducción de DQO, DBO, nutrientes, sólidos en suspensión y turbiedad.

Figura 8. **Tanque de aireación en la “planta de tratamiento 1” en mina Marlin, Guatemala**



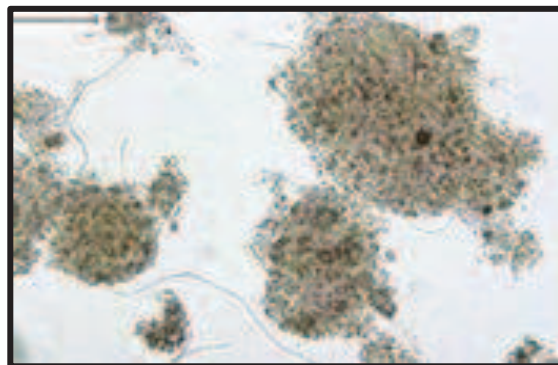
Fuente: PTAR 1 “Durman” en mina Marlin, Montaña Exploradora de Guatemala.

El tratamiento por medio de lodos activados, puede clasificarse como tratamiento primario; después de la clarificación del agua, esta puede pasar a un proceso secundario como un filtro y un proceso terciario para la remoción de nutrientes y otros compuestos químicos; es típico de estos sistemas colocar un dosificador de cloro en la parte final del proceso, para la reducción coliformes fecales y totales, para luego ser vertido a una corriente natural o bien reutilizado para riego.

El sistema de lodos activados contiene un “tanque de aireación” donde se proporciona el oxígeno al agua residual, en la parte baja de este tanque se acumulan lodos o fangos, los cuales deben ser recirculados hacia la parte alta del tanque de aireación, de tal forma que se genere una mezcla homogénea entre células antiguas y células nuevas; el exceso de este tipo de lodos debe ser llevado hasta un decantador o purgado hacia afuera del sistema de tratamiento, la recirculación tiene por objeto principal enriquecer y renovar la población de microorganismos aerobios.

Los lodos que son retirados del sistema de recirculación, debido a su alto contenido de microorganismos y estado evolutivo, deben ser deshidratados y dispuestos de manera adecuada. Este sistema de tratamiento trabaja por diversos microorganismos suspendidos en el agua, los cuales se alimentan de la gran cantidad de materia orgánica en descomposición. La estructura que se forma por las colonias de bacterias y material en descomposición es comúnmente llamada “flóculo” y constituye el núcleo en el cual se desarrolla un proceso de depuración biológica.

Figura 9. **Flóculo típico de una planta de lodos activados**



Fuente: DI MARZIO, Walter Darío. Microbiología de los lodos activados, una herramienta retrospectiva y predictiva de la depuración de efluentes. p. 1.

4.5. El flóculo dentro del sistema de lodos activados

El flóculo es una estructura en la que a su alrededor se forma una relación entre las bacterias y la materia orgánica en descomposición, morfológicamente el flóculo está formado por bacterias filamentosas y protozoos, estos últimos son los principales consumidores de las bacterias aerobias alrededor del flóculo; por ende los protozoos regulan el crecimiento de colonias de bacterias en exceso, lo que hace funcional el sistema de lodos activados; un flóculo con grandes cantidades de protozoos se puede considerar un lodo maduro. Las bacterias filamentosas son los microorganismos que descomponen y consumen la materia orgánica.

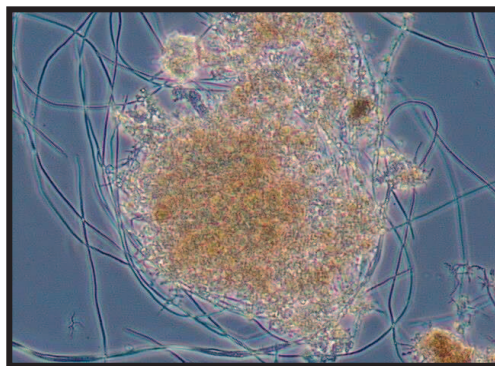
Todo flóculo tiene dos niveles estructurales: la microestructura y la macroestructura; en el primer nivel se forma un proceso donde crecen los microorganismos dando lugar a la llamada “biofloculación”, esto es el resultado de la interacción entre polímeros extracelulares microbianos; por ende la microestructura es un mecanismo de asociación existente entre las bacterias formadas en los flóculos. El segundo nivel la conforman los microorganismos filamentosos que forman una red o como es comúnmente llamado un microesqueleto, en esta red se adhieren distintas bacterias aerobias.

Cada flóculo tiene una morfología distinta en su micro y macroestructura; por ende la operación de un sistema de lodos activados dependerá de la evolución y alcance que tenga el flóculo en la cámara de aireación; un flóculo debe tener una armonía entre microorganismos formadores del flóculo, microorganismos filamentosos y protozoos, estos microorganismos deben crecer preferiblemente en el núcleo de flóculo; esta armonía es básica para la posterior reducción de sólidos en suspensión y turbiedad en el agua.

Los flóculos deben presentar una forma esférica; si difieren demasiado de esta forma son llamados comúnmente “flóculo irregular”; su tamaño debe estar entre 150 μm y 500 μm .

Debe existir poco espacio entre los flóculos y su consistencia debe ser “firme”; es decir la cohesión entre las células bacterianas debe generar una estructura completa y densa.

Figura 10. **Flóculo maduro después de 29 días de formación, lente 100 X**



Fuente: ZORNOZA, Andrés, y otros. Control del proceso de cloración de un episodio de *bulking* filamentoso mediante el seguimiento de protozoos ciliados. p.15.

4.6. Suministro de aire a las plantas de tratamiento por medio de aireadores tipo trompeta o Venturi Jet

Un sistema de lodos activados utiliza oxígeno para la formación del flóculo, suministrar oxígeno puro a una planta de tratamiento de agua residual puede resultar demasiado costoso para cualquier entidad; por ende es mucho más económico suministrar aire; el mismo puede suministrarse por medio de agitadores, aireadores tipo trompeta y radiales, compresores, entre otros.

En la mina Marlin, las tres plantas de tratamiento de agua residual suministran aire por medio de aireadores tipo trompeta o Venturi Jet. Estos aireadores deben estar sumergidos en la cámara de aireación, este tipo de maquina hidráulica cuenta con una bomba sumergible, esta bomba tiene su succión en la parte baja de la máquina y su descarga en la parte lateral en forma de trompeta, dicha trompeta está conectada a una chimenea de succión, esta succiona aire de la parte exterior del tanque de aireación y por efecto de Venturi se introduce el aire en el agua residual.

Figura 11. **Aireador marca “ideal” tipo Venturi Jet**



Fuente: bombas ideal. Catálogo de productos C-9 1072. Valencia, España. 2013. p. 131.

El efecto de Venturi Jet se produce cuando la bomba sumergible envía el agua a alta velocidad a través del inyector o trompeta, formando presión negativa a través del inyector; el aire entra en la corriente generando un proceso de mezcla y expulsando dicha mezcla hacia fuera de la trompeta con gran velocidad. El aire se introduce al tanque de aireación en forma de burbujas que implotan por los efectos de presión del agua en el tanque sobre la burbuja, haciendo que el oxígeno se introduzca en el agua residual y sea consumido por las bacterias aerobias.

Los aireadores tipo Venturi Jet están diseñados para inyectar aire al agua residual y generar un proceso de mezcla que degrada la materia orgánica y oxigena el agua residual. El motor de los aireadores tipo Venturi Jet trabajan son motores eléctricos secos, utilizan corriente 220 voltios y son de tres fases, difieren en potencia según las necesidades del tanque de aireación, por lo general son construidas con acero inoxidable.

4.7. Funcionamiento de los tanques de almacenamiento de agua residual y fosas sépticas

La mina Marlin cuenta con alcantarillado que trabaja por gravedad y por impulsión dentro de sus instalaciones, sin embargo hay lugares que no tienen este tipo de instalación, puesto que líneas de tubería en estos lugares tendrían un alto costo de inversión inicial, mantenimiento y energía utilizada en equipo hidráulico mecánico.

Existen dentro de la mina cuatro tanques de almacenamiento de agua residual, los cuales están ubicados en: talleres y oficinas grupo HERGO, talleres y oficinas grupo EMO, garita principal de ingreso a la mina y vivero interno de la Gerencia de Ambiente. Por su ubicación, estos tanques son llamados: HERGO, EMO, Garita y Vivero, respectivamente.

Los tanques son prefabricados de plástico (a excepción del tanque del grupo EMO que es de concreto), que generalmente se utilizan para almacenamiento de agua potable. Dentro de los tanques de almacenamiento de agua residual se inicia un proceso de descomposición anaerobia, pero no son fosas sépticas; esto se explica a continuación.

Estos tanques de almacenamiento de agua residual de mina Marlin están contruidos en contenedores herméticos cerrados, en donde se acumula el agua residual y se inicia un tratamiento primario; los sólidos sedimentables tienden a ir al fondo del contenedor, mientras los sólidos flotantes como aceites y grasas suben a la parte superior, una fosa séptica debe tener un periodo de retención no menor a 24 horas; hasta el 50 % de los sólidos que se encuentran en las fosas sépticas se descomponen y el resto se acumula en el fondo del tanque; es por ello que deben bombearse y ser llevados hasta una de las plantas de tratamiento de agua residual doméstica.

Figura 12. **Fosa séptica prefabricada instalada de manera subterránea**



Fuente: agua saludable. Catálogo de servicios. México. 2013. p. 2.

Todas las fosas sépticas deben ser herméticas para evitar que el agua entre o salga del sistema y contamine el suelo; dentro de una fosa séptica se genera un proceso anaerobio debido al tiempo que pasa el agua residual dentro de la misma; este proceso es comúnmente llamado digestión anaerobia.

4.8. Proceso de digestión anaerobia

La digestión anaerobia es un proceso biológico que parte de la materia orgánica, la cual es transformada en una mezcla de gases, principalmente en dióxido de carbono y metano, mediante la degradación producida por un conjunto de microorganismos anaerobios; en el proceso de digestión anaerobia se genera menos cantidad de lodos que en un proceso aerobio, sin embargo se genera mayor cantidad de gases, los cuales tienen malos olores y en ocasiones pueden ser dañinos para la salud del ser humano.

Una sobrecarga y un tiempo de retención demasiado alto, dará como resultado una indigestión que desestabiliza el proceso.

Una de las ventajas del proceso anaerobio es la formación de biogás, formado por dióxido de carbono y metano; además de otras porciones de gases como H_2S , H_2 , HN_3 , este tipo de biogás puede ser una molestia en algunas ocasiones, sin embargo si es bien manejado puede ser reutilizado para generar energía. El proceso de digestión anaerobia es un proceso sumamente complejo por la cantidad de reacciones bioquímicas que tienen lugar dentro del agua residual por los microorganismos. La mayor parte de las reacciones ocurren de forma simultánea, estos procesos de descomposición orgánica se dividen en cuatro fases: etapa de hidrólisis, etapa fermentativa, etapa acetogénica y etapa metanogénica.

- Primera etapa (hidrólisis): esta etapa es el primer paso para la degradación de la materia orgánica en un proceso de descomposición anaerobia; los microorganismos degradan la materia orgánica soluble de la que se compone la pared celular; este proceso se da por acción de las enzimas extracelulares producidas por los microorganismos hidrolíticos;

los sustratos que se generan en esta etapa están compuestos por tres tipos básicos de macromoléculas: hidratos de carbono, proteínas y lípidos. El tiempo en que dure esta fase depende del pH y de la temperatura del agua, puede durar de 2 a 4 días.

- Etapa fermentativa o acidogénica: durante esta etapa se da la fermentación de las moléculas orgánicas solubles en compuestos que puedan utilizar directamente las bacterias metanogénicas y otros compuestos orgánicos menos complejos; en esta etapa se da una descomposición de azúcares por diversos microorganismos. El tiempo que dura esta etapa es de 4 a 8 días, dependiendo de la temperatura del agua y de sus propiedades químicas.
- Etapa acetogénica: esta etapa se da cuando los microorganismos transforman la materia orgánica en compuestos más sencillos de acetato e hidrógeno molecular (H_2) a través de bacterias acetogénicas. Este proceso depende de la temperatura del agua, la presión atmosférica y el pH del agua (7,0 – 7,2); esta etapa dura de 4 a 8 días.
- Etapa metanogénica: en esta etapa los microorganismos metanogénicos complementan el proceso de digestión anaerobia cuando transforman los sustratos de monocarbono o dos átomos de carbono unidos por un enlace covalente de acetato en metano. Niveles de actividad óptimos en torno a la neutralidad entre 6,5 – 7,5. Esta fase puede durar de 2 a 4 días.

De los cuatro tanques de almacenamiento de agua residual que se encuentran en mina Marlin, el tanque ubicado en la garita principal, se mantiene en la fase de hidrólisis, puesto que tiene un periodo de digestión de 2 días, debido a su periodo de limpieza.

El agua residual de los otros tres tanques llega hasta la segunda y tercera etapa, dependiendo del clima y su calidad.

El contenido de los tanques de almacenamiento, al ser llevado a las PTAR, se encuentra con bacterias anaerobias principalmente, por lo que se hará necesario introducir oxígeno en grandes cantidades, con la finalidad de acelerar el crecimiento de bacterias aerobias. Entre más evolucionado esté el proceso de degradación anaerobia será más fácil tratar el agua residual por un proceso de aeración extendida, debido a la reducción de nutrientes y compuestos orgánicos.

4.9. Tratamiento de agua residual por medio de un reactor anaerobio de flujo ascendente

Los tratamientos anaerobios de agua residual doméstica, trabajan con colonias de bacterias anaerobias que forman de forma natural flóculos y gránulos.

Estas densas colonias y la retención del fango hacen posible el tratamiento del agua residual, incluso en altas cargas orgánicas; el proceso anaerobio requiere menos espacio, volumen y energía que los procesos aerobios, incluso en el mismo tiempo.

El efluente o el agua residual tratada en un reactor anaerobio de flujo ascendente, necesita de un tratamiento posterior para lograr degradar la materia orgánica cargada de nutrientes y patógenos. Este proceso posterior puede ser un sistema convencional aerobio como lagunas de estabilización o un proceso de lodos activados.

Un reactor anaerobio de flujo ascendente consiste en un tanque que forma una columna de agua residual abierta, el caudal atraviesa el líquido a una baja velocidad ascensional por el tanque, mientras que un manto de fangos formado de diversos microorganismos y sólidos degradan la materia orgánica, el tratamiento se da cuando el agua está en contacto con el manto de fangos o los gránulos.

Los gases que se producen durante la degradación anaerobia provocan una recirculación dentro del reactor, lo que ayuda a la formación y estabilización de partículas biológicas. El líquido que ha estado en contacto con el manto de fangos, contiene diversos sólidos residuales que al pasar por la zona de sedimentación, son separados del futuro efluente; estos sólidos retornan por el sistema de cortinas invertidas hasta la parte alta del manto de fangos.

Para lograr una operación adecuada del sistema, se requiere una biomasa floculante desarrollada y madura, por lo que es recomendable una inoculación del reactor con fangos de algún otro sistema.

La tecnología para degradar la materia orgánica, se basa en el crecimiento del fango y en la separación de las tres fases: biogás, líquido y sólido. Que se logra con la construcción de una serie de pantallas y campanas que acompañan al reactor.

4.10. Análisis del proceso de recolección

El proceso de recolección de lodos producidos en baños portátiles y tanques de almacenamiento que se encuentran dentro de la mina Marlin, se hace por medio de un vehículo recolector, que tiene un tanque, una bomba para succionar los lodos, y diversos materiales y herramientas de limpieza.

Dicho vehículo recorrerá las instalaciones de la mina Marlin, recolectando los lodos producidos, para luego disponerlos en las plantas de tratamiento de agua residual 2 y 3. Para realizar el análisis de rutas de recolección se utilizará la metodología de Pareto y se georreferenciará cada punto importante del proceso.

Cuando un grupo de elementos y factores contribuyen a un proceso, unos pocos de estos elementos son responsables de dicho procesos, mientras que muchos elementos contribuyen en muy poco al proceso. Esta afirmación es conocida como “Principio de Pareto”.

El análisis de Pareto es un proceso cuantitativo, ordenado de elementos o factores según la contribución de determinado efecto. El objetivo del análisis es clasificar los elementos y factores en dos categorías.

La primera categoría serán “los pocos importantes” y la segunda categoría serán los “muchos triviales”; los primeros son aquellos que contribuyen en gran manera al proceso; a diferencia de los segundos, que son lo que contribuyen poco en el proceso.

El proceso de Pareto proporciona tres valiosas herramientas:

- Priorización: este proceso permite identificar los elementos con mayor importancia dentro de un grupo, ordenando los mismos según su aporte al proceso.
- Unificación de criterios: dirige los esfuerzos de cada uno de los elementos hacia un solo objetivo prioritario en común.

- Objetividad: permite tomar decisiones enfocadas y basadas en datos y hechos concretos y objetivos concretos.

Figura 13. **Vehículo de recolección de lodos producidos en baños portátiles y tanques de almacenamiento de agua residual**



Fuente: mina Marlin, Montana Exploradora de Guatemala.

Para realizar una evaluación del proceso de recolección actual, se han de obtener diversos datos propios del sistema que se está evaluando. Dentro de los datos que se deben obtener se tiene:

- Tiempos de recorrido
- Ubicación de los puntos de recolección
- Tiempos muertos o tiempos perdidos
- Ubicación de otros puntos importantes del proceso

El análisis matemático de Pareto se basa en la construcción de gráficas de barras, donde se visualizan los tiempos de recolección.

El sistema matemático no es un método para la optimización del recorrido directamente, sino una herramienta, con el cual se podrán tomar decisiones para optimizar el proceso.

El objetivo de la evaluación es conocer el comportamiento del proceso de recolección bajo ciertas condiciones dadas, desde que un agente demanda un servicio; en este caso, un punto de recolección, hasta que son atendidos todos los agentes que demandan el mismo servicio. Pueden registrarse esperas desde que un agente llega a solicitar el servicio hasta que es atendido; a estas esperas se le llaman comúnmente “pérdidas de tiempo”; la selección del modelo para analizar una línea de recolección depende de la distribución de tiempos de llegada y los tiempos en los que se da el servicio.

En la práctica se debe determinar: tiempos de recorrido, servicio y lapsos de espera durante la operación del sistema. Se pueden tomar datos de tiempos por separado de cada uno de los servicios prestados, o bien tiempos acumulados de los mismos servicios. Para tomar datos se ha de utilizar un cronómetro o un dispositivo de registro automático; la información se ha de registrar de manera independiente para cada ubicación, y tiempo estudiado, para luego determinar la distribución asociada. La distribución asociada incluye la elaboración de un histograma de frecuencias y una gráfica de ubicaciones de los lugares de recolección.

Para la ubicación de los puntos de recolección, se deberá referenciar por medio de coordenadas geográficas o UTM, con la mayor precisión posible, de tal manera que se puedan ubicar dichos puntos de recolección en un solo mapa y de esta forma observar el proceso de recolección para la propuesta de mejoras, también es importante tener un registro georreferenciado de los puntos de recolección para posibles cambios en el proceso.

5. Evaluación (metodología)

5.1. Localización en donde se desarrolló la etapa experimental

La investigación se llevó a cabo en el laboratorio Unificado de Química y Microbiología Sanitaria “Dra. Alba Tabarini Molina”, de la Universidad de San Carlos de Guatemala, y en los laboratorios de aguas residuales y procesos químicos de la mina Marlin, Montana Exploradora de Guatemala, S. A.

5.1.1. Recursos humanos

- Investigadora: Inga. Nancy Karina Díaz Fulgan
- Investigador: Ing. Jorge Roberto Mejía Tuche
- Asesor: MSc. Ing. Adán Pocasangre Collazos

5.1.2. Recursos materiales

- Earlenmeyers tipo pirex de 150 ml
- Pipetas serológicas esterilizadas de 1 y 5 ml
- Vasos de precipitado tipo *pirex* de 25, 50, 250 ml
- Probetas de 10, 25, 50 y 100 ml
- Pizetas de polietileno de 125 ml
- Conos Imhoff
- Perillas de succión
- Agitadores magnéticos
- Frascos de vidrio de 300 ml para preparación de DBO

- Frascos de polietileno de 250 y 500 ml para recolección de muestras
- Gradillas

5.1.3. Material de escritorio

- Papelería y útiles de oficina
- Computadora
- Impresora
- Software: Microsoft Word, Microsoft Excel, Microsoft Visio, AutoCad 2010, Adobe Reader 8.0
- CD's
- Dispositivo de almacenamiento masivo USB
- Fotocopias

5.2. Metodología experimental

Se identificaron tres puntos para la toma de muestras, que corresponden a los lugares en donde se tratan las aguas residuales domésticas, siendo estas las plantas de tratamiento 1, 2 y 3 (véase capítulo 3). El análisis de este tipo de aguas se realizó de la siguiente manera:

5.2.1. Cantidad representativa de muestras¹

Como consecuencia de las variaciones aleatorias, tanto del procedimiento analítico como de la presencia de algún constituyente en el punto de muestreo, una muestra simple es insuficiente para obtener el nivel deseado de incertidumbre. Si es posible conocer la desviación estándar en todo el

¹El cálculo del número de muestras se puede consultar en la figura 1060:1, página 1-23, *Standard Methods*, 1995.

proceso, entonces el número de muestras que se requerirán, se calcula mediante la siguiente ecuación:

$$N \geq (t * s/U)^2$$

Donde:

N = Número de muestras a tomar

t = Prueba t de Student para un nivel de confianza dado

s = Desviación estándar global

U = Nivel aceptable de incertidumbre

Prueba t para muestra única:

$$Z_{\alpha/2} = (X - \mu)/s/n^{1/2}$$

Donde:

$Z_{\alpha/2}$ = Estadístico normal estándar (a un nivel de confianza del 95% $\alpha/2 = 0,025$)

es de 1,96

X = Valor promedio de las “ n ” corridas

μ = Valor teórico

s = Desviación estándar en las “ n ” corridas

n = Número de corrida

$$X - \mu = X * (1 - \mu/X) = X \text{ (error estándar)}$$

$$\text{error estándar} = 5\% = 0,05$$

$$n = (s Z_{\alpha/2} / X - \mu)^2$$

$$n = (s Z_{\alpha/2} / X \text{ error estándar})^2$$

$$s/X = CV$$

$$n = (CV Z_{\alpha/2} / \text{error estándar})^2$$

$$CV = 6\% = 0,06$$

$$n = 5,76 \approx 6 \text{ (por cada parámetro a medir como mínimo)}$$

5.2.2. Elaboración de las curvas de caudal

Se determinó el caudal de entrada y salida de las tres plantas de tratamiento. Con el fin de determinar el caudal mínimo, medio y máximo en un día de operación. Se aforó mediante el método volumétrico. Para determinar los caudales característicos se construyeron cuatro curvas de caudal vs tiempo, los días de análisis se determinaron a partir del tipo de actividad y la concurrencia con se realiza, lo cual se describe en el siguiente cuadro:

Tabla I. **Concurrencia de actividades**

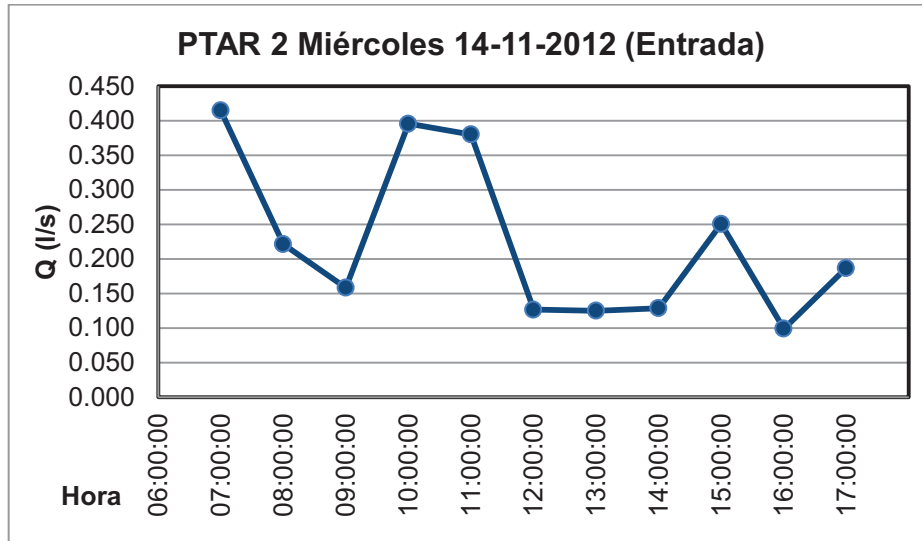
	Lun.	Mar.	Mié.	Jue.	Vie.	Sáb.	Dom.
Personal permanente en planta (turnos)							
Personal laborando 5 días de la semana							
Personal laborando 10/4							
Muestras compuestas	2 días			1 día		1 día	

Fuente: elaboración propia.

En los días lunes, martes y miércoles, la cantidad de personal que labora en la mina Marlin es mayor, en comparación con los días restantes de la semana, debido a esto, de los tres días antes mencionados se toman dos para hacer representativo el estudio.

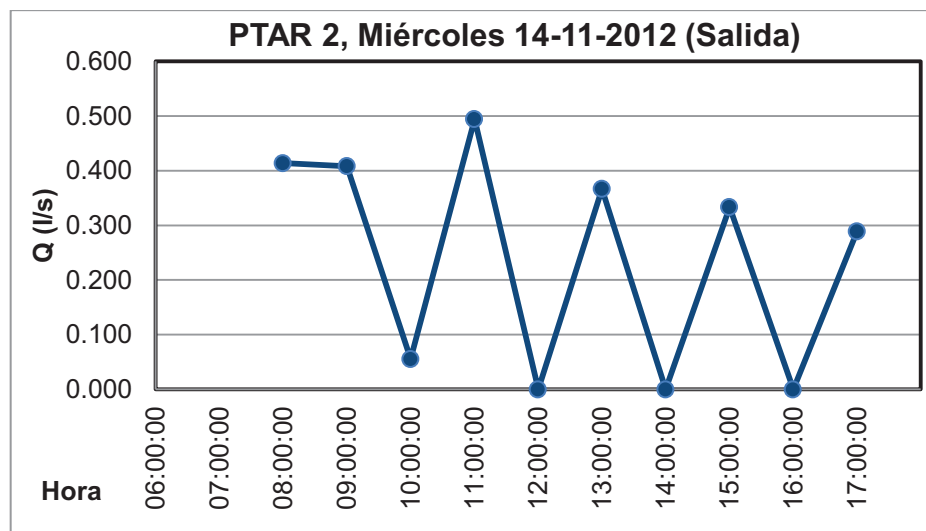
- Se elaboraron 4 curvas por planta.
- Los registros se hicieron cada hora, iniciando a las 7:00 am y finalizando 17:00.
- Lecturas: 7:00, 8:00, 9:00, 10:00, 11:00, 12:00, 13:00, 14:00, 15:00, 16:00 y 17:00.

Figura 14. **Caudal de entrada en la planta de tratamiento de agua residual 2, a cada hora de medición**



Fuente: elaboración propia.

Figura 15. **Caudal de salida en la planta de tratamiento de agua residual 2, a cada hora de medición**



Fuente: elaboración propia.

5.2.3. Caracterización de las aguas residuales

Para la caracterización del agua residual, se hicieron lecturas compuestas los días que corresponden al aforo en la entrada y salida de las plantas de tratamiento. Se tomó lectura de caudal y se recolectó muestra a las 7:00, 9:00, 11:00, 13:00, 15:00 y 17:00 horas. Las muestras se recolectaron al ingreso del agua residual doméstica en las plantas de tratamiento y al final de las mismas. Se tuvieron 12 muestras compuestas (6 al ingreso y 6 en la salida). Por cada una de las tres plantas de tratamiento.

NOTA: en el laboratorio se pusieron en práctica las recomendaciones para el análisis de muestras del Standard Methods (APHA, 1992).

5.2.3.1. Parámetros a analizar

Con objeto de realizar una correcta investigación, se realizaron los siguientes análisis de laboratorio, por cada una de las muestras recolectadas.

El DBO_5 se determinó en el laboratorio Unificado de Química y Microbiología Sanitaria en la USAC, por el “método por dilución”; el valor DBO_5 se obtiene de la diferencia de 2 mediciones de oxígeno disuelto mediante una sonda de oxígeno, antes y después de un período de incubación de 5 días. Este es el método oficial de la EPA.

En la mina Marlin la medición del DBO_5 se realizó por autocontrol, con el medidor de respiración; la disminución del oxígeno produce una modificación definida de la presión que se mide mediante un sensor de presión (respiración/agotamiento); las muestras se colocaron en una incubadora con sistema térmico de circulación forzada de aire (OxiTop Box) a $20 \pm 0,5$ °C.

Tabla II. **Parámetros a analizar**

Físicos	Químicos	Biológicos
Olor	Fósforo total	DQO
Color aparente	Nitrógeno total	DBO ₅
Sólidos totales	Nitritos	
Sólidos disueltos	Nitratos	
Sólidos suspendidos	Fosfatos	
Sólidos sedimentables	Sulfatos	
Turbiedad	Potencial de Hidrógeno	
Temperatura	Amoniaco	

Fuente: elaboración propia.

Figura 16. **Equipo para la medición de DBO₅**



Fuente: laboratorio de aguas residuales de mina Marlin, Montaña Exploradora de Guatemala.

Para la medición de la DQO se utilizó el método de microdigestión y colorimetría HACH, con viales para muestras de 0 – 1500 mg/l. El digester utilizado fue un equipo marca HACH, COD REACTOR, con viales de dicromato de potasio a 148 °C, durante dos horas.

Figura 17. **Digestor utilizado para medir fósforo total, nitrógeno total y DQO**



Fuente: laboratorio de aguas residuales de mina Marlin, Montana Exploradora de Guatemala.

En la determinación de sólidos sedimentables se utilizaron conos Imhoff con volúmenes de muestra de 1 litro.

Figura 18. **Conos Imhoff utilizados para determinar sólidos sedimentables**



Fuente: laboratorio de aguas residuales de mina Marlin, Montana Exploradora de Guatemala.

Para la medición de los sólidos suspendidos se utilizaron filtros de membrana de celulosa de 45 micrones, previamente tarados. El procedimiento consistió en filtrado de muestra, aplicación de secadora entre 103 °C – 105 °C durante 1 hora, y luego desecado entre 15 y 20 minutos. Finalmente, se procedió al pesado en la balanza analítica para la resta matemática y la obtención del contenido en cada membrana.

Respecto de la determinación de sólidos totales, se utilizaron crisoles de Gooch previamente tarados. La muestra se trasvasó al crisol y se le aplicó calor por baño de María, hasta que se vaporizó el líquido; luego se trasladó al horno y finalmente a la mufla, para el pesado final del contenido. Al finalizar la caracterización global de las plantas de tratamiento, se analizaron unidades específicas, que no estaban trabajando adecuadamente. Para ello se realizaron análisis completos de esas unidades.

Además, a partir del análisis de caracterización, se tomó la decisión de realizar modificaciones y ajustes a las plantas de tratamiento para que funcionen correctamente.

5.2.4. Volumen y caracterización del agua residual y lodos producidos en los baños portátiles y tanques de almacenamiento, descargados en las plantas de tratamiento de agua residual 2 y 3

A continuación se describe el proceso de descarga de lodos y la caracterización de las muestras.

5.2.4.1. Volumen descargado

Se registraron los días de descarga de los lodos producidos en los baños portátiles y tanques de almacenamiento de agua residual, y el aproximado de sus volúmenes. Las lecturas se hicieron en el momento de la descarga, dependiendo de su frecuencia.

NOTA: las muestras de volumen descargado son muestras puntuales.

5.2.4.2. Caracterización

Se realizarán los siguientes análisis de laboratorio, para cada una de las muestras recolectadas.

Tabla III. **Parámetros a analizar para la caracterización**

Físicos	Químicos	Bacteriológicos
Olor	Fósforo total	DQO
Color aparente	Nitrógeno total	DBO ₅
Sólidos suspendidos	Nitritos	
Sólidos totales	Nitratos	
Temperatura	Sulfatos	
Sólidos disueltos	Potencial de hidrógeno	
Turbiedad	Amonio	

Fuente: elaboración propia.

A partir de la caracterización de los lodos y del análisis de caracterización de las plantas de tratamiento 2 y 3, después de que los lodos han sido descargados, se evaluó y se tomó la decisión sobre la correcta disposición de estos.

5.2.4.3. Análisis del recorrido de recolección de lodos

Se hizo el análisis del recorrido realizado por el vehículo que recolecta los lodos dentro de la mina Marlin, con el propósito de elaborar un mapa con la ubicación de los distintos puntos de recolección, para optimizar esta actividad, identificando la ubicación del total de tanques de almacenamiento de agua residual y de los baños portátiles; además se analizó la ruta de recolección realizada por el vehículo y se hizo un análisis de tiempos.

5.3. Análisis y propuestas para mejorar la calidad de las plantas de tratamiento

Con base en los análisis de caracterización y del comportamiento del caudal que complementan el estudio, se procedió a evaluar las eficiencias de remoción de las plantas (entrada y salida), a partir de determinados parámetros fisicoquímicos y biológicos:

- DBO₅
- DQO
- Sólidos suspendidos totales, sólidos disueltos y sólidos suspendidos
- Temperatura
- Potencial de hidrógeno
- Color aparente y turbiedad
- Sólidos sedimentables
- Fósforo total, fosfatos y sulfatos
- Nitrógeno total, nitratos, nitritos y nitrógeno amoniacal

Además se determinó la carga orgánica con la que están trabajando las plantas de tratamiento, en la PTAR 1 la carga orgánica aumentó en un 133 % del valor para la cual fue diseñada.

Se revisaron las especificaciones técnicas, el diseño global y específico de cada unidad de las plantas, con el propósito de determinar qué unidad se evaluará por separado; se hizo una comparación entre nuestros resultados y los teóricos que presentan las especificaciones por parte de los proveedores de las plantas y por los proporcionados en Meltcaf & Eddy, para verificar si están funcionando correctamente.

A partir de los análisis de las tres plantas de tratamiento y de la caracterización de los lodos, se propuso la disposición final adecuada de estos. En este caso se evaluó si se pueden descargar en una de las plantas o tratarlos en una planta o unidad de tratamiento adicional.

Respecto del análisis del sistema de recolección de lodos, a partir de los resultados obtenidos del estudio de tiempos y el análisis de rutas existente, se evaluó si es necesario modificarlas. Para esto se obtuvieron los datos de densidad, frecuencia de recolección, el número de viajes y condiciones del vehículo recolector.

5.4. Diseño de alternativa para mejorar la calidad del agua en las plantas de tratamiento y el tratamiento de los lodos producidos dentro de la mina Marlin

Con base en los incisos 5.2.2, 5.2.3, y 5.2.4, se propuso el diseño de la alternativa que mejore la calidad de agua en cada una de las plantas de tratamiento analizadas, y se determinó cuál será la disposición final óptima de los lodos, para darle un óptimo tratamiento.

6. Muestra de cálculo

- Cálculo de la media aritmética o promedio:

$$\bar{X} = \sum_{i=1}^n X_i * \frac{1}{n}$$

[Ec. 1]

Donde:

\bar{X} = Media aritmética

$\sum X_i$ = Sumatoria de los datos analizados en determinado día o corrida

n = Número de datos analizados

Ejemplo: cálculo de la media aritmética de la DBO₅ en la entrada de la PTAR 3, para muestras compuestas recolectadas los días 12, 14, 16 y 18 de enero de 2013.

Sustituyendo valores en la ecuación No. 1:

$$\bar{X} = (716 + 375 + 476 + 674) \frac{mg}{l} * \frac{1}{4}$$

$$\bar{X} = 560 \frac{mg}{l}$$

De la misma manera se realizó el cálculo de promedio, para los demás parámetros fisicoquímicos y biológicos, y caudales característicos en cada una de las plantas de tratamiento de agua residual doméstica analizadas.

- Cálculo de caudal parcial de ingreso a la PTAR 1 (tablas IV - VII):

$$q = \sum_{i=1}^n \frac{V_i}{t_i} * \frac{1}{n} * \frac{1}{1000}$$

[Ec. 2]

Donde:

q = Caudal parcial (l/s)

V = Volumen de llenado para aforo (ml)

t = Tiempo de llenado para aforo (s)

n = Número de datos analizados (adimensional)

Ejemplo: cálculo de caudal parcial en la entrada de la PTAR 1, para muestras compuestas recolectadas los días 20, 21, 24 de noviembre y 7 de diciembre de 2012.

Sustituyendo valores en la ecuación No. 2:

$$q = \left(\frac{800 \text{ ml}}{1,75 \text{ s}} + \frac{840 \text{ ml}}{1,83 \text{ s}} + \frac{840 \text{ ml}}{2,11 \text{ s}} \right) * \frac{1 \text{ l}}{1000 \text{ ml}} * \frac{1}{3}$$

$$q = 0,458 \frac{\text{l}}{\text{s}}$$

- Cálculo de caudal parcial en la salida de la PTAR 1 y entrada a la PTAR 2 (tablas VIII - XVI).

$$q = \frac{V * n}{\sum_{i=1}^n t_i} * \frac{1}{1000}$$

[Ec. 3]

Donde:

q = Caudal parcial (l/s)

V = Volumen de llenado para aforo (ml)

t = Tiempo de llenado para aforo (s)

n = Número de datos analizados (adimensional)

Ejemplo: cálculo de caudal parcial en la salida de la PTAR 1, para muestras compuestas recolectadas los días 20, 21, 24 de noviembre y 7 de diciembre de 2012.

Sustituyendo valores en la ecuación No. 3:

$$q = \frac{10000 \text{ ml} * 3}{8,24s + 8,64s + 8,76s} * \frac{1 \text{ l}}{1000 \text{ ml}}$$

$$q = 1,170 \frac{\text{l}}{\text{s}}$$

- Cálculo de cambio de volumen registrado en el flujómetro en la salida de la PTAR 2 y PTAR 3 (tablas XVII – XXI y XXVI - XXIX):

$$\Delta VF = VF_m - VF_{m-1}$$

[Ec. 4]

Donde:

ΔVF = Cambio en el volumen registrado en el flujómetro (m^3)

VF = Volumen registrado en el flujómetro (m^3)

m = Dato que se está analizando (adimensional)

Ejemplo: cálculo de cambio de volumen registrado en el flujómetro de la PTAR 2, para muestras compuestas recolectadas los días 13, 14, 15, 18 y 19 de noviembre de 2012.

Sustituyendo valores en la ecuación No. 4:

$$\Delta VF = 1730,30 \text{ m}^3 - 1738,61 \text{ m}^3$$

$$\Delta VF = 8,31 \text{ m}^3$$

- Cálculo de caudal parcial en la salida de la PTAR 2 y PTAR 3 (tablas XVII - XXI y XXVI - XXIX):

$$q = \frac{\Delta VF}{tF} * 1000$$

[Ec. 5]

Donde:

q = Caudal parcial (l/s)

ΔVF = Cambio en el volumen registrado en el flujómetro (m^3)

tF = Tiempo de lectura del flujómetro (s)

Ejemplo: cálculo de caudal en la salida de la PTAR 2, para muestras compuestas recolectadas los días 13, 14, 15, 18 y 19 de noviembre de 2012.

Sustituyendo valores en la ecuación No. 5:

$$q = \frac{8,31 \text{ m}^3}{3600 \text{ s}} * \frac{1000 \text{ l}}{1 \text{ m}^3}$$

$$q = 2,308 \frac{\text{l}}{\text{s}}$$

- Cálculo de volumen en el tanque de ingreso en la PTAR 3 (tablas XXXIII - XXXVI): la PTAR 3 cuenta con un tanque de mampostería, donde ingresa el agua residual doméstica. Las dimensiones del tanque son de 2,99 m de largo por 2,77 m de ancho y área transversal de 8,193 m², constante en la ecuación para calcular el volumen en el tanque de ingreso.

$$VT = hT * 8,193 m^2$$

[Ec. 6]

Donde:

VT = Volumen del tanque de ingreso (m³)

hT = Nivel en el tanque de ingreso (m)

Ejemplo: cálculo de volumen del tanque de ingreso de la PTAR 3, para muestras compuestas, recolectadas los días 12, 14, 16 y 18 de enero 2013.

Sustituyendo valores en la ecuación No. 6:

$$VT = 1,140 m * 8,193 m^2$$

$$VT = 9,34 m^3$$

- Cálculo de cambio de volumen total en el tanque de ingreso en la entrada de la PTAR 3 (tablas XXII - XXV):

$$\Delta VT = VT_m - VT_{m-1}$$

[Ec. 7]

Donde:

ΔVT = Cambio en el volumen del tanque de ingreso (m³)

VT = Volumen registrado en el flujometro (m³)

m = Dato que se está analizando (adimensional)

Ejemplo: cálculo de cambio de volumen del tanque de ingreso en la PTAR 3, para muestras compuestas recolectadas los días 12, 14, 16, 18 de enero de 2013.

Sustituyendo valores en la ecuación No. 7:

$$\Delta VT = 2,21 \text{ m}^3 - 9,34 \text{ m}^3$$

$$\Delta VT = -7,13 \text{ m}^3$$

NOTA: el signo del resultado de la ecuación 7, indica, de ser positivo, un aumento en volumen del tanque y de ser negativo una reducción en el mismo; este signo negativo también indica que las bombas de impulsión ubicadas en el tanque de ingreso se encuentran en funcionamiento.

- Cálculo de caudal en el tanque de ingreso ubicado en la PTAR 3 (tablas XXII - XXV):

$$q_T = \frac{\Delta VT}{tF} * 1000$$

[Ec. 8]

Donde:

q_T = Caudal en el tanque de ingreso (l/s)

ΔVT = Cambio en el volumen del tanque de ingreso (m^3)

tF = Tiempo de lectura en el tanque de ingreso (s)

Ejemplo: cálculo de caudal en el tanque de ingreso en la entrada de la PTAR 3, para muestras compuestas recolectadas los días 12, 14, 16, 18 de enero de 2013.

Sustituyendo valores en la ecuación No. 8:

$$q_T = \frac{-7,13 \text{ m}^3}{3600 \text{ s}} * \frac{1000 \text{ l}}{1 \text{ m}^3}$$

$$q_T = -1,980 \frac{\text{l}}{\text{s}}$$

- Cálculo de caudal de impulsión, de las bombas sumergibles ubicadas en el tanque de ingreso en la PTAR 3 (tablas XXII - XXV): el caudal de impulsión con el que trabajan las bombas sumergibles en el tanque de ingreso, es igual al caudal con el que desciende el nivel de agua en el tanque, menos el caudal de ingreso. Por lo que se puede conocer como el caudal de ingreso positivo en un momento dado (cuando las bombas no estén trabajando) y el caudal de ingreso negativo, un instante después del primer caudal (accionadas las bombas sumergibles).

Se tomó lectura de dos distintos niveles en el tanque de ingreso, con una diferencia de 300 segundos, para el cálculo de caudal en el tanque de ingreso positivo, en el instante en el que las bombas están apagadas; se utilizaron las ecuaciones 6, 7 y 8.

$$VT = 1,112 \text{ m} * 8,193 \text{ m}^2 = 9,110 \text{ m}^3$$

$$VT = 1,113 \text{ m} * 8,193 \text{ m}^2 = 9,118 \text{ m}^3$$

$$\Delta VT = 9,118 \text{ m}^3 - 9,110 \text{ m}^3 = 0,008 \text{ m}^3$$

$$q_{T1} = \frac{0,008 \text{ m}^3}{300 \text{ s}} * 1000 \frac{\text{s}}{\text{m}^3} = 0,027 \frac{\text{l}}{\text{s}}$$

Se tomó lectura de dos distintos niveles en el tanque de ingreso, con una diferencia de 300 segundos; para el cálculo de caudal en el tanque de ingreso negativo, en el instante en el que las bombas están funcionando, se utilizaron las ecuaciones 6, 7 y 8.

$$VT = 0,864 \text{ m} * 8,193 \text{ m}^2 = 7,078 \text{ m}^3$$

$$VT = 0,788 \text{ m} * 8,193 \text{ m}^2 = 6,456 \text{ m}^3$$

$$\Delta VT = 6,456 \text{ m}^3 - 7,078 \text{ m}^3 = -0,622 \text{ m}^3$$

$$q_{T2} = \frac{-0,622 \text{ m}^3}{300 \text{ s}} * 1000 \frac{\text{s}}{\text{m}^3} = -2,074 \frac{\text{l}}{\text{s}}$$

La suma de los dos caudales antes calculados, en el tanque de ingreso, dio como resultado el caudal de impulsión:

$$q_B = 0,027 \frac{\text{l}}{\text{s}} + \left(-2,074 \frac{\text{l}}{\text{s}}\right) = -2,048 \frac{\text{l}}{\text{s}}$$

- Cálculo de caudal parcial en la entrada de la PTAR 3 (tablas XXII - XXV).

$$q = -q_B + q_T$$

[Ec. 9]

Donde:

q = Caudal parcial (l/s)

q_B = Caudal de impulsión (l/s)

q_T = Caudal en el tanque de ingreso (l/s)

Ejemplo: cálculo de caudal en el tanque de ingreso en la entrada de la PTAR 3, para muestras compuestas recolectadas los días 12, 14, 16 y 18 de enero de 2013.

Sustituyendo valores en la ecuación No. 9:

$$q = -\left(-2.048 \frac{l}{s}\right) + \left(-1.980 \frac{l}{s}\right) = 0,068 \frac{l}{s}$$
$$q = 0,068 \frac{l}{s}$$

- Deducción de caudales característicos:
 - Caudal medio diario: media aritmética de todos los caudales parciales (q) registrados (véase ecuación 1).
 - Caudal máximo: equivale al máximo caudal parcial registrado durante la fase de estudio.
 - Caudal mínimo: equivale al mínimo caudal parcial registrado durante la fase de estudio.
- Cálculo de la carga orgánica:

$$Co = C * Q$$

[Ec. 10]

Donde:

Co = Carga orgánica (kg DBO₅/d)

C = Concentración media de DBO₅ (kg/l)

Q = Caudal medio en la entrada de la PTAR (l/d)

Ejemplo: cálculo de la carga orgánica en la entrada de la PTAR 3:

Sustituyendo valores en la ecuación No. 10:

$$C_o = 560,25 \frac{mg}{l} * \frac{1 kg}{10^6 mg} * 0,25 \frac{l}{s} * \frac{86400 s}{1 d}$$

$$C_o = 12,37 kg DBO_5 / d$$

De la misma manera se realizó el cálculo de la carga orgánica, para las demás PTAR analizadas.

- Cálculo de la carga volúmica:

$$C_v = \frac{C_o}{V}$$

[Ec. 11]

Donde:

C_v = Carga volúmica (kg DBO₅/m³*d)

C_o = Carga orgánica (kg DBO₅/d)

V = Volumen del tanque de aireación (m³)

NOTA: el volumen del tanque de aireación de la PTAR 1 es de 100 m³, y los volúmenes del tanque de aireación, para las plantas de tratamiento de residual doméstica 2 y 3, es de 64 m³ cada una.

Ejemplo: cálculo de la carga volúmica en la entrada de la PTAR 3:

Sustituyendo valores en la ecuación No. 11:

$$Cv = \frac{12,37 \text{ kg DBO}_5/d}{64 \text{ m}^3}$$

$$Cv = 0,19 \frac{\text{kg DBO}_5}{\text{m}^3 * d}$$

De la misma forma se realizó el cálculo de la carga volúmica, para las demás PTAR analizadas.

- Cálculo del índice volumétrico de lodos:

$$IVL = \frac{v}{[SSLM]}$$

[Ec. 12]

Donde:

IVL = Índice volumétrico de lodos (ml/g)

v = Volumen sedimentado en 30 minutos (ml/l)

$[SSLM]$ = Concentración de sólidos suspendidos en el licor de mezcla (g/l)

Ejemplo: cálculo del índice volumétrico de lodos de la PTAR 3.

Sustituyendo valores en la ecuación No. 12:

$$IVL = \frac{120 \frac{\text{ml}}{\text{l}}}{1505 \frac{\text{mg}}{\text{l}} * \frac{1 \text{ g}}{1000 \text{ mg}}}$$

$$IVL = 79,73 \frac{\text{ml}}{\text{g}}$$

De la misma forma se realizó el cálculo del índice volumétrico de lodos, para las demás PTAR analizadas.

- Cálculo de la relación A/M:

$$A/M = \frac{Q * C}{V * [SSVLM]}$$

[Ec. 13]

Donde:

A/M = Relación alimento y microorganismos (kg DBO₅/kg SSVLM*d)

Q = Caudal medio en la entrada de la PTAR (l/s)

C = Concentración media de la DBO₅ (mg/l)

V = Volumen del tanque de aireación (m³)

$[SSVLM]$ = Concentración de sólidos suspendidos volátiles en el licor de mezcla (mg/l)

Ejemplo: cálculo de la relación A/M, para la PTAR 3:

Sustituyendo valores en la ecuación No. 13:

$$A/M = \frac{21,93 \frac{m^3}{d} * 560,25 \frac{mg}{l}}{64 m^3 * 1197,50 \frac{mg}{l}}$$

$$A/M = 0,15 \frac{kg DBO_5}{kg SSVLM * d}$$

De la misma manera se realizó el cálculo de la relación A/M, para las demás PTAR analizadas.

- Cálculo del tiempo medio de retención celular o edad del lodo:

$$\theta = \frac{V * [SSVLM]}{Q'_W * [SSVLM]_R}$$

[Ec. 14]

Donde:

θ = Tiempo medio de retención celular (d)

V = Volumen del tanque de aireación (m^3)

$[SSVLM]$ = Concentración de sólidos suspendidos volátiles en el licor de mezcla (mg/l)

Q'_W = Caudal medio de recirculación de lodos (m^3/d)

$[SSVLM]_R$ = Concentración de sólidos suspendidos volátiles en la recirculación de lodos (mg/l)

Ejemplo: cálculo del tiempo medio de retención celular, para la PTAR 3:

Sustituyendo valores en la ecuación No. 14:

$$\theta = \frac{64 \text{ m}^3 * 1197,50 \frac{\text{mg}}{\text{l}}}{22158,51 \frac{\text{l}}{\text{d}} * \frac{1 \text{ m}^3}{1000 \text{ l}} * 1050,00 \frac{\text{mg}}{\text{l}}}$$

$$\theta = 3,29 \text{ d}$$

De la misma manera se realizó el cálculo del tiempo medio de retención celular, para las demás PTAR analizadas.

- Cálculo de la relación entre el caudal de recirculación y el caudal medio de entrada:

$$\text{Recirculación de lodos} = \frac{Q'_w}{Q} * 100$$

[Ec. 15]

Donde:

Recirculación de lodos = En porcentaje (%)

Q'_w = Caudal medio de recirculación de lodos (l/d)

Q = Caudal medio en la entrada de la PTAR (l/d)

Ejemplo: cálculo de la recirculación de lodos, para la PTAR 3:

Sustituyendo valores en la ecuación No. 15:

$$\text{Recirculación de lodos} = \frac{22158,51}{21927,44} * 100$$

$$\text{Recirculación de lodos} = 101,05 \%$$

De la misma manera se realizó el cálculo de la recirculación de lodos, para las demás PTAR analizadas.

- Cálculo del tiempo de retención hidráulica:

$$TRH = \frac{V}{Q} * 100$$

[Ec. 16]

Donde:

TRH = Tiempo de retención hidráulica (h)

V = Volumen del tanque de aireación (m^3)

Q = Caudal medio en la entrada de la PTAR (m^3/h)

Ejemplo: cálculo del TRH , para la PTAR 3:

Sustituyendo valores en la ecuación No. 16:

$$TRH = \frac{64 m^3}{21,93 \frac{m^3}{d} * \frac{1 d}{24 h}} * 100$$

$$TRH = 70 h$$

De la misma forma se realizó el cálculo del tiempo de retención hidráulica, para las demás PTAR analizadas.

7. Datos calculados

7.1. Caudales característicos de la PTAR 1

Tabla IV. Datos de tiempos, volúmenes de llenado y caudales en la entrada de la PTAR 1. Martes 20/11/2012

Entrada martes (20/11/12), PTAR 1							
Hora	Volumen de llenado 1, para aforo (ml)	Volumen de llenado 2, para aforo (ml)	Volumen de llenado 3, para aforo (ml)	Tiempo de llenado 1, para aforo (s)	Tiempo de llenado 2, para aforo (s)	Tiempo de llenado 3, para aforo (s)	Caudal parcial (l/s)
7:00:00	3140			2,90			1,083
8:00:00	2200			4,22			0,521
9:00:00	1000	1000		1,51	1,63		0,638
10:00:00	800	840	840	1,75	1,83	2,11	0,458
11:00:00	940	970		2,36	2,65		0,382
12:00:00	1300	1600		2,18	2,51		0,617
13:00:00	750	700	750	2,01	2,19	2,00	0,356
14:00:00	920	1000	1000	1,52	1,66	1,72	0,596
15:00:00	850	850		1,97	2,06		0,422
16:00:00	1000	960	900	2,17	2,12	2,07	0,449
17:00:00	4150			1,18			3,517

Fuente: elaboración propia.

Tabla V. Datos de tiempos, volúmenes de llenado y caudales en la entrada de la PTAR 1. Miércoles 21/11/2012

Entrada miércoles (21/11/12), PTAR 1							
Hora	Volumen de llenado de llenado 1, para aforo (ml)	Volumen de llenado de llenado 2, para aforo (ml)	Volumen de llenado de llenado 3, para aforo (ml)	Tiempo de llenado 1, para aforo (s)	Tiempo de llenado 2, para aforo (s)	Tiempo de llenado 3, para aforo (s)	Caudal parcial (l/s)
7:00:00	850	850	890	1,69	1,74	1,74	0,501
8:00:00	870	910	970	1,70	1,96	2,00	0,487
9:00:00	4290			1,71			2,509
10:00:00	990	940	970	1,62	1,50	1,81	0,591
11:00:00	2050	2300		1,47	1,74		1,358
12:00:00	860	860		1,66	1,30		0,590
13:00:00	5750	4600		0,93	0,40		8,841
14:00:00	4100	6500		0,84	1,16		5,242
15:00:00	900	840	920	1,58	1,45	1,92	0,543
16:00:00	2870	2300	4150	1,25	1,35	1,54	2,232
17:00:00	750	820		0,81	0,95		0,895

Fuente: elaboración propia.

Tabla VI. Datos de tiempos, volúmenes de llenado y caudales en la entrada de la PTAR 1. Sábado 24/11/2012

Entrada sábado (24/11/12), PTAR 1							
Hora	Volumen de llenado de llenado 1, para aforo (ml)	Volumen de llenado de llenado 2, para aforo (ml)	Volumen de llenado de llenado 3, para aforo (ml)	Tiempo de llenado 1, para aforo (s)	Tiempo de llenado 2, para aforo (s)	Tiempo de llenado 3, para aforo (s)	Caudal parcial (l/s)
7:00:00	990	970	990	2,47	2,38	2,12	0,425
8:00:00	5830	6640	3010	1,45	1,76	0,92	3,688
9:00:00	980	1000	850	2,10	2,10	1,89	0,464
10:00:00	870	860	770	1,39	1,34	1,16	0,644
11:00:00	850	870	830	1,15	1,27	1,01	0,749
12:00:00	990	1000	950	1,17	1,32	0,96	0,864
13:00:00	1350	1890	2450	1,05	1,16	1,60	1,482
14:00:00	860	740	880	1,06	0,86	1,15	0,812
15:00:00	960	980	920	2,56	2,64	2,62	0,366
16:00:00	2600	3800	4200	0,75	0,96	1,02	3,848
17:00:00	3450	3500	2420	1,48	1,16	0,76	2,844

Fuente: elaboración propia.

Tabla VII. **Datos de tiempos, volúmenes de llenado y caudales en la entrada de la PTAR 1. Viernes 7/12/2012**

Entrada viernes (07/12/12), PTAR 1							
Hora	Volumen de llenado 1, para aforo (ml)	Volumen de llenado 2, para aforo (ml)	Volumen de llenado 3, para aforo (ml)	Tiempo de llenado 1, para aforo (s)	Tiempo de llenado 2, para aforo (s)	Tiempo de llenado 3, para aforo (s)	Caudal parcial (l/s)
7:00:00	4180	2270		2,02	1,12		2,662
8:00:00	2120	1500	1790	1,60	1,32	1,42	1,247
9:00:00	1000	900		0,91	0,84		1,143
10:00:00	670	820	900	0,73	1,04	1,13	0,824
11:00:00	990	840	940	1,19	0,98	1,03	0,866
12:00:00	880	1000	810	0,94	1,02	0,95	0,924
13:00:00	960	920	980	0,87	0,81	1,06	1,044
14:00:00	1000	980	640	1,29	1,23	0,84	0,780
15:00:00	940	650	750	2,34	1,22	1,97	0,423
16:00:00	3930	3250		2,20	1,94		1,734
17:00:00	770	900	890	1,68	2,10	2,05	0,439

Fuente: elaboración propia.

Tabla VIII. **Datos de tiempos, volúmenes de llenado y caudales en la salida de la PTAR 1. Martes 20/11/2012**

Salida Martes (20/11/12), PTAR 1					
Hora	Volumen de llenado, para aforo (ml)	Tiempo de llenado 1, para aforo (s)	Tiempo de llenado 2, para aforo (s)	Tiempo de llenado 3, para aforo (s)	Caudal parcial (l/s)
7:00:00	2100	3,25			0,646
8:00:00	4550	2,00			2,275
9:00:00	10000	10,63	10,29		0,956
10:00:00	10000	8,24	8,64	8,76	1,170
11:00:00	10000	7,38	7,41	7,73	1,332
12:00:00	10000	8,92	8,76		1,131
13:00:00	10000	7,60	7,34	7,14	1,359
14:00:00	10000	7,92	7,74	7,27	1,308
15:00:00	10000	7,05	7,47	6,59	1,421
16:00:00	10000	7,91	7,71	7,38	1,304
17:00:00	10000	4,48	4,56		2,212

Fuente: elaboración propia.

Tabla IX. **Datos de tiempos, volúmenes de llenado y caudales en la salida de la PTAR 1. Miércoles 21/11/2012**

Salida miércoles (21/11/12), PTAR 1					
Hora	Volumen de llenado, para aforo (ml)	Tiempo de llenado 1, para aforo (s)	Tiempo de llenado 2, para aforo (s)	Tiempo de llenado 3, para aforo (s)	Caudal parcial (l/s)
7:00:00	10000	12,09	12,94	12,32	0,169
8:00:00	10000	7,77	7,84		0,583
9:00:00	10000	7,26	8,00		1,311
10:00:00	10000	4,84	4,72	4,50	2,134
11:00:00	10000	5,44	5,37	5,42	1,848
12:00:00	10000	5,75	5,91	6,10	1,689
13:00:00	10000	6,06	6,18		1,634
14:00:00	10000	5,77	5,65		1,751
15:00:00	10000	6,28	6,31	6,16	1,600
16:00:00	10000	7,30	7,96	7,52	1,317
17:00:00	10000	6,42	6,43	6,66	1,538

Fuente: elaboración propia.

Tabla X. **Datos de tiempos, volúmenes de llenado y caudales en la salida de la PTAR 1. Sábado 24/11/2012**

Salida sábado (24/11/12), PTAR 1					
Hora	Volumen de llenado, para aforo (ml)	Tiempo de llenado 1, para aforo (s)	Tiempo de llenado 2, para aforo (s)	Tiempo de llenado 3, para aforo (s)	Caudal parcial (l/s)
7:00:00	10000	12,28	12,10		0,820
8:00:00	10000	9,25	9,41	9,49	1,066
9:00:00	10000	6,51	7,14	7,18	1,440
10:00:00	10000	7,92	7,92	7,84	1,267
11:00:00	10000	8,70	8,70	9,06	1,134
12:00:00	10000	8,69	9,01	9,00	1,124
13:00:00	10000	10,20	10,20	10,23	0,979
14:00:00	10000	8,36	8,45	8,65	1,178
15:00:00	10000	8,68	8,93	9,31	1,114
16:00:00	10000	9,61	9,44	9,65	1,045
17:00:00	10000	7,77	7,70	7,85	1,286

Fuente: elaboración propia.

Tabla XI. Datos de tiempos, volúmenes de llenado y caudales en la salida de la PTAR 1. Viernes 07/12/2012

Salida sábado (24/11/12), PTAR 1					
Hora	Volumen de llenado, para aforo (ml)	Tiempo de llenado 1, para aforo (s)	Tiempo de llenado 2, para aforo (s)	Tiempo de llenado 3, para aforo (s)	Caudal parcial (l/s)
7:00:00	18925	15,70	15,75		1,203
8:00:00	10000	5,98	6,38		1,618
9:00:00	10000	6,46	6,67	6,90	1,498
10:00:00	10000	6,08	6,13	6,16	1,633
11:00:00	10000	6,98	6,68	6,80	1,466
12:00:00	10000	6,68	6,45	6,70	1,513
13:00:00	10000	5,59	6,18	6,02	1,686
14:00:00	10000	5,38	5,35	5,20	1,883
15:00:00	10000	5,37	5,36	5,26	1,876
16:00:00	10000	5,80	5,90	6,00	1,695
17:00:00	10000	7,45	7,20	7,56	1,351

Fuente: elaboración propia.

7.2. Caudales característicos de la PTAR 2

Tabla XII. Datos de tiempos, volúmenes de llenado y caudales en la entrada de la PTAR 2. Martes 13/11/2012

Entrada martes (13/11/12), PTAR 2					
Hora	Volumen de llenado, para aforo (ml)	Tiempo de llenado 1, para aforo (s)	Tiempo de llenado 2, para aforo (s)	Tiempo de llenado 3, para aforo (s)	Caudal parcial (l/s)
7:00:00	2360	4,73			0,499
8:00:00	455	3,61			0,126
9:00:00	900	11,70	13,43	14,54	0,068
10:00:00	900	2,68	2,91	3,54	0,296
11:00:00	900	4,39	4,81	4,88	0,192
12:00:00	900	11,78	12,20		0,075
13:00:00	900	2,35	2,49	2,64	0,361
14:00:00	900	2,84			0,317
15:00:00	900	5,12	5,18	5,45	0,171
16:00:00	900	32,98	34,56	31,10	0,027
17:00:00	900	6,54	6,80	7,11	0,132

Fuente: elaboración propia.

Tabla XIII. **Datos de tiempos, volúmenes de llenado y caudales en la entrada de la PTAR 2. Miércoles 14/11/2012**

Entrada miércoles (14/11/12), PTAR 2					
Hora	Volumen de llenado, para aforo (ml)	Tiempo de llenado 1, para aforo (s)	Tiempo de llenado 2, para aforo (s)	Tiempo de llenado 3, para aforo (s)	Caudal parcial (l/s)
7:00:00	971	2,34			0,415
8:00:00	900	4,33	3,94	3,92	0,221
9:00:00	900	5,28	5,86	5,89	0,159
10:00:00	900	2,26	2,35	2,21	0,396
11:00:00	900	2,49	2,49	2,12	0,380
12:00:00	900	6,50	7,39	7,42	0,127
13:00:00	900	7,13	7,25		0,125
14:00:00	900	6,68	7,00	7,28	0,129
15:00:00	900	3,68	3,52	3,56	0,251
16:00:00	900	8,65	8,91	9,70	0,099
17:00:00	900	4,50	5,09	4,85	0,187

Fuente: elaboración propia.

Tabla XIV. **Datos de tiempos, volúmenes de llenado y caudales en la entrada de la PTAR 2. Jueves 15/11/2012**

Entrada jueves (15/11/12), PTAR 2					
Hora	Volumen de llenado, para aforo (ml)	Tiempo de llenado 1, para aforo (s)	Tiempo de llenado 2, para aforo (s)	Tiempo de llenado 3, para aforo (s)	Caudal parcial (l/s)
7:00:00	981	3,02			0,325
8:00:00	900	10,20	11,20	11,80	0,081
9:00:00	900	31,26	31,20	30,88	0,029
10:00:00	900	2,36	2,40	2,51	0,371
11:00:00	900	3,34	3,73	3,31	0,260
12:00:00	900	3,17	3,10	3,10	0,288
13:00:00	900	19,82	19,22	17,25	0,048
14:00:00	900	5,29	5,02	5,10	0,175
15:00:00	900	7,90	8,29	9,26	0,106
16:00:00	900	8,55	8,56	8,99	0,103
17:00:00	900	8,47	8,59	8,74	0,105

Fuente: elaboración propia.

Tabla XV. **Datos de tiempos, volúmenes de llenado y caudales en la entrada de la PTAR 2. Domingo 18/11/2012**

Entrada domingo (18/11/12), PTAR 2					
Hora	Volumen de llenado, para aforo (ml)	Tiempo de llenado 1, para aforo (s)	Tiempo de llenado 2, para aforo (s)	Tiempo de llenado 3, para aforo (s)	Caudal parcial (l/s)
7:00:00					
8:00:00	900	2,76	2,06	2,23	0,383
9:00:00	900	7,42	6,68	6,81	0,129
10:00:00	900	2,50	2,18	2,36	0,384
11:00:00	900	2,92	2,33	2,41	0,352
12:00:00	900	9,31	8,36	7,98	0,105
13:00:00	900	24,41	24,43	23,36	0,037
14:00:00	900	22,43	22,28	22,67	0,040
15:00:00	900	10,38	10,66	11,02	0,084
16:00:00	900	7,50	7,59	7,72	0,118
17:00:00	900	2,75	2,46	2,43	0,353

Fuente: elaboración propia.

Tabla XVI. **Datos de tiempos, volúmenes de llenado y caudales en la entrada de la PTAR 2. Lunes 19/11/2012**

Entrada lunes (19/11/12), PTAR 2					
Hora	Volumen de llenado, para aforo (ml)	Tiempo de llenado 1, para aforo (s)	Tiempo de llenado 2, para aforo (s)	Tiempo de llenado 3, para aforo (s)	Caudal parcial (l/s)
7:00:00	900	1,18	1,30	1,28	0,718
8:00:00	900	5,28	5,36	5,78	0,164
9:00:00	900	22,40	22,84	24,00	0,039
10:00:00	900	5,23	5,40	5,94	0,163
11:00:00	900	2,30	2,09	1,90	0,429
12:00:00	900	7,03	7,50	7,18	0,124
13:00:00	900	8,68	8,08	8,68	0,106
14:00:00	900	17,63	17,93	17,58	0,051
15:00:00	900	1,56	1,17	1,29	0,672
16:00:00	900	13,05	13,73	12,92	0,068
17:00:00	900	3,53	3,23	3,32	0,268

Fuente: elaboración propia.

Tabla XVII. **Datos de volumen registrado, cambio en el volumen registrado, tiempo y caudales en la salida de la PTAR 2. Martes 13/11/2012**

Salida martes (13/11/12), PTAR 2				
Hora	Volumen registrado en el flujómetro (m ³)	Cambio en el volumen registrado en el flujómetro (m ³)	Tiempo de lectura del flujómetro (s)	Caudal parcial (l/s)
7:00:00	1730,30			
8:00:00	1738,61	8,31	3600	2,308
9:00:00	1740,00	1,39	3600	0,386
10:00:00	1740,83	0,83	3600	0,231
11:00:00	1742,40	1,57	3600	0,436
12:00:00	1743,94	1,54	3600	0,428
13:00:00	1745,30	1,36	3600	0,378
14:00:00	1745,35	0,05	3600	0,014
15:00:00	1746,74	1,39	3600	0,386
16:00:00	1747,97	1,23	3600	0,342
17:00:00	1747,97	0,00	3600	0,000

Fuente: elaboración propia.

Tabla XVIII. **Datos de volumen registrado, cambio en el volumen registrado, tiempo y caudales en la salida de la PTAR 2. Martes 14/11/2012**

Salida miércoles (14/11/12), PTAR 2				
Hora	Volumen registrado en el flujómetro (m ³)	Cambio en el volumen registrado en el flujómetro (m ³)	Tiempo de lectura del flujómetro (s)	Caudal parcial (l/s)
7:00:00	1755,20			
8:00:00	1756,69	1,49	3600	0,414
9:00:00	1758,16	1,47	3600	0,408
10:00:00	1758,36	0,20	3600	0,056
11:00:00	1760,14	1,78	3600	0,494
12:00:00	1760,14	0,00	3600	0,000
13:00:00	1761,46	1,32	3600	0,367
14:00:00	1761,46	0,00	3600	0,000
15:00:00	1762,66	1,20	3600	0,333
16:00:00	1762,66	0,00	3600	0,000
17:00:00	1763,70	1,04	3600	0,289

Fuente: elaboración propia.

Tabla XIX. **Datos de volumen registrado, cambio en el volumen registrado, tiempo y caudales en la salida de la PTAR 2. Jueves 15/11/2012**

Salida jueves (15/11/12), PTAR 2				
Hora	Volumen registrado en el flujómetro (m³)	Cambio en el volumen registrado en el flujómetro (m³)	Tiempo de lectura del flujómetro (s)	Caudal parcial (l/s)
7:00:00	1770,09			
8:00:00	1771,16	1,07	3600	0,297
9:00:00	1772,05	0,89	3600	0,247
10:00:00	1772,70	0,65	3600	0,181
11:00:00	1774,80	2,10	3600	0,583
12:00:00	1774,80	0,00	3600	0,000
13:00:00	1776,15	1,35	3600	0,375
14:00:00	1776,44	0,29	3600	0,081
15:00:00	1778,04	1,60	3600	0,444
16:00:00	1780,12	2,08	3600	0,578
17:00:00	1780,43	0,31	3600	0,086

Fuente: elaboración propia.

Tabla XX. **Datos de volumen registrado, cambio en el volumen registrado y caudales en la salida de la PTAR 2. Domingo 18/11/2012**

Salida domingo (18/11/12), PTAR 2				
Hora	Volumen registrado en el flujómetro (m³)	Cambio en el volumen registrado en el flujómetro (m³)	Tiempo de lectura del flujómetro (s)	Caudal parcial (l/s)
7:00:00				
8:00:00	1818,86	0,00	3600	0,000
9:00:00	1818,86	0,00	3600	0,000
10:00:00	1819,30	0,44	3600	0,122
11:00:00	1820,24	0,94	3600	0,261
12:00:00	1820,24	0,00	3600	0,000
13:00:00	1822,02	1,78	3600	0,494
14:00:00	1823,22	1,20	3600	0,333
15:00:00	1823,22	0,00	3600	0,000
16:00:00	1823,22	0,00	3600	0,000
17:00:00	1823,22	0,00	3600	0,000

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXI. Datos de volumen registrado, cambio en el volumen registrado, tiempo y caudales en la salida de la PTAR 2. Lunes 19/11/2012

Salida lunes (19/11/12), PTAR 2				
Hora	Volumen registrado en el flujómetro (m³)	Cambio en el volumen registrado en el flujómetro (m³)	Tiempo de lectura del flujómetro (s)	Caudal parcial (l/s)
7:00:00	1830,28			
8:00:00	1830,46	0,18	3600	0,050
9:00:00	1831,70	1,24	3600	0,344
10:00:00	1831,70	0,00	3600	0,000
11:00:00	1833,18	1,48	3600	0,411
12:00:00	1833,18	0,00	3600	0,000
13:00:00	1834,55	1,37	3600	0,381
14:00:00	1834,55	0,00	3600	0,000
15:00:00	1834,55	0,00	3600	0,000
16:00:00	1837,33	2,78	3600	0,772
17:00:00	1837,33	0,00	3600	0,000

Fuente: elaboración propia.

7.3. Caudales característicos de la PTAR 3

Tabla XXII. Datos de tiempo de lectura, caudales, niveles, volúmenes y cambio de volúmenes en la entrada de la PTAR 3. Sábado 12/01/2013

Entrada sábado (12/01/13), PTAR 3							
Hora	Nivel de agua en el tanque (m)	Volumen en el tanque (m³)	Cambio en el volumen del tanque (m³)	Tiempo de lectura en el tanque (s)	Caudal sin bombeo (l/s)	Caudal de bombeo (l/s)	Caudal parcial (l/s)
7:00:00	1,140	9,34					
8:00:00	0,270	2,21	-7,13	3600,00	-1,980	-2,048	0,068
8:13:47	0,070	0,57	-1,64	827,59	-1,980	-2,048	0,068
9:00:00	0,200	1,64	1,07	2772,41	0,384	0,000	0,384
10:00:00	0,288	2,36	0,72	3600,00	0,200	0,000	0,200
11:00:00	0,410	3,36	1,00	3600,00	0,278	0,000	0,278
12:00:00	0,455	3,73	0,37	3600,00	0,102	0,000	0,102
13:00:00	0,520	4,26	0,53	3600,00	0,148	0,000	0,148
14:00:00	0,755	6,19	1,93	3600,00	0,535	0,000	0,535
15:00:00	0,904	7,41	1,22	3600,00	0,339	0,000	0,339
16:00:00	1,101	9,02	1,61	3600,00	0,448	0,000	0,448
16:12:00	1,140	9,34	0,32	712,69	0,448	0,000	0,448
17:00:00	0,823	6,74	-2,60	2887,31	-0,899	-2,048	1,149

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXIII. Datos de tiempo de lectura, caudales, niveles, volúmenes y cambio de volúmenes en la entrada de la PTAR 3. Lunes 14/01/2013

Entrada lunes (14/01/13), PTAR 3							
Hora	Nivel de agua en el tanque (m)	Volumen en el tanque (m ³)	Cambio en el volumen del tanque (m ³)	Tiempo de lectura en el tanque (s)	Caudal sin bombeo (l/s)	Caudal de bombeo (l/s)	Caudal parcial (l/s)
7:00:00	0,775	6,35					
8:00:00	0,820	6,72	0,37	3600,00	0,102	0,000	0,102
9:00:00	0,914	7,49	0,77	3600,00	0,214	0,000	0,214
10:00:00	0,994	8,14	0,66	3600,00	0,182	0,000	0,182
11:00:00	1,120	9,18	1,03	3600,00	0,287	0,000	0,287
11:09:30	1,140	9,34	0,16	571,43	0,287	0,000	0,287
12:00:00	0,450	3,69	-5,65	3028,57	-1,867	-2,048	0,182
12:26:45	0,070	0,57	-3,11	1982,61	-1,570	-2,048	0,478
13:00:00	0,120	0,98	0,41	3600,00	0,114	0,000	0,114
14:00:00	0,165	1,35	0,37	3600,00	0,102	0,000	0,102
15:00:00	0,290	2,38	1,02	3600,00	0,284	0,000	0,284
16:00:00	0,340	2,79	0,41	3600,00	0,114	0,000	0,114
17:00:00	0,400	3,28	0,49	3600,00	0,137	0,000	0,137

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXIV. Datos de tiempo de lectura, caudales, niveles, volúmenes y cambio de volúmenes en la entrada de la PTAR 3. Miércoles 16/01/2013

Entrada miércoles (16/01/13), PTAR 3							
Hora	Nivel de agua en el tanque (m)	Volumen en el tanque (m ³)	Cambio en el volumen del tanque (m ³)	Tiempo de lectura en el tanque (s)	Caudal sin bombeo (l/s)	Caudal de bombeo (l/s)	Caudal parcial (l/s)
7:00:00	0,518	4,24					
8:00:00	0,680	5,57	1,33	3600,00	0,369	0,000	0,369
9:00:00	0,785	6,43	0,86	3600,00	0,239	0,000	0,239
10:00:00	0,856	7,01	0,58	3600,00	0,162	0,000	0,162
11:00:00	0,943	7,73	0,71	3600,00	0,198	0,000	0,198
12:00:00	1,010	8,27	0,55	3600,00	0,152	0,000	0,152
13:00:00	1,070	8,77	0,49	3600,00	0,137	0,000	0,137
14:10:00	1,140	9,34	0,57	4200,00	0,137	0,000	0,137
15:00:00	0,450	3,69	-5,65	3000,00	-1,884	-2,048	0,164
15:30:00	0,070	0,57	-3,11	1982,61	-1,570	-2,048	0,478
16:00:00	0,305	2,50	1,93	1617,39	1,190	0,000	1,190
17:00:00	0,456	3,74	1,24	3600,00	0,344	0,000	0,344

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXV. Datos de tiempo de lectura, caudales, niveles, volúmenes y cambio de volúmenes en la entrada de la PTAR 3. Viernes 18/01/2013

Entrada viernes (18/01/13), PTAR 3							
Hora	Nivel de agua en el tanque (m)	Volumen en el tanque (m ³)	Cambio en el volumen del tanque (m ³)	Tiempo de lectura en el tanque (s)	Caudal sin bombeo (l/s)	Caudal de bombeo (l/s)	Caudal parcial (l/s)
7:00:00	0,530	4,34					
8:00:00	0,580	4,75	0,41	3600,00	0,114	0,000	0,114
9:00:00	0,625	5,12	0,37	3600,00	0,102	0,000	0,102
10:00:00	0,640	5,24	0,12	3600,00	0,034	0,000	0,034
11:00:00	0,660	5,41	0,16	3600,00	0,046	0,000	0,046
12:00:00	0,710	5,82	0,41	3600,00	0,114	0,000	0,114
13:00:00	0,770	6,31	0,49	3600,00	0,137	0,000	0,137
14:00:00	0,810	6,64	0,33	3600,00	0,091	0,000	0,091
15:00:00	0,905	7,41	0,78	3600,00	0,216	0,000	0,216
16:00:00	1,090	8,93	1,52	3600,00	0,421	0,000	0,421
17:00:00	1,140	9,34	0,41	3600,00	0,114	0,000	0,114
18:00:00	0,290	2,38	-6,96	3600,00	-1,934	-2,048	0,114

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXVI. Datos de volumen registrado, cambio en el volumen registrado, tiempo y caudales en la salida de la PTAR 3. Sábado 12/01/2013

Salida Sábado (12/01/13), PTAR 3				
Hora	Volumen registrado en el flujómetro (m ³)	Cambio en el volumen registrado en el flujómetro (m ³)	Tiempo de lectura del flujómetro (s)	Caudal parcial (l/s)
7:00:00	595,62			
8:00:00	595,75	0,13	3600	0,036
9:00:00	599,38	3,63	3600	1,008
10:00:00	599,38	0,00	3600	0,000
11:00:00	599,38	0,00	3600	0,000
12:00:00	599,38	0,00	3600	0,000
13:00:00	599,38	0,00	3600	0,000
14:00:00	599,38	0,00	3600	0,000
15:00:00	599,38	0,00	3600	0,000
16:00:00	599,38	0,00	3600	0,000
17:00:00	599,38	0,00	3600	0,000

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXVII. **Datos de volumen registrado, cambio en el volumen registrado, tiempo y caudales en la salida de la PTAR 3. Lunes 14/01/2013**

Salida lunes (14/01/13), PTAR 3				
Hora	Volumen registrado en el flujómetro (m³)	Cambio en el volumen registrado en el flujómetro (m³)	Tiempo de lectura del flujómetro (s)	Caudal parcial (l/s)
7:00:00	618,64			
8:00:00	618,64	0,00	3600	0,000
9:00:00	618,64	0,00	3600	0,000
10:00:00	618,64	0,00	3600	0,000
11:00:00	618,64	0,00	3600	0,000
12:00:00	621,77	3,13	3600	0,869
13:00:00	627,43	5,66	3600	1,572
14:00:00	627,43	0,00	3600	0,000
15:00:00	627,43	0,00	3600	0,000
16:00:00	627,43	0,00	3600	0,000
17:00:00	627,43	0,00	3600	0,000

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXVIII. **Datos de volumen registrado, cambio en el volumen registrado, tiempo y caudales en la salida de la PTAR 3. Miércoles 16/01/2013**

Salida miércoles (16/01/13), PTAR 3				
Hora	Volumen registrado en el flujómetro (m³)	Cambio en el volumen registrado en el flujómetro (m³)	Tiempo de lectura del flujómetro (s)	Caudal parcial (l/s)
7:00:00	644,68			
8:00:00	644,68	0,00	3600	0,000
9:00:00	644,68	0,00	3600	0,000
10:00:00	644,68	0,00	3600	0,000
11:00:00	644,68	0,00	3600	0,000
12:00:00	644,68	0,00	3600	0,000
13:00:00	644,68	0,00	3600	0,000
14:00:00	644,68	0,00	3600	0,000
15:00:00	648,56	3,88	3600	1,078
16:00:00	652,77	4,21	3600	1,169
17:00:00	652,77	0,00	3600	0,000

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXIX. **Datos de volumen registrado, cambio en el volumen, tiempo y caudales en la salida de la PTAR 3. Viernes 18/01/2013**

Salida viernes (18/01/13), PTAR 3				
Hora	Volumen registrado en el flujómetro (m³)	Cambio en el volumen registrado en el flujómetro (m³)	Tiempo de lectura del flujómetro (s)	Caudal parcial (l/s)
7:00:00	667,23			
8:00:00	667,23	0,00	3600	0,00
9:00:00	667,23	0,00	3600	0,00
10:00:00	667,23	0,00	3600	0,00
11:00:00	667,23	0,00	3600	0,00
12:00:00	667,23	0,00	3600	0,00
13:00:00	667,23	0,00	3600	0,00
14:00:00	667,23	0,00	3600	0,00
15:00:00	667,23	0,00	3600	0,00
16:00:00	667,23	0,00	3600	0,00
17:00:00	667,23	0,00	3600	0,00
18:00:00	672,64	5,41	3600	5,41

Fuente: elaboración propia.

7.4. Análisis físicos, químicos y biológicos de la PTAR 1

Tabla XXX. **Entrada al proceso de lodos activados con aireación extendida, para la PTAR 1**

	Parámetros	Unidad	Días de análisis				Promedio
			20/11/12	21/11/12	24/11/12	07/12/12	
ENTRADA	DBO ₅	mg/l	743,00	659,00	494,00	497,00	598,25
	DQO	mg/l	1114,00	951,00	705,00	858,00	907,00
	Sólidos suspendidos	mg/l	664,00	824,00	328,00	364,00	545,00
	Nitrógeno total	mg/l	51,20	62,00	48,00	55,20	54,10
	Nitritos (NO ₂ ⁻)	mg/l	0,17	0,17	0,07	0,46	0,21
	Nitratos (NO ₃ ⁻)	mg/l	7,26	12,98	12,72	4,40	9,34
	Amonio (NH ₄ ⁺)	mg/l	19,20	49,10	38,80	54,30	40,35
	Fosfatos	mg/l	8,00	18,50	9,60	19,90	14,00
	Fósforo total	mg/l	9,30	8,40	8,50	9,50	8,93
	Potencial de Hidrógeno	Unidad de pH	6,99	7,33	7,22	7,41	7,24
	Sólidos totales	mg/l	1288,00	1824,00	1028,00	1224,00	1341,00
	Sólidos disueltos	mg/l	624,00	1000,00	700,00	860,00	796,00
	Turbiedad	UNT	451,00	447,00	296,00	404,00	399,50
	Sólidos sedimentables	ml/l*h	15,00	4,00	0,90	3,00	5,73
	Sulfatos	mg/l	88,00	205,00	142,00	176,00	152,75
	Color aparente	Unidad Pt/Co	-----	111,00	70,00	75,00	85,33
	Carga orgánica	kg DBO ₅ /d	52,61	117,93	62,78	47,18	70.13

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXXI. **Porcentaje del caudal de recirculación en la PTAR 1**

Tiempo (s)			Promedio (s)	Volumen (l)	Caudal (l/s)	Caudal de recirculación (l/d)	Caudal medio (l/d)	%
1,79	1,82	1,86	1,82	10,00	5,48	473857,40	117944,80	401,76

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXXII. **Salida del proceso de lodos activados con aireación extendida, para la PTAR 1**

Parámetros	Unidad	Días de análisis				Promedio	Cumplimiento con el Acuerdo Gubernativo 236-2006
		20/11/12	21/11/12	24/11/12	07/12/12		
DBO ₅	mg/l	244,00	190,00	131,00	113,00	169,50	Cumple
DQO	mg/l	408,00	358,00	154,00	262,00	295,50	
Sólidos suspendidos	mg/l	576,00	316,00	152,00	216,00	315,00	No cumple
Nitrógeno total	mg/l	36,80	41,60	34,40	55,60	42,10	No cumple
Nitritos (NO ₂ ⁻)	mg/l	0,17	0,17	0,07	0,66	0,26	
Nitratos (NO ₃ ⁻)	mg/l	1,72	3,83	4,62	10,08	5,06	
Amonio (NH ₄ ⁺)	mg/l	7,40	26,50	34,90	51,80	30,15	
Fosfatos	mg/l	3,70	4,70	9,60	12,40	7,60	
Fósforo total	mg/l	4,30	5,30	4,20	7,40	5,30	Cumple
Potencial de Hidrógeno	Unidad de pH	7,62	7,56	7,81	7,60	7,65	Cumple
Sólidos totales	mg/l	1108,00	956,00	852,00	960,00	969,00	
Sólidos disueltos	mg/l	532,00	640,00	700,00	744,00	654,00	
Turbiedad	UNT	292,00	122,00	94,00	137,00	161,25	
Sólidos sedimentables	ml/l*h	1,00	0,00	0,00	0,10	0,28	
Sulfatos	mg/l	112,00	155,00	162,00	173,00	150,50	
Color aparente	Unidad Pt/Co	-----	56,00	42,00	45,00	47,67	Cumple

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXXIII. **Eficiencia de remoción de contaminantes en la PTAR 1**

Parámetros	Unidad	Días de análisis				Promedio
		20/11/12	21/11/12	24/11/12	07/12/12	
DBO ₅	mg/l	67,2%	71,2%	73,5%	77,3%	72,3%
DQO	mg/l	63,4%	62,4%	78,2%	69,5%	68,3%
Sólidos suspendidos	mg/l	13,3%	61,7%	53,7%	40,7%	42,3%
Nitrógeno total	mg/l	28,1%	32,9%	28,3%	0,0%	29,8%
Nitritos (NO ₂ ⁻)	mg/l	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
Nitratos (NO ₃ ⁻)	mg/l	76,4%	70,5%	63,7%	0,0%	70,2%
Amonio (NH ₄ ⁺)	mg/l	61,5%	46,0%	10,1%	4,6%	30,5%
Fosfatos	mg/l	53,8%	74,6%	0,0%	37,7%	41,5%
Fósforo total	mg/l	53,8%	36,9%	50,6%	22,1%	40,8%
Sólidos totales	mg/l	14,0%	47,6%	17,1%	21,6%	25,1%
Sólidos disueltos	mg/l	14,7%	36,0%	0,0%	13,5%	21,4%
Turbiedad	UNT	35,3%	72,7%	68,2%	66,1%	60,6%
Sólidos sedimentables	ml/l*h	93,3%	100,0%	100,0%	96,7%	97,5%
Sulfatos	mg/l	0,0%	24,4%	0,0%	1,7%	13,0%
Color aparente	Unidad Pt/Co	-----	49,5%	40,0%	40,0%	43,2%

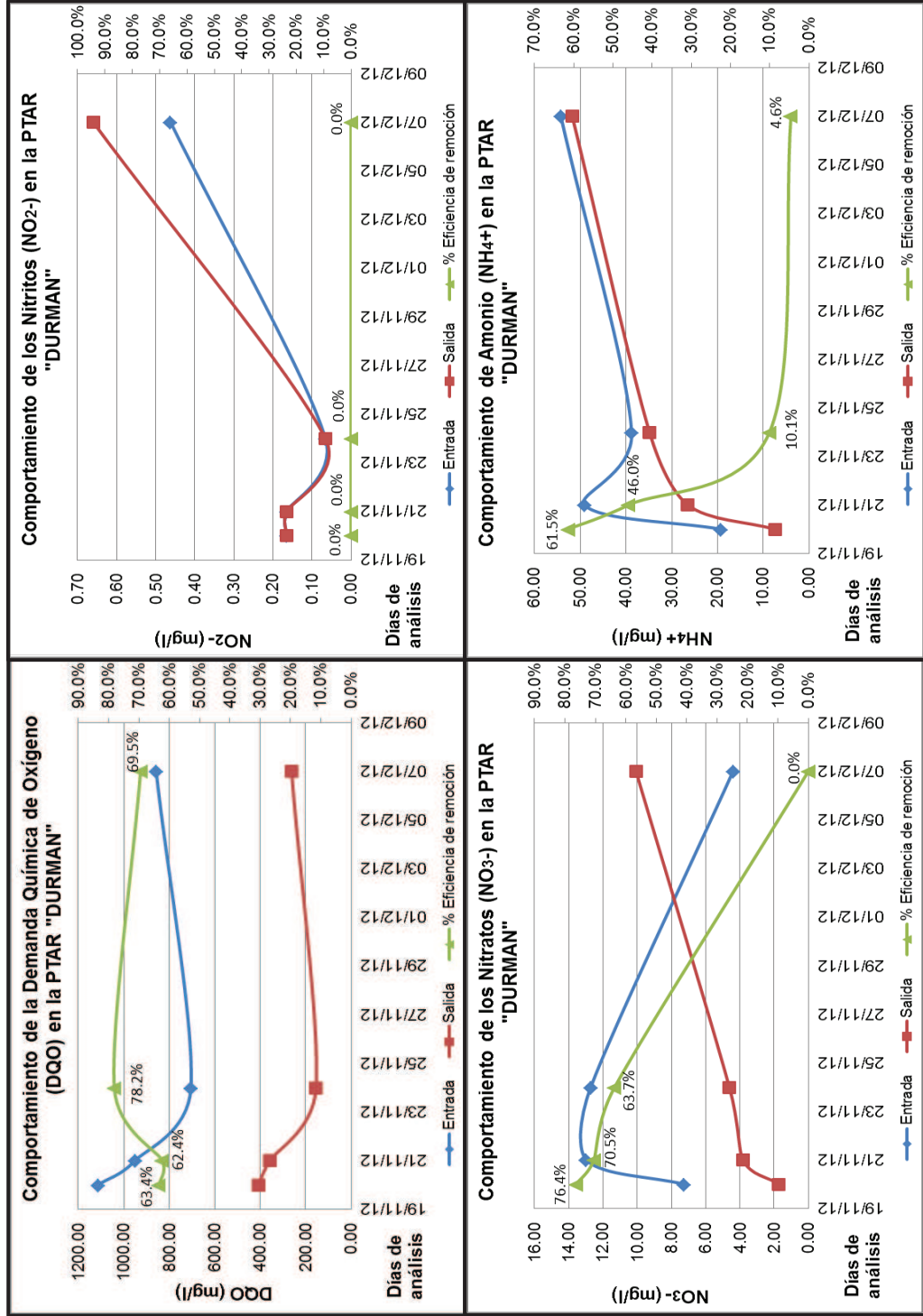
Fuente: elaboración propia.

Tabla XXXIV. **Valores puntuales promedio de los parámetros fisicoquímicos analizados en las diferentes unidades que conforman la PTAR 1**

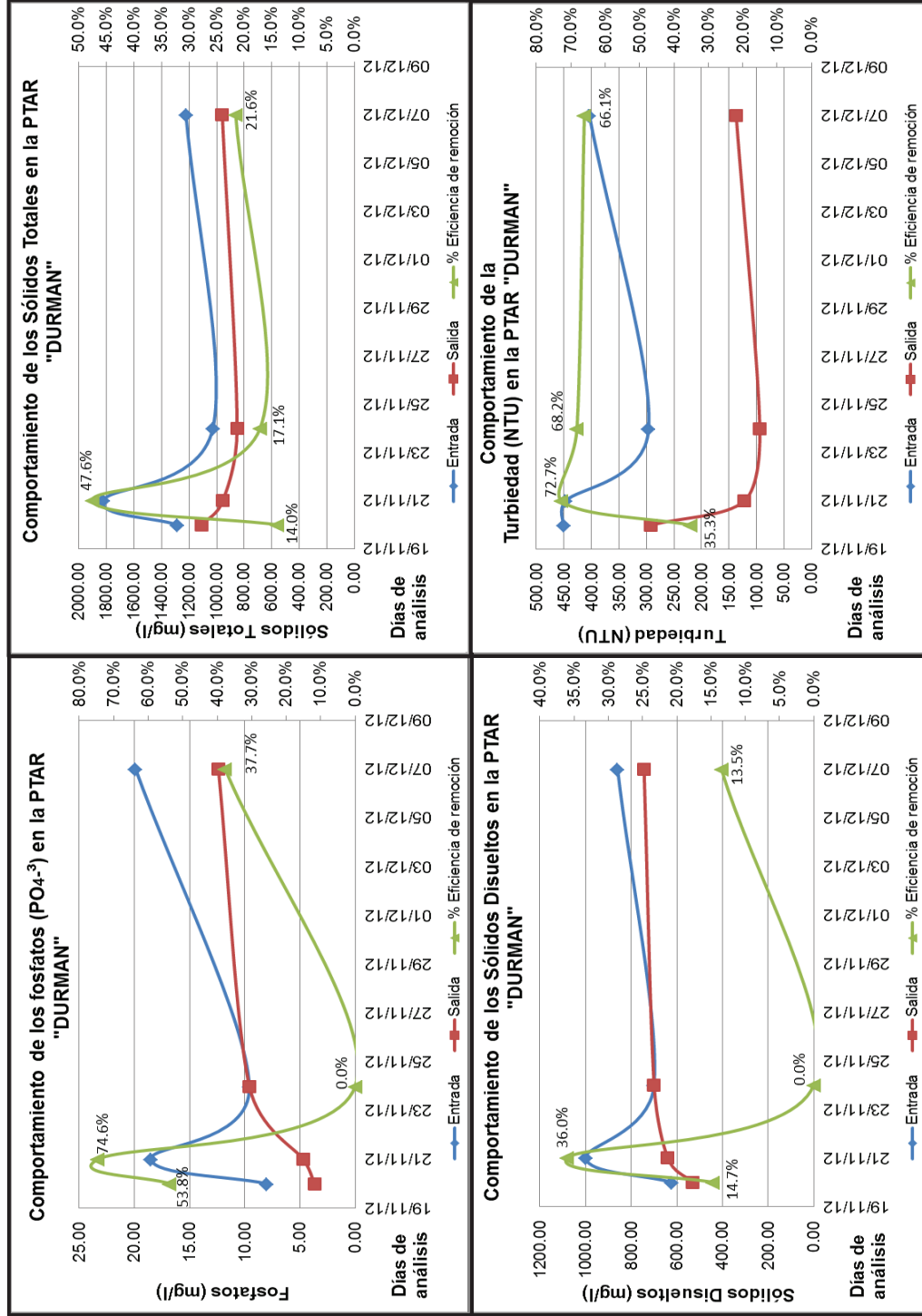
Parámetros	Unidad	Unidades que conforman la PTAR 1, 24/11/12			
		Tanque regulador de caudal	Cámara anóxica	Cámara de aireación	Cámara de sedimentación
DQO	mg/l	777,00	700,00	309,00	370,00
Nitrógeno total	mg/l	46,00	62,80	46,00	52,80
Nitritos (NO ₂ ⁻)	mg/l	0,17	0,17	0,17	0,17
Nitratos (NO ₃ ⁻)	mg/l	15,88	12,76	5,41	6,95
Amonio (NH ₄ ⁺)	mg/l	39,10	42,90	42,00	39,70
Fosfatos	mg/l	1,41	13,80	1,23	1,34
Fósforo total	mg/l	8,50	11,30	7,00	8,70
Potencial de Hidrógeno	Unidades de pH	6,68	7,06	7,44	7,40
Sólidos totales	mg/l	1084,00	1452,00	3012,00	3148,00
Sólidos disueltos	mg/l	756,00	764,00	796,00	764,00
Turbiedad	UNT	365,00	581,00	1100,00	1100,00
Sólidos sedimentables	ml/l*h	6,30	16,00	28,00	68,00

Fuente: elaboración propia.

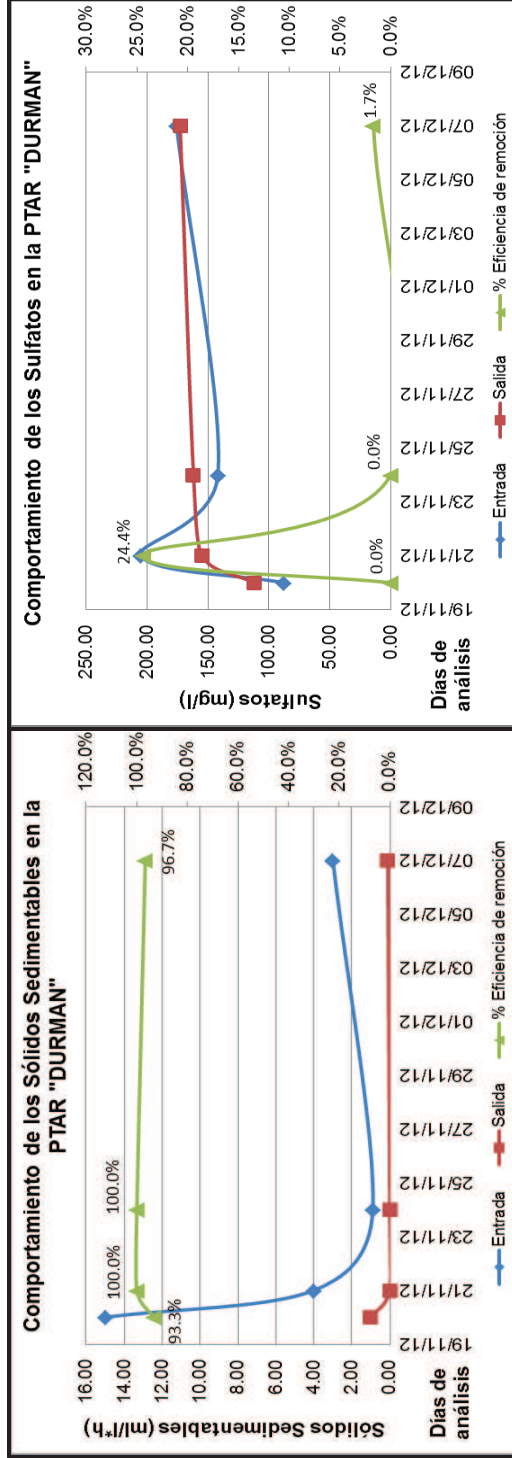
Figura 19. Curvas de parámetros fisicoquímicos y biológicos en la PTAR 1



Continuación de la figura 19.



Continuación de la figura 19.



Fuente: elaboración propia.

7.5. Análisis físicos, químicos y biológicos de la PTAR 2

Tabla XXXV. **Entrada al proceso de lodos activados con aireación extendida, para la PTAR 2**

	Parámetros	Unidad	Días de análisis					Promedio
			13/11/12	14/11/12	15/11/12	18/11/12	19/11/12	
ENTRADA	DBO ₅	mg/l	406,00	815,00	365,00	563,00	743,00	578,40
	DQO	mg/l	588,00	1495,00	1848,00	1076,00	1061,00	1213,60
	Sólidos suspendidos	mg/l	-----	860,00	674,00	488,00	460,00	620,50
	Nitrógeno total	mg/l	56,00	96,80	67,20	43,60	48,00	62,32
	Nitritos (NO ₂ ⁻)	mg/l	0,10	0,59	0,13	0,20	0,17	0,24
	Nitratos (NO ₃ ⁻)	mg/l	38,98	24,51	17,29	8,89	6,91	19,32
	Amonio (NH ₄ ⁺)	mg/l	44,50	26,90	52,60	25,50	12,40	32,38
	Fosfatos (PO ₄ ⁻³)	mg/l	10,00	7,90	20,50	10,10	7,90	11,28
	Fósforo total	mg/l	6,60	15,60	14,70	6,70	7,20	10,16
	Potencial de Hidrógeno	Unidad de pH	6,63	7,96	7,62	7,97	6,89	7,41
	Sólidos totales	mg/l	808,00	1644,00	1474,00	1304,00	1000,00	1246,00
	Sólidos disueltos	mg/l	720,00	784,00	800,00	816,00	540,00	732,00
	Turbiedad	UNT	239,00	714,00	405,00	408,00	465,00	446,20
	Sólidos sedimentables	ml/l*h	0,50	1,75	3,00	0,20	2,50	1,59
	Sulfatos	mg/l	146,00	139,00	105,50	72,00	44,00	101,30
	Color aparente	Unidad Pt/Co	1726,00	3781,00	2697,00	2788,00	2851,00	2768,60
	Carga orgánica	kg DBO ₅ /d	7,22	15,93	5,42	9,66	16,36	10,92

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXXVI. **Porcentaje del caudal de recirculación en la PTAR 2**

Tiempo (s)			Promedio (s)	Volumen (l)	Caudal (l/s)	Caudal de recirculación (l/d)	Caudal medio (l/d)	%
15,28	15,65	15,64	15,52	18,93	1,22	17557,42	18274,89	96,07

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXXVII. **Salida del proceso de lodos activados con aireación extendida, para la PTAR 2**

Parámetros	Unidad	Días de análisis					Promedio	Cumplimiento con el Acuerdo Gubernativo 236-2006
		13/11/12	14/11/12	15/11/12	18/11/12	19/11/12		
DBO ₅	mg/l	75,00	5,50	8,90	166,00	-----	63,90	Cumple
DQO	mg/l	163,00	155,00	179,00	218,00	286,00	200,20	
Sólidos suspendidos	mg/l	-----	244,00	244,00	244,00	352,00	271,00	No cumple
Nitrógeno total	mg/l	31,60	26,80	30,80	56,00	40,00	37,00	No cumple
Nitritos (NO ₂ ⁻)	mg/l	4,70	11,70	1,20	1,00	4,80	4,70	
Nitratos (NO ₃ ⁻)	mg/l	4,40	8,10	4,10	3,80	0,20	4,10	
Amonio (NH ₄ ⁺)	mg/l	25,30	11,90	5,00	37,40	14,50	18,80	
Fosfatos (PO ₄ ⁻³)	mg/l	6,70	7,70	20,00	7,80	4,00	9,20	
Fósforo total	mg/l	16,50	15,40	16,40	19,00	17,40	16,90	No cumple
Potencial de Hidrógeno	Unidad de pH	6,60	7,60	7,80	7,80	7,60	7,50	Cumple
Sólidos totales	mg/l	576,00	848,00	718,00	588,00	800,00	706,00	
Sólidos disueltos	mg/l	488,00	604,00	596,00	588,00	448,00	544,80	
Turbiedad	UNT	125,00	190,00	213,00	300,00	323,00	230,20	
Sólidos sedimentables	ml/l*h	0,05	0,05	0,05	0,00	0,20	0,10	
Sulfatos	mg/l	81,00	117,00	106,50	96,00	60,00	92,10	
Color aparente	Unidad Pt/Co	941,00	1200,00	1416,00	1834,00	-----	1347,80	No cumple

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXXVIII. Eficiencia de remoción de contaminantes en la PTAR 2

Parámetros	Unidad	Días de análisis					Promedio
		13/11/12	14/11/12	15/11/12	18/11/12	19/11/12	
DBO ₅	mg/l	81,5%	99,3%	97,6%	70,5%	-----	87,2%
DQO	mg/l	72,3%	89,6%	90,3%	79,7%	73,0%	81,0%
Sólidos suspendidos	mg/l	0,0%	71,6%	63,8%	50,0%	23,5%	52,2%
Nitrógeno total	mg/l	43,6%	72,3%	54,2%	0,0%	16,7%	46,7%
Nitritos (NO ₂ ⁻)	mg/l	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
Nitratos (NO ₃ ⁻)	mg/l	88,7%	66,8%	76,3%	56,9%	97,5%	77,2%
Amonio (NH ₄ ⁺)	mg/l	43,1%	55,8%	90,5%	0,0%	0,0%	63,1%
Fosfatos (PO ₄ ⁻³)	mg/l	33,0%	2,5%	2,4%	22,8%	49,4%	22,0%
Fósforo total	mg/l	0,0%	1,3%	0,0%	0,0%	0,0%	1,3%
Sólidos totales	mg/l	28,7%	48,4%	51,3%	54,9%	20,0%	40,7%
Sólidos disueltos	mg/l	32,2%	23,0%	25,5%	27,9%	17,0%	25,1%
Turbiedad	UNT	47,7%	73,4%	47,4%	26,5%	30,5%	45,1%
Sólidos sedimentables	ml/l*h	90,0%	97,1%	98,3%	100,0%	92,0%	95,5%
Sulfatos	mg/l	44,5%	15,8%	0,0%	0,0%	0,0%	30,2%
Color aparente	Pt/Co	45,5%	68,3%	47,5%	34,2%	-----	48,9%

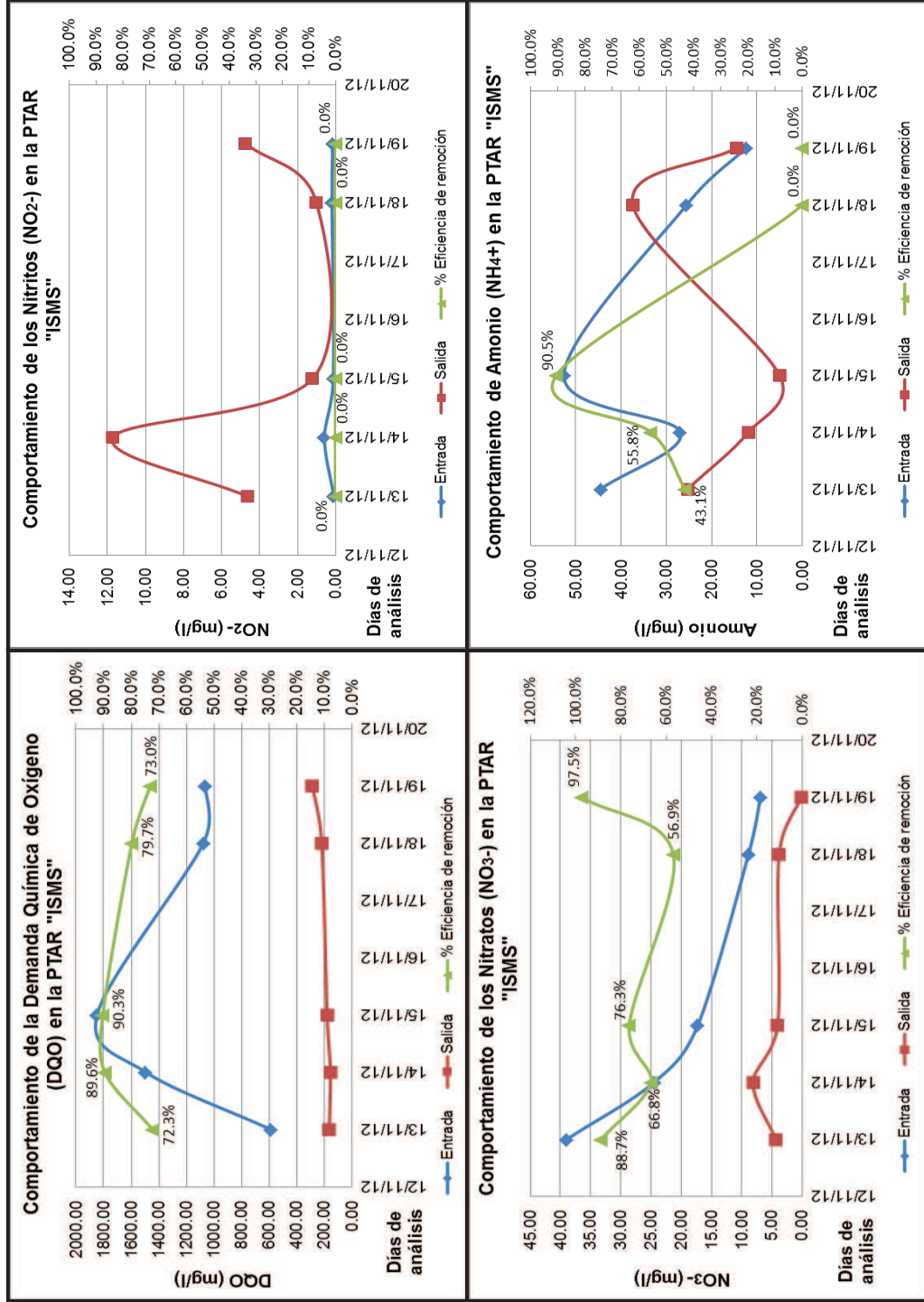
Fuente: elaboración propia.

Tabla XXXIX. **Valores puntuales promedio de los parámetros fisicoquímicos analizados en las diferentes unidades que conforman la PTAR 2**

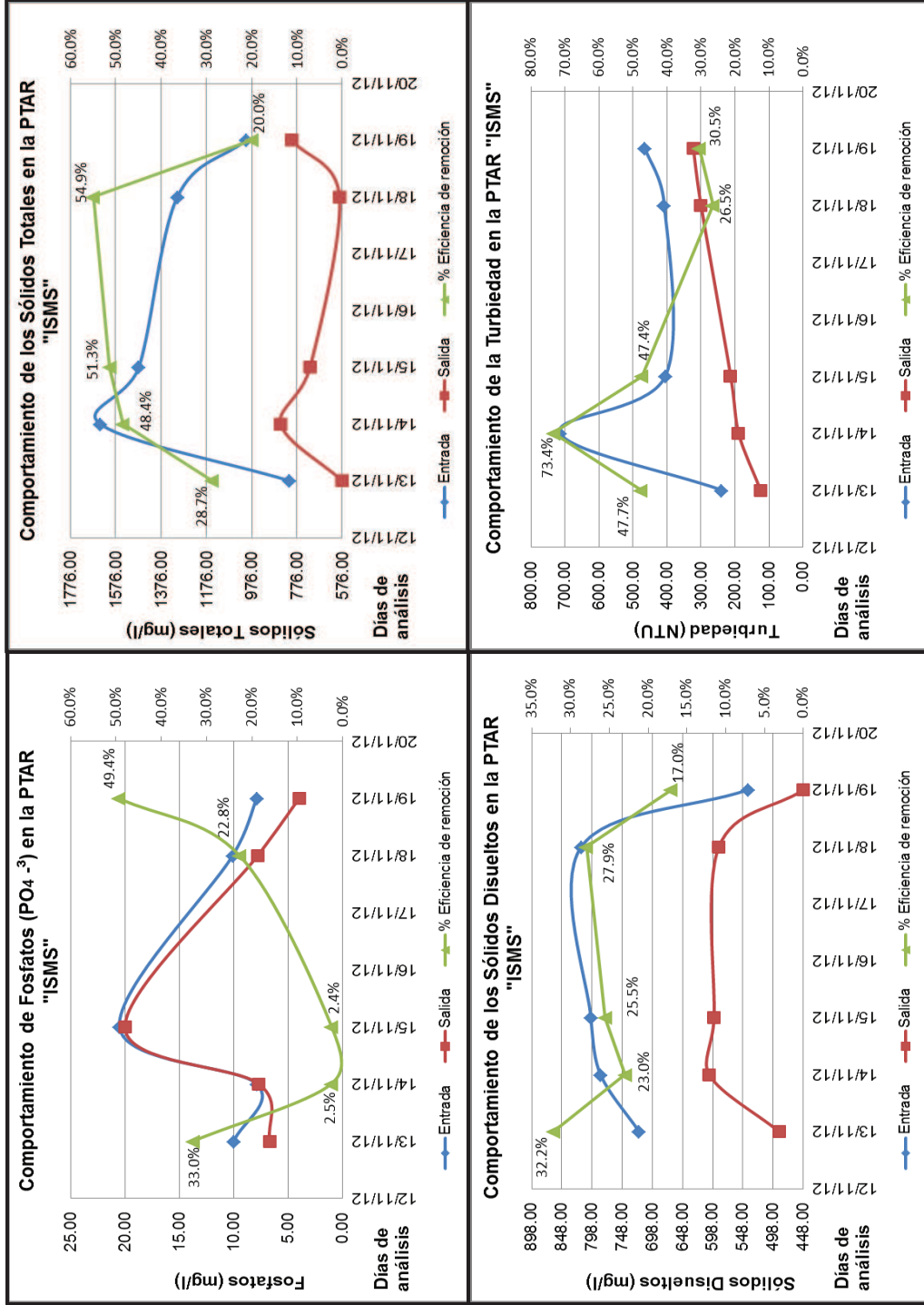
Parámetros	Unidad	Unidades que conforman la PTAR 2, 17/11/12				
		Cámara Anóxica	Zona de Aireación	Zona de Mezcla	Zona de Sedimentación	Cámara de Contacto
DQO	mg/l	537,00	289,00	367,00	271,00	266,00
Sólidos suspendidos	mg/l	556,00	4148,00	6124,00	472,00	452,00
Nitrógeno total	mg/l	68,00	50,80	54,00	50,80	46,00
Nitritos (NO_2^-)	mg/l	0,17	0,69	0,73	1,49	0,59
Nitratos (NO_3^-)	mg/l	5,54	3,78	3,96	4,05	3,61
Amonio (NH_4^+)	mg/l	29,20	20,70	26,00	21,60	18,20
Fosfatos	mg/l	22,50	9,70	9,60	8,30	6,30
Fósforo total	mg/l	21,30	20,70	21,20	21,60	18,70
Potencial de Hidrógeno	Unidades de pH	7,07	7,14	7,12	7,31	7,37
Sólidos totales	mg/l	1008,00	5360,00	6564,00	1076,00	860,00
Sólidos disueltos	mg/l	452,00	412,00	440,00	604,00	408,00
Turbiedad	UNT	759,00	800,00<	800,00<	324,00	294,00
Sólidos sedimentables	ml/l*h	3,00	165,00	250,00	5,00	1,00

Fuente: elaboración propia.

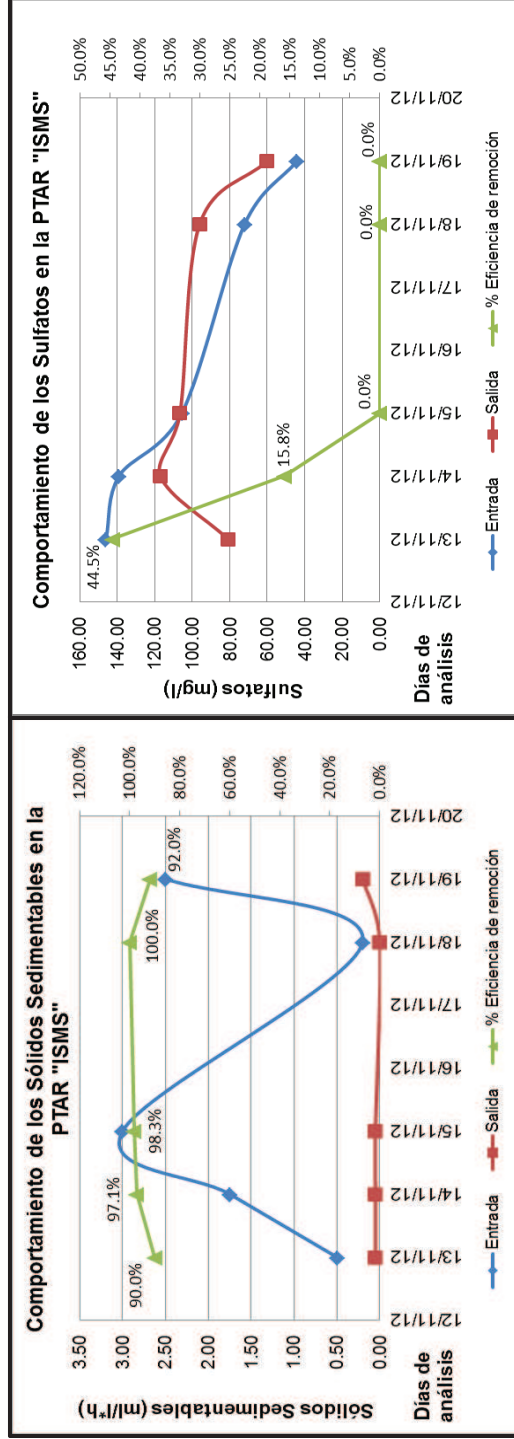
Figura 20. Curvas de parámetros fisicoquímicos y biológicos en la PTAR 2



Continuación de la figura 20.



Continuación de la figura 20.



Fuente: elaboración propia

7.6. Análisis físicos, químicos y biológicos de la PTAR 3

Tabla XL. **Entrada al proceso de lodos activados con aireación extendida, para la PTAR 3**

	Parámetros	Unidad	Días de análisis				Promedio
			12/01/13	14/01/13	16/01/13	18/01/13	
ENTRADA	DBO ₅	mg/l	716,00	375,00	476,00	674,00	560,25
	DQO	mg/l	1132,00	530,00	656,00	1257,00	893,75
	Sólidos suspendidos	mg/l	1980,00	408,00	604,00	1272,00	1066,00
	Nitrógeno total	mg/l	60,00	90,00	77,20	142,00	92,30
	Nitritos (NO ₂ ⁻)	mg/l	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02
	Nitratos (NO ₃ ⁻)	mg/l	23,72	20,81	8,05	30,23	20,70
	Amonio (NH ₄ ⁺)	mg/l	90,50	78,30	70,20	100,00	84,75
	Fosfatos (PO ₄ ⁻³)	mg/l	27,40	14,00	15,80	19,60	19,20
	Fósforo total	mg/l	20,00	11,40	11,10	23,10	16,40
	Potencial de Hidrógeno	Unidad de pH	7,22	8,20	8,05	7,99	7,87
	Sólidos totales	mg/l	2992,00	1348,00	1444,00	2244,00	2007,00
	Sólidos disueltos	mg/l	1012,00	940,00	840,00	972,00	941,00
	Turbiedad	UNT	481,50	440,00	523,00	800,00	561,13
	Sólidos sedimentables	ml/l*h	48,00	10,00	18,00	15,00	22,75
	Sulfatos	mg/l	100,00	190,00	245,00	232,00	191,75
	Color aparente	Unidad Pt/Co	3500,00	2748,00	3238,00	3500,00	3246,50
Carga orgánica	kg DBO ₅ /d	21,49	6,70	13,34	7,95	12,37	

Fuente: elaboración propia.

Tabla XLI. **Porcentaje del caudal de recirculación en la PTAR 3**

Tiempo (s)			Promedio (s)	Volumen (l)	Caudal (l/s)	Caudal de recirculación (l/d)	Caudal medio (l/d)	%
12,25	12,55	12,10	12,30	18,93	1,54	22158,51	21927,44	101,05

Fuente: elaboración propia.

Tabla XLII. **Salida del proceso de lodos activados con aireación extendida, para la PTAR 3**

Parámetros	Unidad	Días de análisis				Promedio	Cumplimiento con el Acuerdo Gubernativo 236-2006
		12/01/13	14/01/13	16/01/13	18/01/13		
DBO ₅	mg/l	112,00	104,00	99,00	68,00	95,75	Cumple
DQO	mg/l	129,00	129,00	127,00	99,00	121,00	
Sólidos suspendidos	mg/l	276,00	312,00	176,00	172,00	234,00	No cumple
Nitrógeno total	mg/l	19,60	40,40	12,40	14,80	21,80	No cumple
Nitritos (NO ₂ ⁻)	mg/l	6,57	8,00	0,83	5,97	5,34	
Nitratos (NO ₃ ⁻)	mg/l	18,35	4,84	23,14	16,02	15,59	
Amonio (NH ₄ ⁺)	mg/l	1,53	1,07	1,20	0,44	1,06	
Fosfatos (PO ₄ ⁻³)	mg/l	13,90	10,30	27,50	24,00	18,93	
Fósforo total	mg/l	11,60	12,30	11,20	11,20	11,58	No cumple
Potencial de Hidrógeno	Unidad de pH	7,31	7,58	7,60	7,56	7,51	Cumple
Sólidos totales	mg/l	1096,00	1080,00	900,00	1012,0	1022,00	
Sólidos disueltos	mg/l	820,00	768,00	724,00	840,00	788,00	
Turbiedad	UNT	67,00	73,00	49,00	41,00	57,50	
Sólidos sedimentables	ml/l*h	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
Sulfatos	mg/l	200,00	180,00	249,00	211,00	210,00	
Color aparente	Unidad Pt/Co	416,00	449,00	316,00	277,00	364,50	Cumple

Fuente: elaboración propia.

Tabla XLIII. **Eficiencia de remoción de contaminantes en la PTAR 3**

Parámetros	Unidad	Días de análisis				Promedio
		12/01/13	14/01/13	16/01/13	18/01/13	
DBO ₅	mg/l	84,4%	72,3%	79,2%	89,9%	81,4%
DQO	mg/l	88,6%	75,7%	80,6%	92,1%	84,3%
Sólidos suspendidos	mg/l	86,1%	23,5%	70,9%	86,5%	66,7%
Nitrógeno total	mg/l	67,3%	55,1%	83,9%	89,6%	74,0%
Nitritos (NO ₂ ⁻)	mg/l	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
Nitratos (NO ₃ ⁻)	mg/l	22,6%	76,7%	0,0%	47,0%	48,8%
Amonio (NH ₄ ⁺)	mg/l	98,3%	98,6%	98,3%	99,6%	98,7%
Fosfatos (PO ₄ ⁻³)	mg/l	49,3%	26,4%	0,0%	0,0%	37,8%
Fósforo total	mg/l	42,0%	0,0%	0,0%	51,5%	46,8%
Sólidos totales	mg/l	63,4%	19,9%	37,7%	54,9%	44,0%
Sólidos disueltos	mg/l	19,0%	18,3%	13,8%	13,6%	16,2%
Turbiedad	UNT	86,1%	83,4%	90,6%	94,9%	88,8%
Sólidos sedimentables	ml/l*h	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%
Sulfatos	mg/l	0,0%	5,3%	0,0%	9,1%	7,2%
Color aparente	Pt/Co	88,1%	83,7%	90,2%	92,1%	87,9%

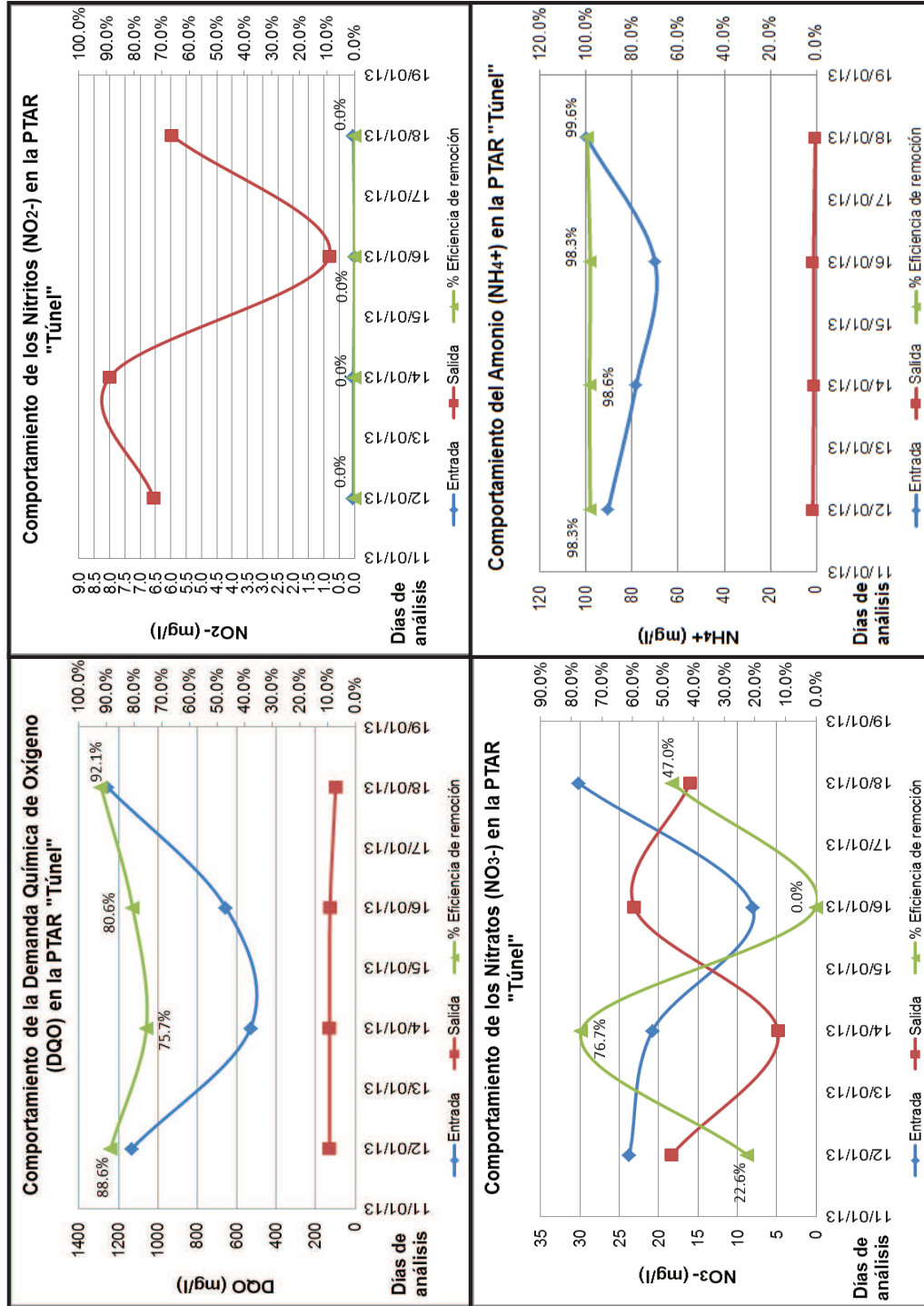
Fuente: elaboración propia.

Tabla XLIV. **Valores puntuales promedio de los parámetros fisicoquímicos analizados en las diferentes unidades que conforman la PTAR 3**

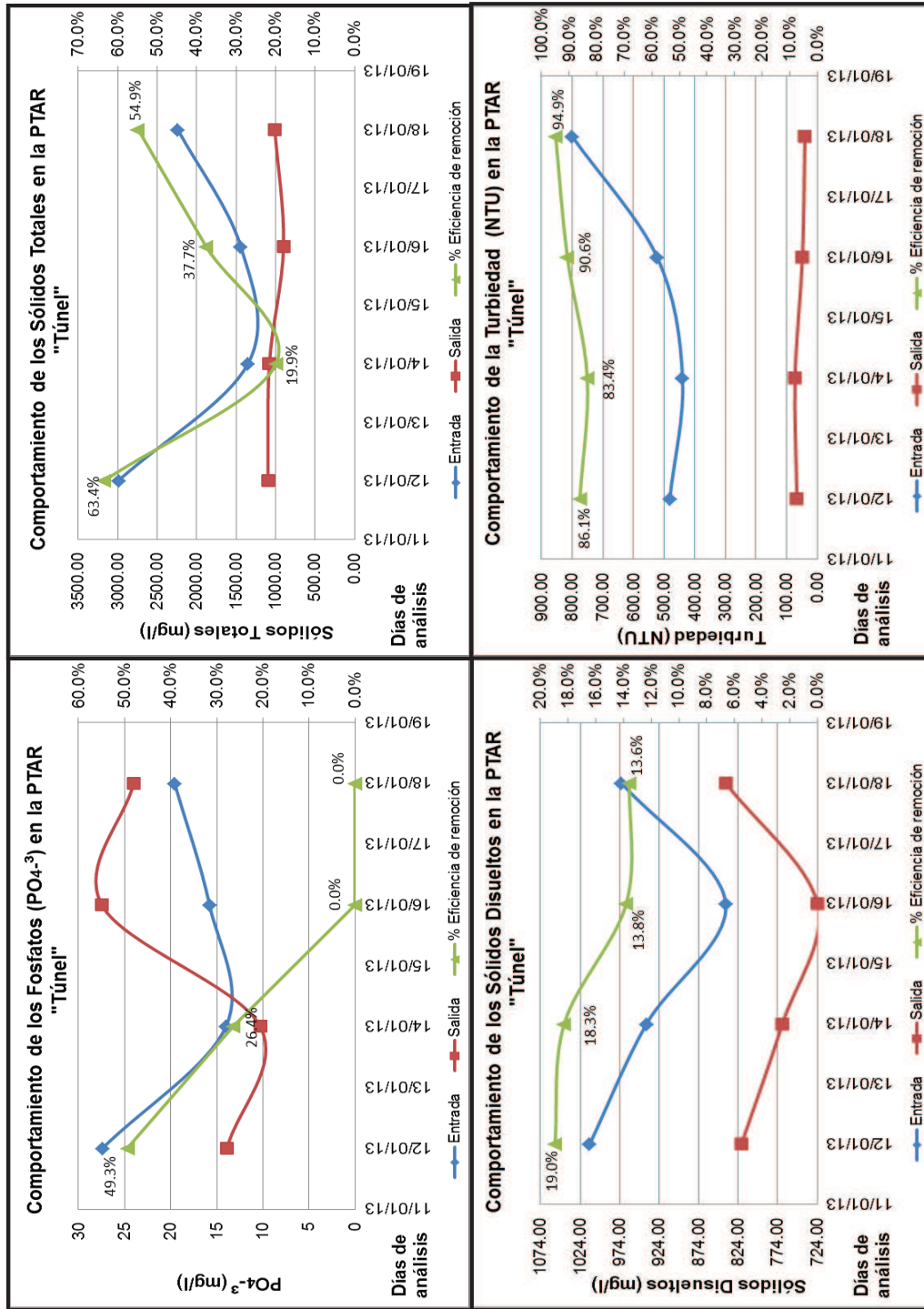
Parámetros	Unidad	Unidades que conforman la PTAR 3, 20/01/2013				
		Cámara Anóxica	Cámara Aireación 1	Cámara Aireación 2	Cámara decantación 1	Cámara decantación 2
DQO	mg/l	189,00	122,00	141,00	165,00	119,00
Sólidos suspendidos	mg/l	1632,00	976,00	1148,00	5272,00	1284,00
Nitrógeno total	mg/l	24,40	19,60	20,40	22,00	23,20
Nitritos (NO ₂ ⁻)	mg/l	1,52	1,65	1,72	1,29	1,75
Nitratos (NO ₃ ⁻)	mg/l	8,67	15,05	9,94	8,71	13,60
Amonio (NH ₄ ⁺)	mg/l	13,90	2,45	5,43	6,51	3,75
Fosfatos	mg/l	15,70	10,00	11,10	17,20	10,10
Fósforo total	mg/l	13,80	12,00	12,60	15,70	13,20
Potencial de Hidrógeno	Unidades de pH	7,33	7,18	7,16	7,08	7,21
Sólidos totales	mg/l	2480,00	1800,00	1968,00	6104,00	2084,00
Sólidos disueltos	mg/l	848,00	824,00	820,00	832,00	800,00
Turbiedad	UNT	800,00<	800,00<	800,00<	800,00<	800,00<
Sólidos sedimentables	ml/l*h	71,00	58,00	49,00	290,00	64,00

Fuente: elaboración propia.

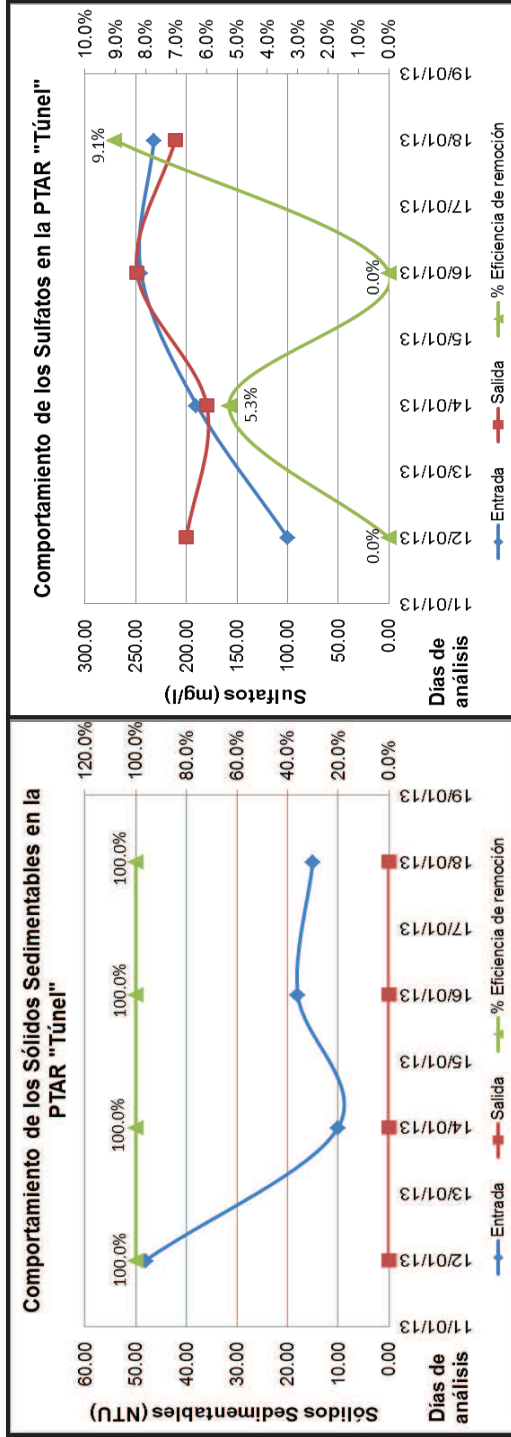
Figura 21. Curvas de parámetros fisicoquímicos y biológicos en la PTAR 3



Continuación de la figura 21.



Continuación de la figura 21.



Fuente: elaboración propia

8. Resultados

8.1. Caudales característicos y curvas, de la entrada y salida de las tres plantas de tratamiento de agua residual doméstica

Tabla XLV. Caudales característicos de la PTAR 1

Caudales característicos PTAR 1 o planta "Durman"					
Entrada			Salida		
Renglón	Unidad	Valor	Renglón	Unidad	Valor
Caudal medio	l/s	1,35	Caudal medio	l/s	1,41
Caudal máximo	l/s	8,84	Caudal máximo	l/s	2,28
Caudal mínimo	l/s	0,36	Caudal mínimo	l/s	0,87
Volumen diario	m ³	118,71	Volumen diario	m ³	121,55

Fuente: elaboración propia.

Tabla XLVI. Caudales característicos de la PTAR 2

Caudales característicos PTAR 2 o planta "ISMS"					
Entrada			Salida		
Renglón	Unidad	Valor	Renglón	Unidad	Valor
Caudal medio	l/s	0,21	Caudal medio	l/s	0,27
Caudal máximo	l/s	0,72	Caudal máximo	l/s	2,31
Caudal mínimo	l/s	0,03	Caudal mínimo	l/s	0,00
Volumen diario	m ³	18,28	Volumen diario	m ³	23,00

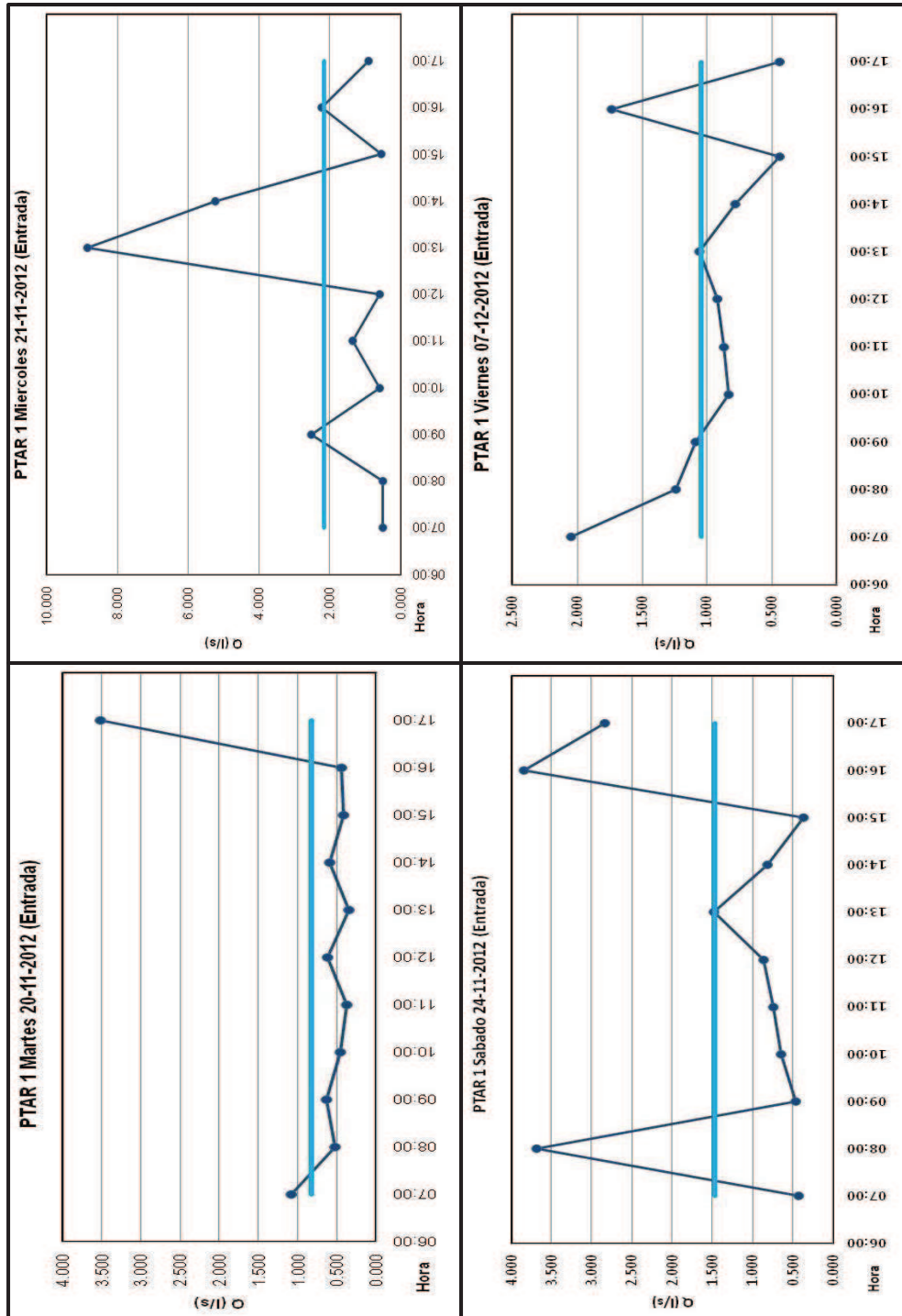
Fuente: elaboración propia.

Tabla XLVII. Caudales característicos de la PTAR 3

Caudales característicos PTAR 3 o planta "Túnel"					
Entrada			Salida		
Renglón	Unidad	Valor	Renglón	Unidad	Valor
Caudal medio	l/s	0,25	Caudal medio	l/s	0,18
Caudal máximo	l/s	1,19	Caudal máximo	l/s	0,39
Caudal mínimo	l/s	0,03	Caudal mínimo	l/s	0,00
Volumen diario	m ³	21,60	Volumen diario	m ³	15,33

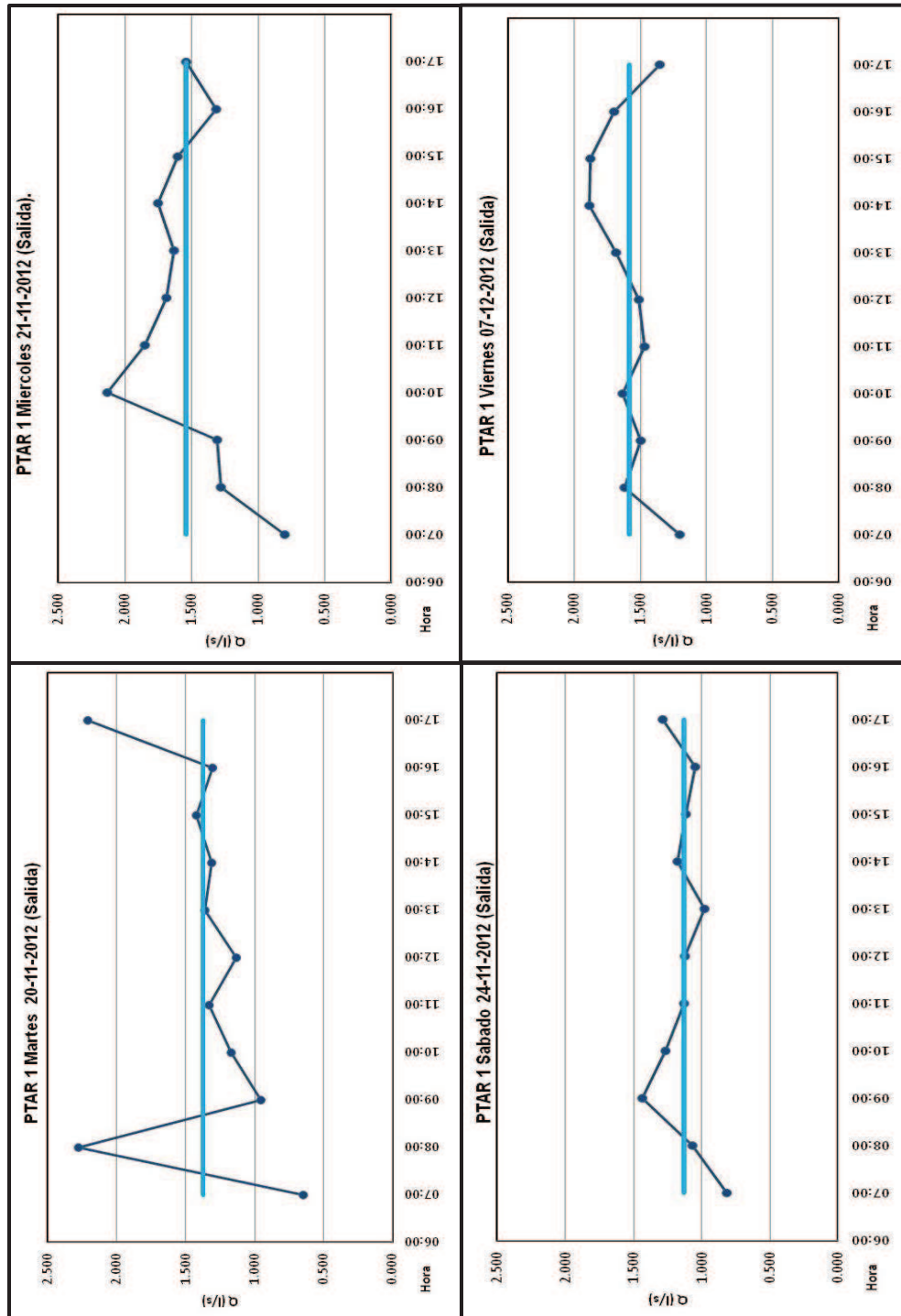
Fuente: elaboración propia.

Figura 22. Curvas de caudal de entrada en la PTAR 1



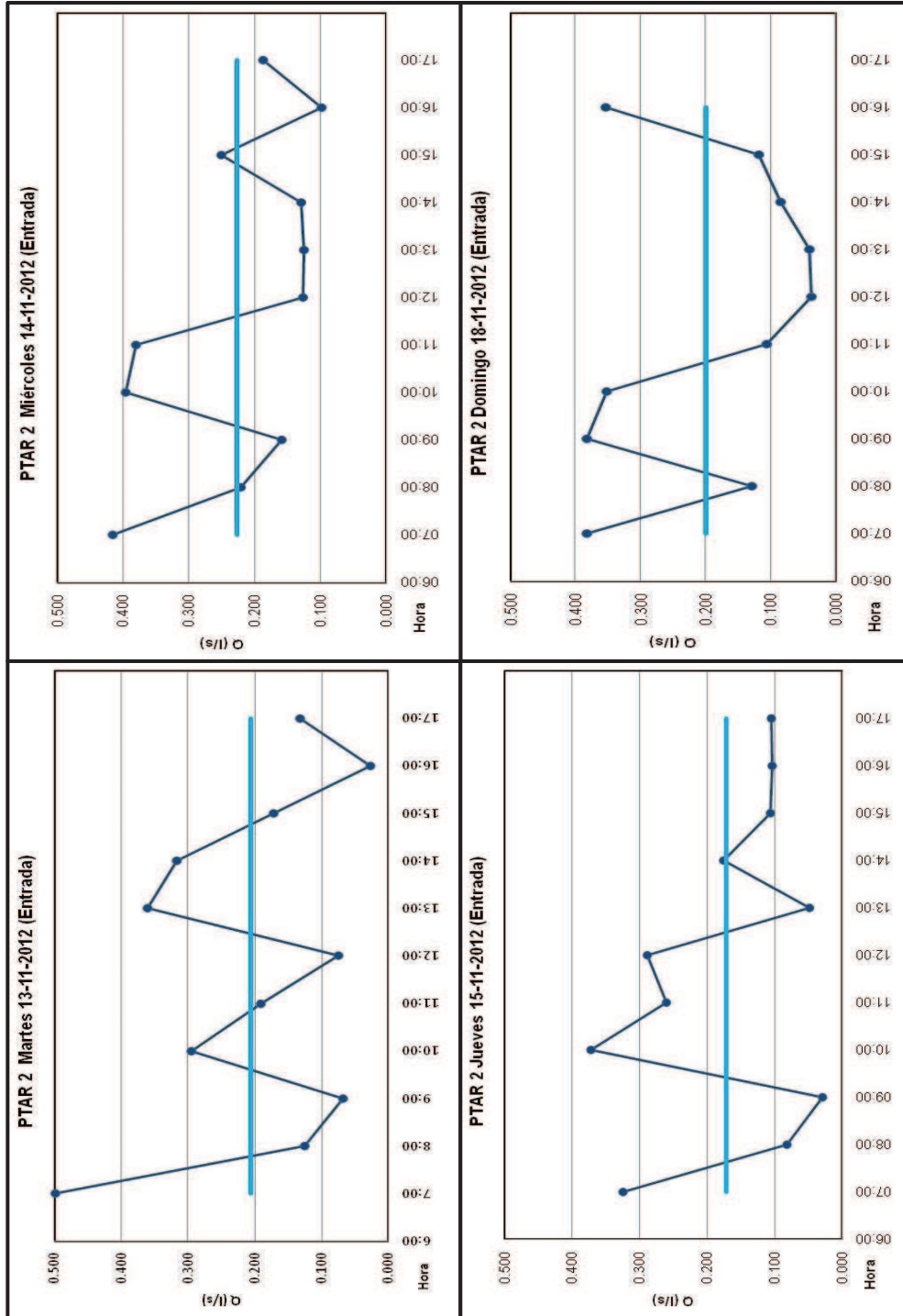
Fuente: elaboración propia.

Figura 23. Curvas de caudal de salida en la PTAR 1



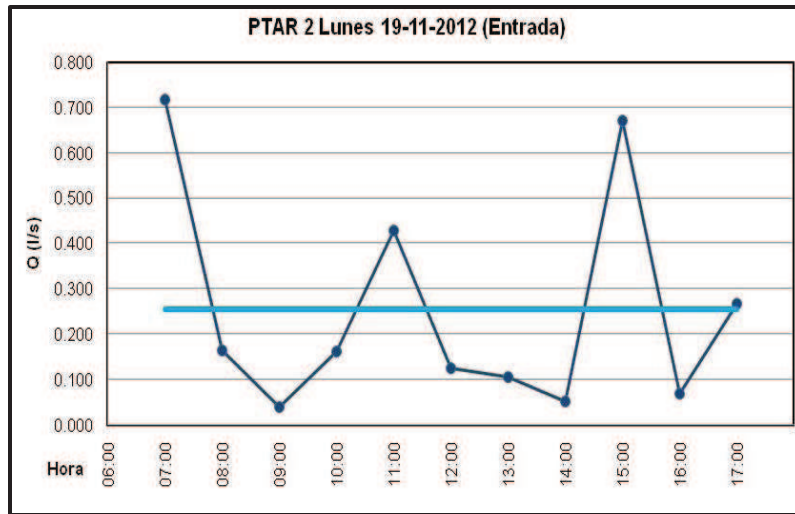
Fuente: elaboración propia.

Figura 24. Curvas de caudal de entrada en la PTAR 2



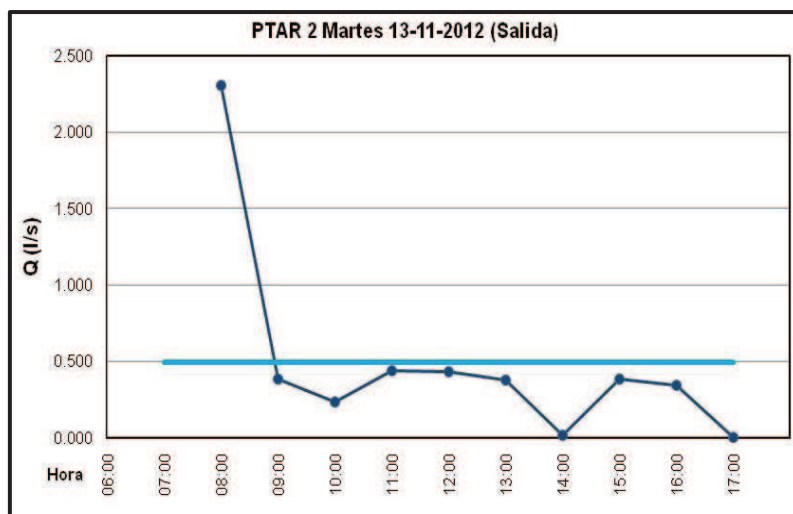
Fuente: elaboración propia.

Figura 25. Curva de caudal de entrada en la PTAR 2



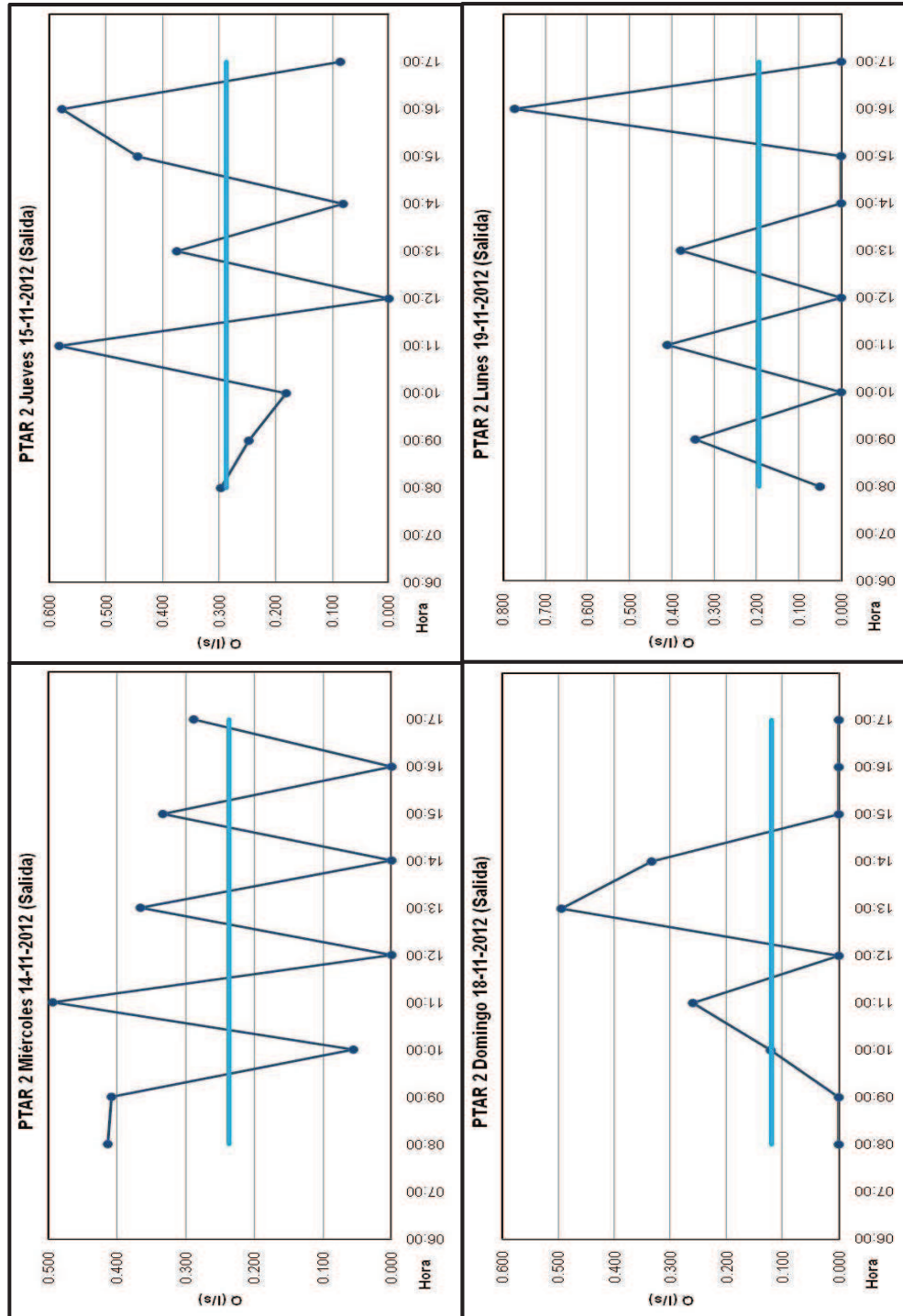
Fuente: elaboración propia.

Figura 26. Curva de caudal de salida en la PTAR 2



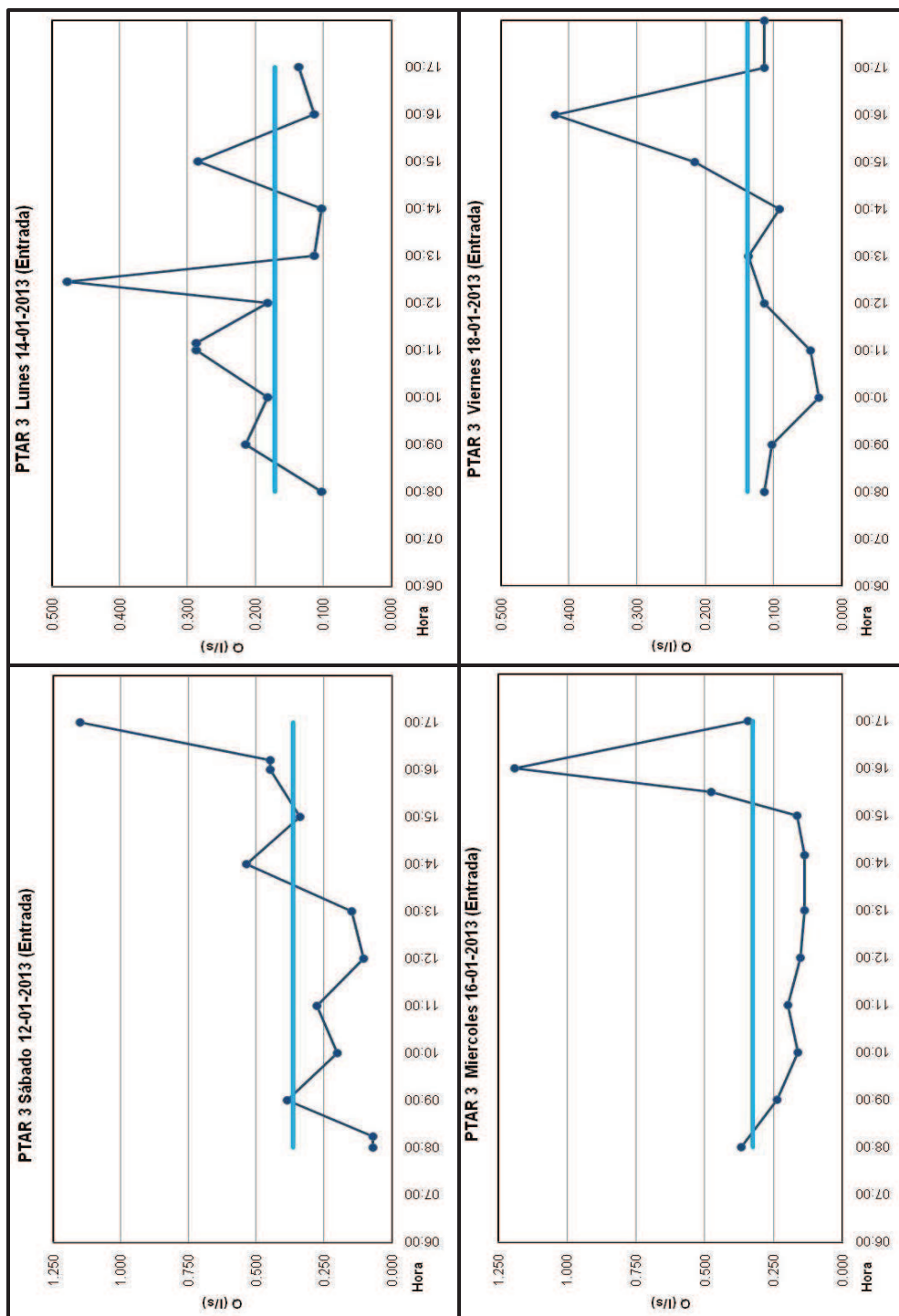
Fuente: elaboración propia.

Figura 27. Curvas de caudal de salida en la PTAR 2



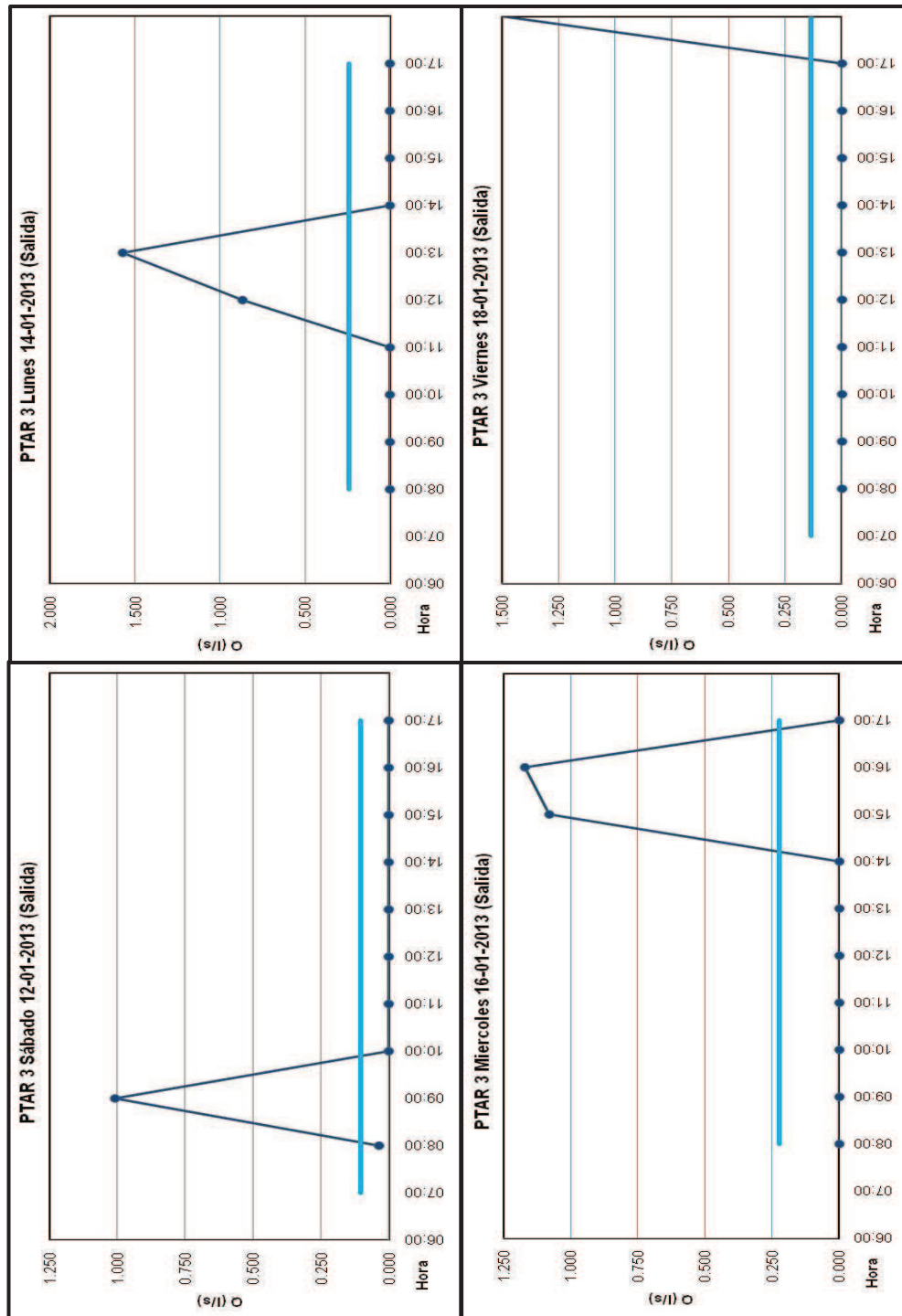
Fuente: elaboración propia.

Figura 28. Curvas de caudal de entrada en la PTAR 3



Fuente: elaboración propia.

Figura 29. Curvas de caudal de salida en la PTAR 3



Fuente: elaboración propia.

8.2. Caracterización de las aguas residuales domésticas por medio de sus parámetros físicos, químicos y biológicos más representativos

En las tablas siguientes se dan a conocer los parámetros físicos, químicos y biológicos representativos de cada PTAR.

8.2.1. Análisis físicos, químicos y biológicos de la PTAR 1, 2 y 3

Tabla XLVIII. Valores promedio de los parámetros fisicoquímicos y biológicos más representativos y su dictamen con respecto al cumplimiento del Acuerdo Gubernativo 236-2006, para la PTAR 1

PTAR "DURMAN"	Parámetros	Unidad	Entrada	Salida	Eficiencia de remoción	Cumplimiento con el Acuerdo Gubernativo 236-2006
	DBO ₅	mg/l	598,25	169,50	72,30%	Cumple
	Sólidos suspendidos	mg/l	545,00	315,00	42,30%	No cumple
	Nitrógeno total	mg/l	54,10	42,10	29,80%	No cumple
	Fósforo total	mg/l	8,93	5,30	40,80%	Cumple
	Potencial de Hidrógeno	Unidades de pH	7,24	7,65	-----	Cumple
	Color Aparente	Unidades Pt/Co	85,33	47,67	43,20%	Cumple

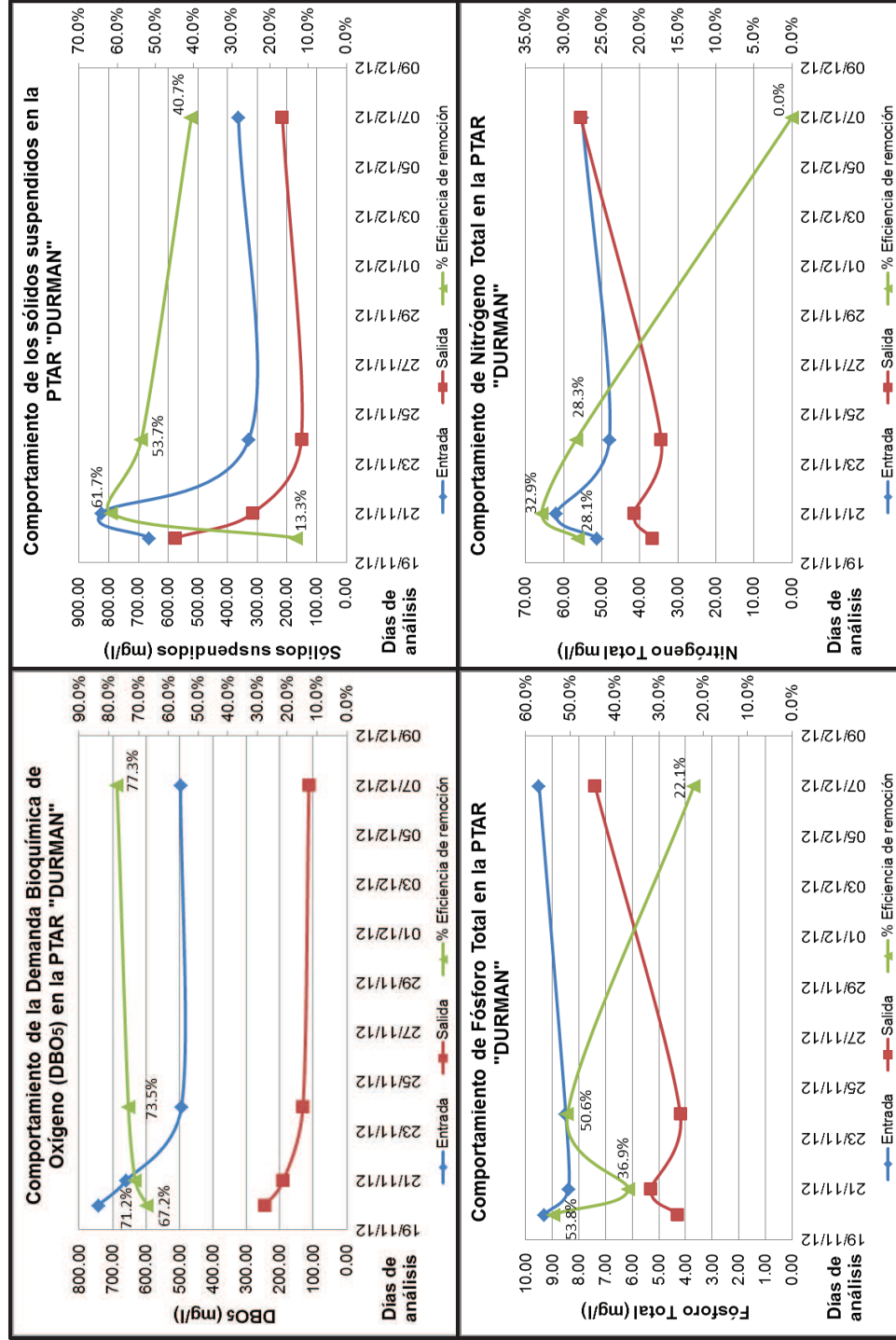
Fuente: elaboración propia.

Tabla XLIX. **Valores promedio de los parámetros de diseño biológico en la PTAR 1**

Parámetros	Unidad	Valor	Valor teórico	Cumplimiento	
				Sí	No
Carga orgánica	kg DBO ₅ /d	70,13			
Carga volúmica	kg DBO ₅ /m ³ *d	0,70	0,16-0,40		X
Relación DBO ₅ /DQO	Adimensional	0,66			
SSLM	mg/l	3000,00	3000-6000	X	
SSVLM	mg/l	2300,00			
Índice volumétrico de lodos (IVL)	ml/g	83,33	< 125	X	
Relación A/M	kg DBO ₅ /kg SSVLM*d	0,31	0,05-0,15		X
Tiempo medio de retención celular	d	0,16	20-30		X
Recirculación de lodos	%	401,76	50-150		X
Tiempo de retención hidráulica	h	20,22	18-36	X	
Volumen sedimentado en 30 min	ml	250,00			

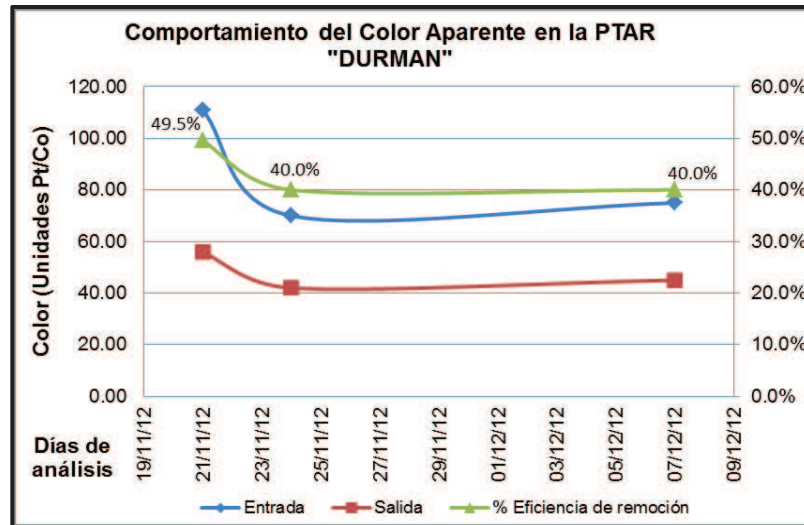
Fuente: elaboración propia.

Figura 30. Curvas de los parámetros fisicoquímicos y biológicos comparados con el Acuerdo en la PTAR 1



Fuente: elaboración propia.

Figura 31. **Curva de parámetro físico “color aparente” comparado con el Acuerdo Gubernativo 236-2006 en la PTAR 1**



Fuente: elaboración propia.

Tabla L. **Valores promedio de los parámetros fisicoquímicos y biológicos más representativos y su dictamen con respecto al cumplimiento del Acuerdo Gubernativo 236-2006, para la PTAR 2**

PTAR "ISMS"	Parámetros	Unidad	Entrada	Salida	Eficiencia de remoción	Cumplimiento con el Acuerdo Gubernativo 236-2006
	DBO ₅	mg/l	578,40	63,90	87,20%	Cumple
	Sólidos suspendidos	mg/l	514,00	271,00	52,20%	No cumple
	Nitrógeno total	mg/l	62,32	37,00	46,70%	No cumple
	Fósforo total	mg/l	10,16	16,90	0,00%	No cumple
	Potencial de Hidrógeno	Unidades de pH	7,41	7,50	-----	Cumple
Color aparente	Unidades Pt/Co	2768,60	1347,80	48,90%	No cumple	

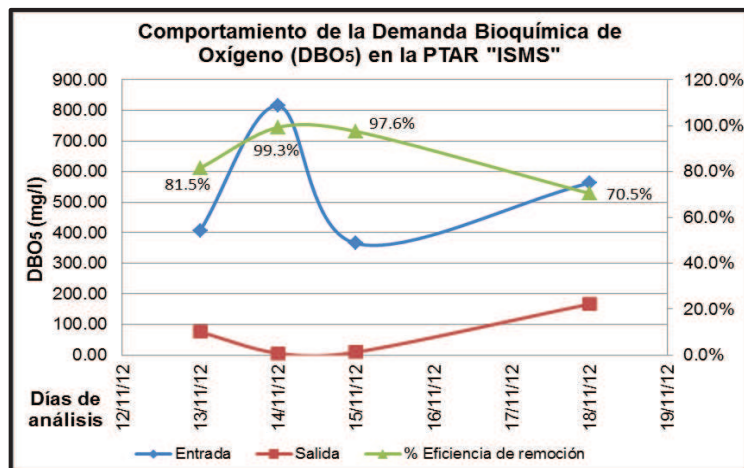
Fuente: elaboración propia.

Tabla XLI. **Valores promedio de los parámetros de diseño biológico en la PTAR 2**

Parámetros	Unidad	Valor	Valor teórico	Cumplimiento	
				Si	No
Carga orgánica	kg DBO ₅ /d	10,92			
Carga volúmica	kg DBO ₅ /m ³ *d	0,17	0,16-0,40	X	
Relación DBO ₅ /DQO	Adimensional	0,48			
SSLM	mg/l	4148	3000-6000	X	
SSVLM	mg/l	3920,00			
Índice volumétrico de lodos (IVL)	ml/g	132,59	< 125		X
Relación A/M	kg DBO ₅ /kg SSVLM*d	0,05	0,05-0,15	X	
Tiempo medio de retención celular	d	4,41	20-30		X
Recirculación de lodos	%	96,07	50-150	X	
Tiempo de retención hidráulica	h	84,05	18-36		X
Volumen sedimentado en 30 minutos	ml	550,00			

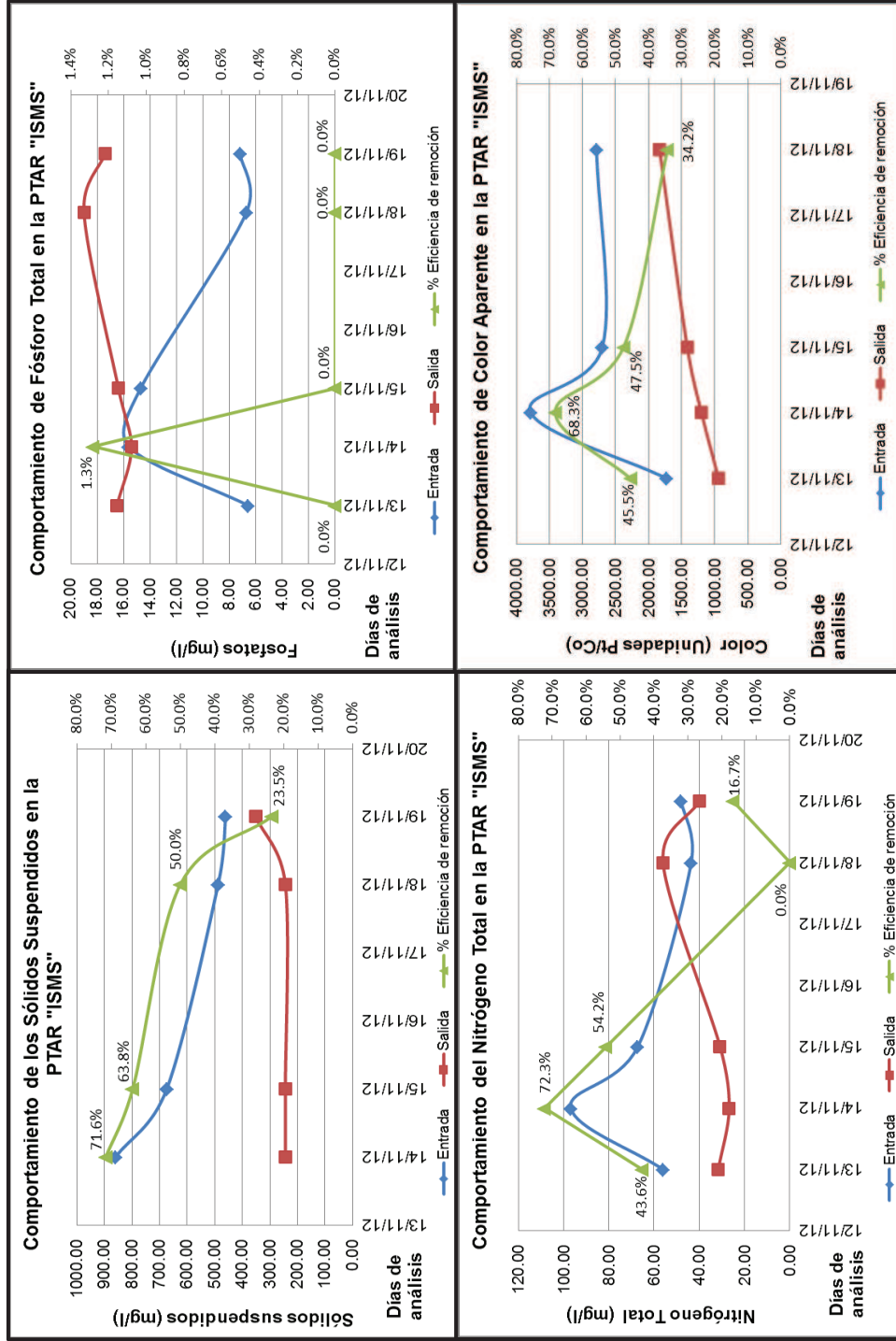
Fuente: elaboración propia.

Figura 32. **Curva de parámetro biológico “DBO₅” comparado con el Acuerdo Gubernativo 236-2006 en la PTAR 2**



Fuente: elaboración propia.

Figura 33. Curvas de parámetros fisicoquímicos y biológicos comparados con el Acuerdo en la PTAR 2



Fuente: elaboración propia.

Tabla LII. Valores promedio de los parámetros fisicoquímicos y biológicos más representativos y su dictamen con respecto al cumplimiento del Acuerdo Gubernativo 236-2006, para la PTAR 3

	Parámetros	Unidad	Entrada	Salida	Eficiencia de remoción	Cumplimiento con el Acuerdo Gubernativo 236-2006
PTAR "TÚNEL"	DBO ₅	mg/l	560,25	95,75	81,40%	Cumple
	Sólidos suspendidos	mg/l	1066,00	234,00	66,70%	No cumple
	Nitrógeno total	mg/l	92,30	21,80	74,00%	No cumple
	Fósforo total	mg/l	16,40	11,58	46,80%	No Cumple
	Potencial de Hidrógeno	Unidades de pH	7,87	7,51	-----	Cumple
	Color aparente	Unidades Pt/Co	3246,50	364,50	87,90%	Cumple

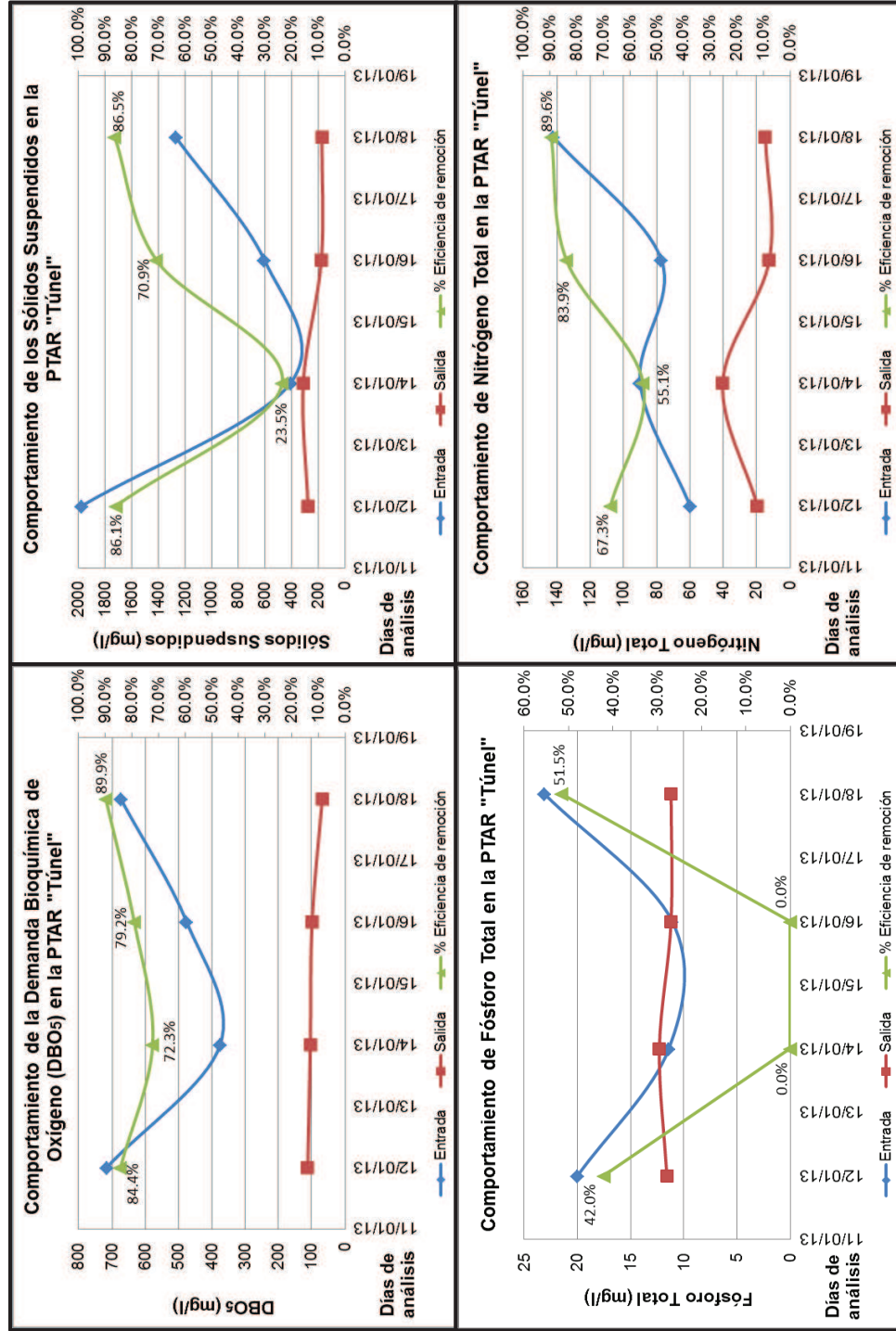
Fuente: elaboración propia.

Tabla LIII. Valores promedio de los parámetros de diseño biológico en la PTAR 3

Parámetros	Unidad	Valor	Valor teórico	Cumplimiento	
				Sí	No
Carga orgánica	kg DBO ₅ /d	12,37			
Carga volúmica	kg DBO ₅ /m ³ *d	0,19	0,16-0,40	X	
Relación DBO ₅ /DQO	Adimensional	0,63			
SSLM	mg/l	1505,00	3000-6000		X
SSVLM	mg/l	1197,50			
Índice volumétrico de lodos (IVL)	ml/g	79,73	< 125	X	
Relación A/M	kg DBO ₅ /kg SSVLM*d	0,15	0,05-0,15	X	
Tiempo medio de retención celular	d	3,29	20-30		X
Recirculación de lodos	%	101,05	50-150	X	
Tiempo de retención hidráulica	h	70,05	18-36		X
Volumen sedimentado en 30 minutos	ml	120,00			

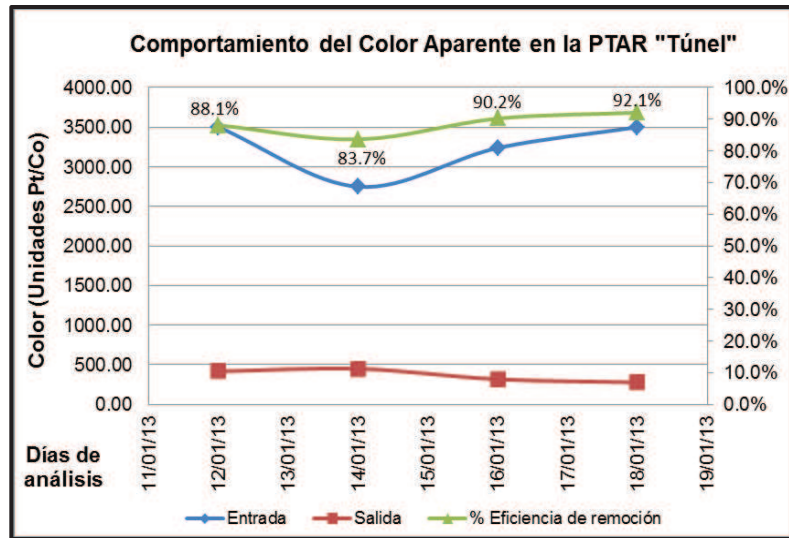
Fuente: elaboración propia.

Figura 34. Curvas de parámetros fisicoquímicos y biológicos comparados con el Acuerdo en la PTAR 3



Fuente: elaboración propia.

Figura 35. Curva de parámetro físico “color aparente” comparado con el Acuerdo Gubernativo 236-2006 en la PTAR 3



Fuente: elaboración propia.

8.3. Evaluación del funcionamiento de las unidades de tratamiento de las plantas de tratamiento de agua residual doméstica

Tabla LIV. Evaluación del funcionamiento de las unidades de tratamiento de la PTAR 1

	Unidades de tratamiento	Cumplimiento		Observaciones
		Sí	No	
PTAR "DURMAN"	Tratamiento preliminar			
	Canal de rejas	X		La estructura del canal está deteriorada; carece de piezas, debido a la oxidación del metal.
	Desarenador	X		
	Trampa de grasas	X		
	Tanque homogeneizador		X	En esta planta se dispone de un tanque de 6 m ³ , que compensa el caudal del afluente, pero no cuenta con un sistema de homogeneización para reducir la variabilidad de la carga orgánica.
	Tratamiento primario			
	Contactador anóxico	X		Se determinó que la finalidad de este es amortiguar el afluente, y no reducir los nitratos a nitrógeno gaseoso.
	Tratamiento secundario			
	Lodos activados con aireación extendida		X	Debido al exceso de la carga orgánica y caudal que ingresa a la planta, para la cual fue diseñada.
	Sedimentador		X	Se evaluaron las dimensiones de este y se verificó que está diseñado para tratar 100 m ³ /d. Su estructura está oxidada.
	Tratamiento de lodos			
	Patio de secado	X		
	Gestión administrativa			
	Manual de operación y mantenimiento		X	No cuenta con manual la planta de tratamiento.
	Mantenimiento preventivo		X	No hay.
Mantenimiento correctivo	X			

Fuente: elaboración propia.

Tabla LV. **Evaluación del funcionamiento de las unidades de tratamiento de la PTAR 2**

	Unidades de tratamiento	Cumplimiento		Observaciones
		Sí	No	
PTAR "ISMS"	Tratamiento preliminar			
	Canal de rejas		X	El canal es pequeño para el caudal de diseño de la planta. No cuenta con una pendiente adecuada, por lo que la velocidad del afluente es muy baja.
	Desarenador		X	No cuenta con esta unidad.
	Trampa de grasas		X	No cuenta con esta unidad.
	Tanque homogeneizador		X	No cuenta con sistema de homogeneización para reducir la variabilidad de la carga orgánica.
	Tratamiento primario			
	Contactador anóxico		X	Es deficiente en la desnitrificación, porque el caudal de recirculación < 300 %.
	Tratamiento secundario			
	Lodos activados con aireación extendida		X	El oxígeno disuelto en la cámara de aireación es menor de 1 mg/l, a pesar de que se excede el tiempo de retención hidráulico por 48 horas.
	Sedimentador		X	Este tipo de unidad no debe contener equipo de bombeo en su interior y la geometría del tanque provoca cortocircuito y espacio muerto en el caudal del agua.
	Tratamiento de lodos			
	Patio de secado		X	La estructura no es la adecuada para la disposición y deshidratación de los lodos, y las dimensiones del patio no son las correctas para tratar un caudal de 75 m ³ /día.
	Gestión administrativa			
	Manual de operación y mantenimiento		X	Sí hay manual, pero no se cumple con lo que indica, y tiene varias inconsistencias.
	Mantenimiento preventivo		X	
	Mantenimiento correctivo	X		

Fuente: elaboración propia.

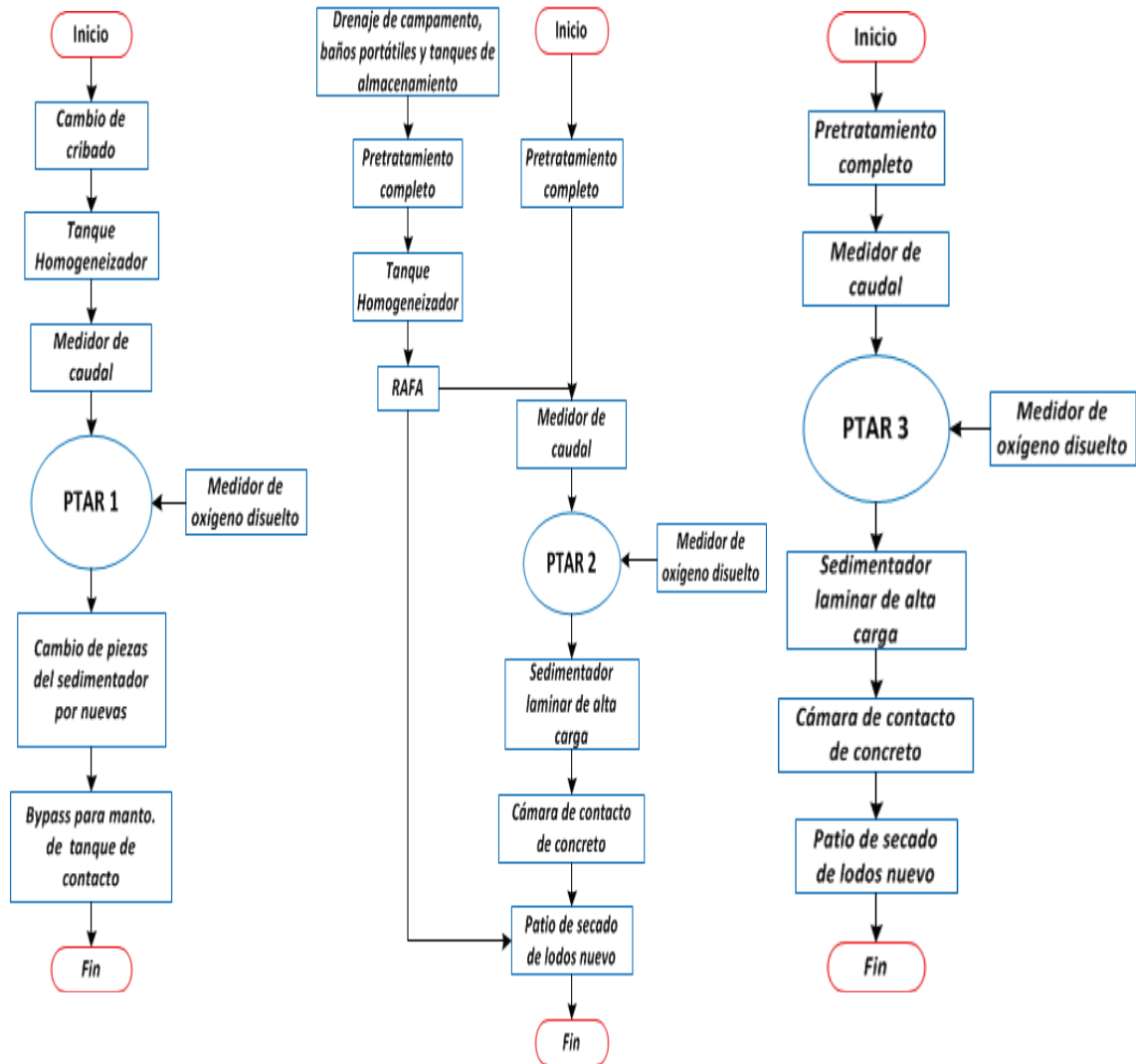
Tabla LVI. **Evaluación del funcionamiento de las unidades de tratamiento de la PTAR 3**

	Unidades de tratamiento	Cumplimiento		Observaciones
		Sí	No	
PTAR "TÚNEL"	Tratamiento preliminar			
	Canal de rejas		X	El canal es muy ancho para el caudal que recibe, la pendiente no es la adecuada y la separación entre las rejas es muy pequeña.
	Desarenador		X	No cuenta con esta unidad.
	Trampa de grasas		X	No cuenta con esta unidad.
	Tanque homogeneizador	X		No posee un sistema de homogeneización para amortiguar la variabilidad de la carga orgánica.
	Tratamiento primario			
	Contactador anóxico		X	Es deficiente en la etapa de desnitrificación, debido a que el caudal de recirculación de nitratos es inferior del 300 %.
	Tratamiento secundario			
	Lodos activados con aireación extendida	X		La mayoría de los valores de los parámetros de diseño biológico analizados están dentro del rango recomendado por Metcalf & Eddy.
	Sedimentador		X	La tubería de agua que se encuentra en el fondo del sedimentador no recolecta lodos adecuadamente.
	Tratamiento de lodos			
	Patio de secado		X	De la misma forma que en la PTAR 2, la estructura y las dimensiones del patio no son las correctas para tratar un caudal de 75 m ³ /día.
	Gestión administrativa			
	Manual de operación y mantenimiento		X	Sí hay manual, pero no se cumple con lo que indica, y tiene varias inconsistencias.
	Mantenimiento preventivo		X	
	Mantenimiento correctivo	X		

Fuente: elaboración propia.

8.4. Propuesta de mejoras a los tratamientos actuales.

Figura 36. Diagrama de propuesta de mejoras seleccionada



Fuente: elaboración propia.

8.5. Evaluación de la reutilización de las aguas residuales domésticas

Las tres plantas de tratamiento de agua residual doméstica, vierten el efluente por diversas tuberías y canales hacia la laguna artificial; según el estudio realizado, por el momento no es posible utilizar el agua tratada por las plantas de tratamiento de agua residual doméstica para riego, por las siguientes razones:

- Debido a las condiciones actuales del efluente de las plantas de tratamiento, no se está aplicando cloro en el proceso de mejorar la calidad del agua, por lo que esta contiene grandes cantidades de coliformes, y no se cumplen los parámetros exigidos por la normativa 236-2006, para ser utilizada con fines de riego tipo I y tipo III.
- Dentro de las instalaciones de la empresa se tienen diversas áreas verdes utilizadas para alimento de ganado; dichas áreas por ningún motivo pueden ser regadas por medio de agua residual tratada. La empresa Montana Exploradora de Guatemala riega sus caminos de terracería en verano y días soleados, para impedir que partículas sólidas se adhieran al pavimento, y así evitar problemas respiratorios y visuales de los trabajadores.
- La empresa da en subcontrato este servicio de riego, a diversas empresas de transporte pesado, utilizando el agua de ríos; en un futuro se podrá utilizar el efluente de las plantas de tratamiento de agua residual doméstica, para regar estos caminos de terracería; sin embargo, la inversión inicial en tanques de almacenamiento y la adquisición de transporte propio por parte de la empresa, hacen poco factible este proyecto.

8.6. Análisis fisicoquímicos y biológicos del agua residual de los tanques de almacenamiento, y lodos de los baños portátiles

Tabla LVII. Valores puntuales promedio de los parámetros fisicoquímicos y biológicos analizados del agua residual en los tanques de almacenamiento

Parámetros	Unidad	Días de análisis 26/11/12 y 17/03/13			
		Vivero	Hergo	Emo	Garita
DQO	mg/l	1198,00	1104,00	664,00	916,00
DBO ₅	mg/l	689,00	695,00	301,00	646,00
Nitrógeno total	mg/l	318,00	166,00	140,00	346,00
Nitritos (NO ₂ ⁻)	mg/l	0,50	0,03	0,30	0,08
Nitratos (NO ₃ ⁻)	mg/l	435,60	831,60	343,20	158,40
Amoniaco (NH ₃)	mg/l	96,00	99,00	81,00	130,00
Fosfatos	mg/l	90,50	29,50	7,25	42,75
Fósforo total	mg/l	17,50	15,50	7,20	22,40

Fuente: elaboración propia.

Tabla LVIII. **Valores puntuales promedio de los parámetros fisicoquímicos y biológicos analizados de la descarga de lodos de los baños portátiles**

Parámetros	Baños portátiles	
	Unidad	Valor
DQO	mg/l	34840,00
DBO ₅	mg/l	10920,00
Sólidos suspendidos	mg/l	51200,00
Nitrógeno total	mg/l	1936,00
Nitritos (NO ₂ ⁻)	mg/l	3,30
Nitratos (NO ₃ ⁻)	mg/l	1223,20
Amonio (NH ₄ ⁺)	mg/l	1324,00
Sulfatos	mg/l	1920,00
Fósforo total	mg/l	442,00
Potencial de Hidrógeno	pH	7,16
Sólidos totales	mg/l	54320,00
Sólidos disueltos	mg/l	3120,00
Turbiedad	UNT	1000,00>
Color aparente	Pt/Co	500,00>

Fuente: elaboración propia.

8.7. Evaluación de la descarga de agua residual y lodos generados en los baños portátiles y tanques de almacenamiento en las PTAR 2 y 3

- Días de descarga: la siguiente tabla muestra los días en los que se descarga agua residual, hacia las plantas de tratamiento de agua residual doméstica 2 y 3, por parte del vehículo recolector; los baños portátiles son limpiados diariamente. Los tanques de almacenamiento se limpian una vez por semana, a excepción del tanque de almacenamiento que se encuentra ubicado en la garita principal, el cual se limpia cada 2 días, razón por la que se presenta la tabla desglosada en 15 días.

Tabla LIX. **Días de descarga de las diferentes fuentes generadoras**

		Ubicación de la descarga	Días de la semana													
			Lun	Mar	Mie	Jue	Vie	Sab	Dom	Lun	Mar	Mie	Jue	Vie	Sab	Dom
Fuente generadora	Baños portátiles	PTAR 2	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
	Tanque garita	PTAR 2	■		■		■		■		■		■		■	
	Tanque vivero	PTAR 2				■						■				
	Tanque grupo EMO	PTAR 3							■							■
	Tanque grupo HERGO	PTAR 3					■							■		

Fuente: elaboración propia.

Tabla LX. Dimensiones y tipos de tanques de almacenamiento

	Tipo de tanque de almacenamiento	Volumen (l)	Diámetro (m)	Alto (m)	Ancho (m)	Largo (m)
Garita	Tinaco Rotoplas tipo cisterna	2500	1,55	1,60	-	-
Vivero	Cisterna Rotoplas equipada	5000	2,20	1,85	-	-
Grupo EMO	Tanque cisterna de concreto armado	4600	-	1,80	1,6	1,6
Grupo HERGO	Tipo de tanque de almacenamiento	2500	1,55	1,60	-	-

Fuente: elaboración propia.

Tabla LXI. Dimensiones y especificaciones del tanque del vehículo de recolección

	Diámetro (m)	Área (m ²)	Largo (m)	Volumen (m ³)
Tanque principal	1,12	0,98	1,64	1,61
Tanque agua residual	1,12	0,69	1,64	1,14
Tanque central agua limpia	0,61	0,29	1,64	0,47

Fuente: elaboración propia.

Las especificaciones de la bomba son las siguientes:

- Marca Honda gasolina 5,5 hp para agua residual, incorporada al tanque y al vehículo
- 2 lentes visores tipo ojo-burbuja, para el depósito de agua residual
- 1 lente visor tipo ojo-burbuja, para el depósito de agua limpia

- Acople rápido y manguera de 4" para descarga de agua residual
- Manguera ¾" para agua limpia
- La estructura del tanque es de aluminio

Tabla LXII. **Volúmenes en metros cúbicos descargados**

		Días de la semana (volumen descargado en m ³)													
		Lun	Mar	Mie	Jue	Vie	Sab	Dom	Lun	Mar	Mie	Jue	Vie	Sab	Dom
Fuente Generadora	Baños portátiles	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
	Garita	1		1		1		1		1		1		1	
	Vivero				6							6			
	Grupo EMO							2							2
	Grupo HERGO					1							1		
Descarga	Volumen descargado a PTAR 2	3	2	3	8	3	2	3	2	3	2	9	2	3	2
	Volumen descargado a PTAR 3	0	0	0	0	1	0	2	0	0	0	1	0	2	
	Total descarga	3	2	3	8	4	2	5	2	3	2	9	3	3	4

Fuente: elaboración propia.

8.8. Mapa con la ubicación de los distintos puntos de recolección de tanques de almacenamiento de agua residual y baños portátiles

Figura 37. **Ubicación de los distintos puntos de recolección de tanques de almacenamiento de agua residual y baños portátiles**

Ubicación de Baños Portátiles

Mina Marín



Legenda

Tipo

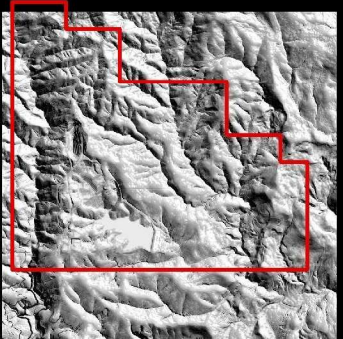
Baño Portátil

Tanque De Almacenamiento

Planta de Tratamiento de Agua Residual

Codigo	Ubicación	UTM (zona 15)	
		X	Y
E1	Vehículo de alivio	641082	1684656
E2	MURO LISO	641079	1684973
E4	ITEG	641682	1684845
E5	Bodega Odra Civil	641698	1684369
E6	Incinerador	641535	1684254
E7	Garita de procesos	641607	1684190
E8	Procesos industriales	641470	1684153
E9	En planta de filtros	641349	1684404
E10	Corno final de filtración	641310	1683976
E11	Salida del proceso de lodos	640916	1683974
E12	Filtradora	641130	1684074
E13	Talleres empresa ISMS	640780	1684176
E14	Taller Odra Canteo	640786	1684167
E15	Taller gestión cercano al túnel	640816	1684167
E16	Bodega de lodos subterránea	640690	1684482
E17	Bodega de lodos subterránea	640668	1684336
E18	Empresa AGRISOLIA	640549	1684394
E19	Pozo de aqualsecombra	640572	1684568
E20	Taller eléctrico	640314	1684244
E21	Boliquín de seguridad	640277	1683983
E22	Tanques de combustibles	640298	1683983
E23			
E24	Parqueo maquinaria pesada	640127	1684033
E25			
E26	Escobchera	640187	1684451
E27	Plata extrañal Vista Verde	639978	1684293
E28	Empedrado de lodos	639978	1684293
E29	Empedrado de lodos	639309	1683709
E30	Dalmy para exterior	639575	1684259
E31	Baño podosa núcleo o garita	640055	1684716
E32	Plata podosa núcleo o garita	640784	1685021
E33	Dique	641685	1685143
F1	Fosa septica 1, HERGO	640642	1684380
F2	Fosa septica 2, EMO	640810	1684241
F3	Fosa septica 3, Genta	641793	1685992
F4	Fosa septica 4, Vivero	641590	1684762
E17A1A	Planta de tratamiento Dymon	641383	1684382
E17A2A	Planta de tratamiento SMS	640942	1684566
E17A3A	Planta de tratamiento Tinel	641735	1685992

Relieve del área de estudio



WGS 1984 UTM Zona 15 Norte
 Proyección: Transverso, Mercator
 Estereorradio: 5000000,000000
 Norte Falso: 0,000000,000000
 Norte Verdadero: 0,000000,000000
 Factor de escala: 0,999900
 Latitud de origen: 0,000000
 Fecha de realización: Enero de 2013
 Fuente: Estaciones de monitoreo, Departamento Ambiental
 Red Hidrográfica Mina superficial
 Información de campo, E. Ingeniería ambiental
 Análisis Laboratorio S/A



1 Centímetro = 102 Metros

9. Discusión de resultados

9.1. PTAR 1

En relación con la entrada, los registros de caudal leídos en el ingreso de la PTAR 1, indican un aumento significativo en las primeras horas del día; dicho aumento de caudal se da entre las 7:00 y 9:00 de la mañana, producto de las actividades que se generan al iniciar labores: desayuno, ingreso al baño, ducha, etc. También se genera un aumento significativo de caudal, entre las 16:00 y las 17:00 horas, producto del final de la jornada laboral.

Únicamente la curva del día miércoles (21/11/2012) presentó un aumento significativo a las 11:00 de la mañana (7,78 l/s); por lo que se presume una condición fortuita producto de la descarga simultánea, de los distintos tanques de almacenamiento que descargan en la PTAR 1.

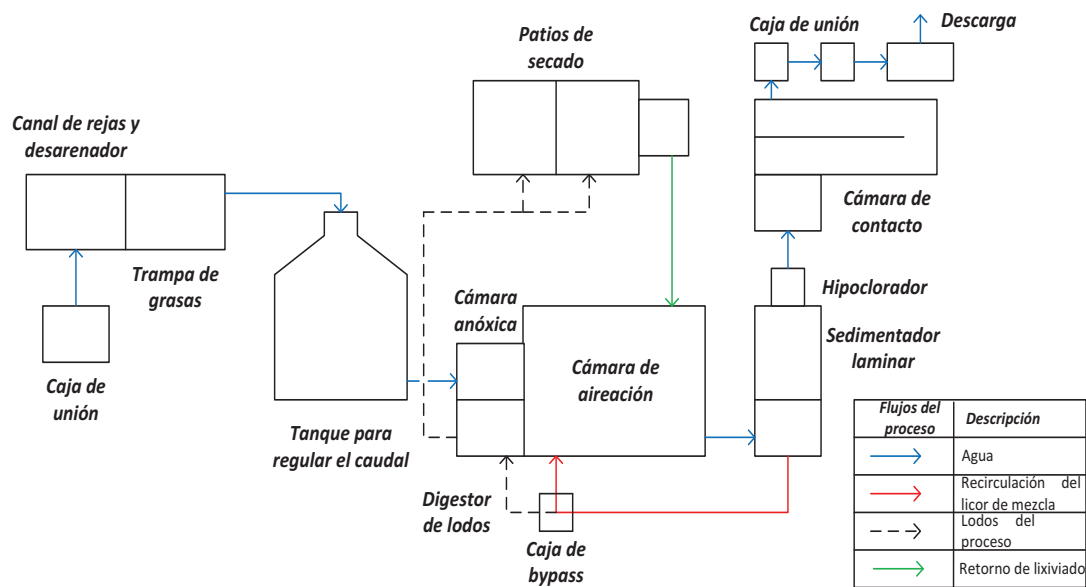
Por lo general, esta planta mantiene un caudal menor a 1,00 l/s y mayor a 0,36 l/s. El caudal de ingreso a esta PTAR no presentó cambio significativo en los distintos días de análisis. Debido al tanque compensador que tiene esta planta, las fuertes variaciones en el caudal de ingreso no son un problema para el desarrollo biológico en la cámara de aireación.

Al hacer referencia a la salida, en relación con el producto de la naturaleza hidráulica de las unidades de la PTAR 1 y del tanque compensador que tiene esta planta, el caudal de salida varía su valor en un rango pequeño de 1,00 a 2,00 l/s. Únicamente el día martes 20/11/2012 presentó un aumento de caudal a las 8:00 de la mañana (2,28 l/s) y a las 5:00 de la tarde (2,21 l/s).

El día miércoles 21/11/2012 presentó una irregularidad de 7:00 a 8:00 de la mañana, con caudales menores a 1,00 l/s. Se puede concluir un caudal de salida bastante regular en la salida de esta planta de tratamiento de agua residual doméstica ($Q_{med} = 1,38$ l/s).

Las unidades que componen el proceso de tratamiento del agua residual en la PTAR 1 se presentan en la figura siguiente:

Figura 38. **Unidades y proceso de tratamiento del agua residual en la planta de tratamiento 1**



Fuente: elaboración propia.

En la figura 38 se muestra el esquema general del proceso de tratamiento de agua residual de tipo doméstica; el proceso es biológico y da inicio con un sistema de pretratamiento conformado por cribado, desarenador y trampa de grasas; este sistema tiene como finalidad eliminar materiales gruesos, que podrían perjudicar el sistema de conducción de la planta.

El cribado consta de dos rejas con espaciamientos de 25 mm y 1 mm, respectivamente, y adicionalmente al tratamiento preliminar se le incorporó un tanque Rotoplast de 2 m de diámetro, con una capacidad de almacenamiento de 6 m³, con el propósito de regular el caudal previo a la entrada en la cámara de aireación.

Figura 39. **Canal de rejas y tanque condensador**



Fuente: unidades planta de tratamiento 1, instalaciones mina Marlin.

La planta no cuenta con medidores de caudal; la PTAR 1 se diseñó para tratar 100 m³/d, pero mediante aforos volumétricos se determinó que el caudal que actualmente está ingresando a la planta es mayor de 115 m³/d. El tanque incorporado al sistema solo regula el caudal, y auxilia a la cámara anóxica para compensar el caudal que entra a la cámara de aireación (clarificador primario), de tal forma que no entre en régimen turbulento, pero diariamente la planta se sobrecarga con más de 15 m³ de agua residual, por lo que no se homogeneiza correctamente en la cámara anóxica; esto influye en la variabilidad de las características fisicoquímicas y biológicas del agua durante su tratamiento.

El análisis fisicoquímico y biológico efectuado a la calidad del agua residual en la entrada del sistema de tratamiento, mostró que los parámetros: Demanda Química de Oxígeno (DQO), Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO_5) y Sólidos Suspendidos Totales (SST) son más altos que los valores con lo que originalmente se diseñó la planta, siendo estos: DQO (907 mg/l), DBO_5 (598 mg/l) y SS (545 mg/l). Estos valores aumentaron en un 81%, 99% y 82%, respectivamente.

Esta planta de tratamiento se diseñó (máxima ocupación) para una carga orgánica de 30 kg DBO_5 /d, pero se observa que la carga orgánica promedio que está ingresando a la planta es de 70 kg DBO_5 /d, la cual aumentó en un 133 %. Por lo tanto, se determinó que la planta se está sobrecargando hidráulica y orgánicamente.

La sobrecarga afecta el proceso biológico en la cámara de aireación, lo que repercute directamente en la formación del flóculo (constituye el núcleo en el cual se desarrolla el proceso de depuración biológica).

El clarificador primario cuenta con dos sistemas de aireación marca TSUNUMI. La inadecuada formación del flóculo, afecta la eficiencia de remoción de los sólidos suspendidos y nutrientes (nitrógeno total y fósforo total). Por lo que se gestionó el cambio de uno de los sistemas de aireación que se encontraba en deterioradas condiciones, por un aireador Venturi Jet con una potencia de 5 hp, dando como resultado mejor de transferencia de oxígeno, teniendo valores de concentración de 2 a 4 mg/l; después del clarificador primario el agua se dirige a la cámara de sedimentación; los lodos formados en esta cámara son recirculados al reactor biológico o se transportan al digester de lodos que posteriormente se pasan al patio de secado; esto se decide con base en el monitoreo de sólidos sedimentables en el reactor que realiza el operador.

Figura 40. **Módulo previo al sedimentador**



Fuente: unidad planta de tratamiento 1, instalaciones mina Marlin.

El clarificador secundario es un sedimentador laminar de flujo ascendente formado por 13 placas de PVC de 6 mm de espesor, se evaluaron las dimensiones de este y se verificó que está diseñado para tratar 100 m³/d, por lo que esta unidad ya no es eficiente, debido a la sobrecarga actual en el sistema de tratamiento.

Figura 41. **Sedimentador laminar**



Fuente: unidad planta de tratamiento 1, instalaciones mina Marlin.

El canal central del sedimentador está en mal estado (el metal está oxidado) y se observa bastante material suspendido (turbiedad), debido a la sobrecarga en el sistema; además, la planta de tratamiento no cuenta con otro sedimentador o *bypass* para realizarle mantenimiento periódico a esta unidad.

El agua de la canaleta se dirige al hipoclorador; actualmente no se está clorando el agua tratada por el contenido de sólidos suspendidos que aún lleva. La cámara de contacto tampoco posee un sistema que permita realizársele mantenimiento periódico, por lo que esa unidad se mantiene sucia.

Figura 42. **Cámara de contacto**



Fuente: unidad planta de tratamiento 1, instalaciones mina Marlin.

9.2. PTAR 2

En relación con la entrada, en la primera hora de registro, a las 7:00 de la mañana, en todas las curvas se presentó un aumento significativo del caudal, atribuido al cambio de turno e inicio de labores, por parte de la empresa que ocupa el campamento de contratistas.

Se muestra un aumento de caudal por las mañanas, registrado de 10:00 a 11:00 en todas las gráficas, incluso el día jueves 15/11/2012, se extiende hasta las 12:00 de la mañana, el valor del caudal oscila entre los 0,30 l/s a 0,40 l/s, se atribuye al trabajo de lavandería industrial realizado en estos horarios, dentro del campamento de contratistas; esta irregularidad en el caudal afecta el desarrollo biológico en la PTAR 2, debido al aumento de nutrientes que ingresan a la planta en un periodo muy corto.

También se presenta un aumento irregular por las tardes a distintas horas, posiblemente un caudal generado por el uso del sanitario y lavamanos después de almuerzo, por parte del personal que se encuentra en este campamento.

Los valores de caudal registrados no presentan cambios significativos en los distintos días de análisis.

En relación con la salida, en la PTAR 2, se encuentra instalado al final del proceso de tratamiento un tanque de almacenamiento; dicho tanque contiene dos bombas sumergibles, las cuales impulsan el caudal hasta una línea de descarga principal, las máquinas se accionan en el momento que el tanque contiene determinada cantidad de líquidos residuales.

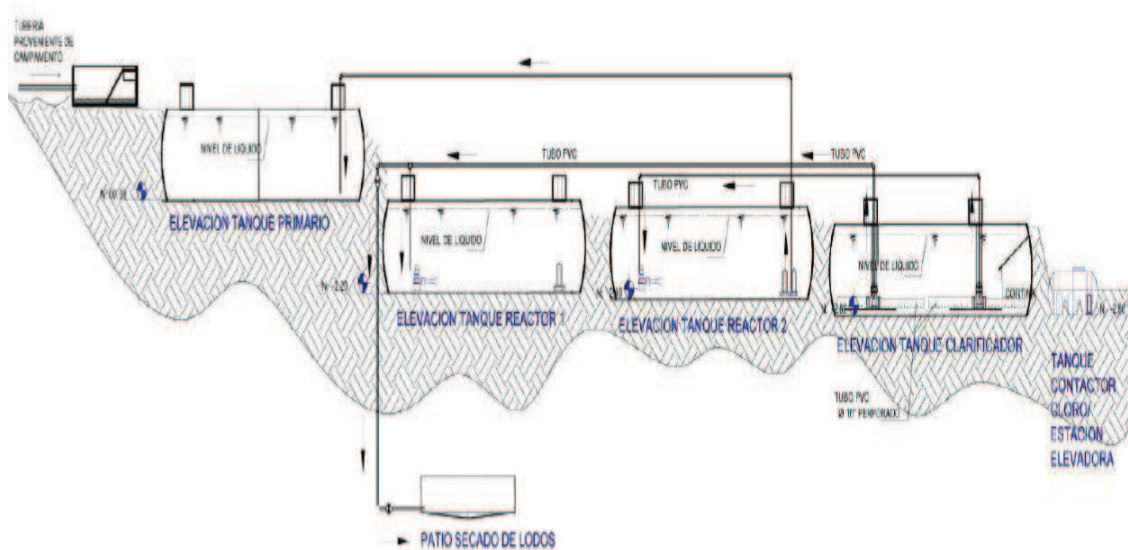
En las gráficas se puede observar la cantidad de veces que las bombas son accionadas en el lapso de tiempo analizado. Los días martes 13/11/2012 y miércoles 14/1/2012, las máquinas se accionaron 4 veces.

Los días jueves 15/11/2012 y lunes 19/11/2012 se accionaron 5 veces, mientras que el día domingo 18/11/2012 se registraron únicamente dos bombeos durante el tiempo de estudio, atribuidos a una disminución en el ingreso de agua residual a la planta en este día de estudio.

Las descargas de agua residual se hacen con caudales promedio de 0,400 a 0,600 l/s.

Las unidades que componen el proceso de tratamiento del agua residual en la PTAR 2 se presentan en la figura siguiente:

Figura 43. **Unidades y proceso de tratamiento del agua residual en la planta de tratamiento 2**



Fuente: mina Marlin. Manual de operación de la PTAR 2 "ISMS". p. 8.

En la figura 43 se observa el esquema general del proceso de tratamiento del agua residual de tipo doméstico; el proceso es biológico y comienza con un sistema de pretratamiento conformado por cribado; este está colocado en un canal, que por su estructura no se interpreta como desarenador, y carece de trampa de grasas.

El cribado consta de una reja. Antes del pretratamiento hay un pequeño tanque en donde se descarga el agua residual de 52 baños portátiles (aguas azules) y de 2 tanques de almacenamiento de agua residual; la planta no cuenta con un sistema que homogeneice estas aguas y regule su flujo, para que no entre de manera abrupta al tanque primario.

La planta no cuenta con medidor de caudal en la entrada, solo en la salida; la medición de caudal es por medio de un flujómetro.

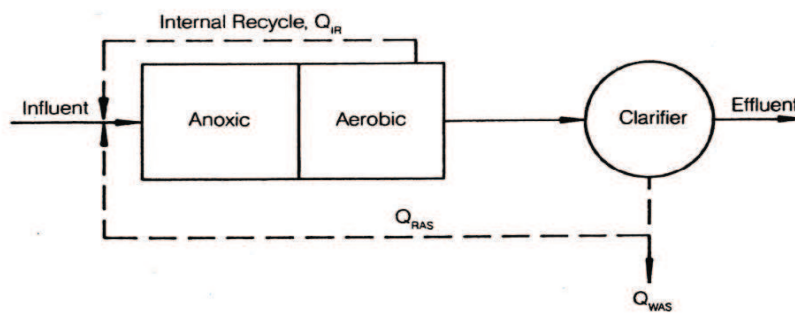
La PTAR 2 se diseñó para tratar $75 \text{ m}^3/\text{d}$; mediante aforos volumétricos se determinó que el caudal que actualmente está ingresando a la planta es menor de $20 \text{ m}^3/\text{d}$. El caudal que está entrando a la planta de tratamiento es el 26 % del caudal de diseño.

Esta planta de tratamiento se diseñó (máxima ocupación) para una carga orgánica de $32 \text{ kg DBO}_5/\text{d}$, pero se observa que la carga orgánica promedio que está ingresando a la planta es de $11 \text{ kg DBO}_5/\text{d}$; esto equivale a 35 % de la carga orgánica total.

Luego del pretratamiento, el flujo de agua se dirige al tanque primario, este está dividido en dos compartimientos; el segundo corresponde a la sección anóxica, este compartimiento tiene las funciones de disminuir carga orgánica y realizar el proceso de desnitrificación para remover nitrógeno.

En este tipo de planta se incorporó el proceso para remover nitrógeno llamado “Ludzack-Ettinger modificado”. Este proceso se basa en el siguiente esquema:

Figura 44. **Proceso Ludzack-Ettinger modificado para la remoción de nitrógeno**



Fuente: Metcalf & Eddy. Ingeniería de aguas residuales: tratamiento, vertido y reutilización. p. 810.

Del sedimentador secundario se recirculan los lodos a la cámara anóxica para mantener el equilibrio de microorganismos y la edad del lodo y del reactor aeróbico 2, se recircula el licor de mezcla a la cámara anóxica.

En los reactores aeróbicos 1 y 2, se produce el proceso de nitrificación y en la cámara anóxica, el proceso de desnitrificación.

La planta de tratamiento no cuenta con medidores de oxígeno disuelto ni con medidor de caudal, los cuales son de vital importancia para que el proceso Ludzack-Ettinger modificado se realice eficientemente, ya que es necesario conocer el caudal de entrada a la planta para establecer los programas de recirculación del sedimentador y del reactor aeróbico 2 a la cámara anóxica, tal como lo recomienda el manual de operación y mantenimiento de esta planta.

Respecto del medidor de oxígeno hay que controlar que en los reactores aeróbicos el oxígeno disuelto sea mayor a 2 mg/l, para así garantizar que el oxígeno llegue al interior de los flóculos formados por las bacterias (EPA. 2009).

En el proceso de desnitrificación se debe monitorear que el oxígeno disuelto sea menor de 0,20 mg/l. El sistema aeróbico cuenta con tres mecanismos de aireación marca TSUNUMI. Después del reactor aeróbico 2, se ubica el sedimentador secundario (tanque 4); su objetivo es permitir la sedimentación por gravedad de los sólidos en suspensión provenientes del reactor, pero está trabajando ineficientemente, porque no logra mantener una lámina de agua clarificada en la parte superficial; la descarga final tiene una concentración de sólidos suspendidos de 232 mg/l.

El sedimentador posee dos bombas TSURUMI con una capacidad de 40 galones por minuto: una para la recirculación dirigida al tanque No. 2 y desechos de lodos al patio de secado, y la otra al ingreso del tanque No. 3.

Figura 45. **Primer módulo de sedimentación**



Fuente: unidad planta de tratamiento 2, instalaciones mina Marlin.

Figura 46. **Tubería de conducción del efluente del sedimentador al hipoclorador**



Fuente: unidad planta de tratamiento 2, instalaciones mina Marlin.

Actualmente no se está clorando el agua tratada por el contenido de sólidos suspendidos que aún lleva. La cámara de contacto (tanque de 5 m³) no posee un sistema que permita realizársele mantenimiento periódico, por lo que esa unidad se mantiene sucia.

9.3. PTAR 3

Se puede asegurar que el caudal de entrada a la PTAR 3, es un caudal constante, puesto que su magnitud varía entre 0,100 l/s y 0,500 l/s, en cada uno de los días analizados. Sin embargo, los días sábado 12/01/2013 y miércoles 16/01/2013, presentan un incremento en el caudal hasta 1,149 l/s, el día sábado a las 17:00 horas, y de 1,190 l/s el día miércoles, a las 16:00 de la tarde; estos incrementos se dan por el uso simultáneo de los artefactos y servicios que se encuentran en la casa de cambio.

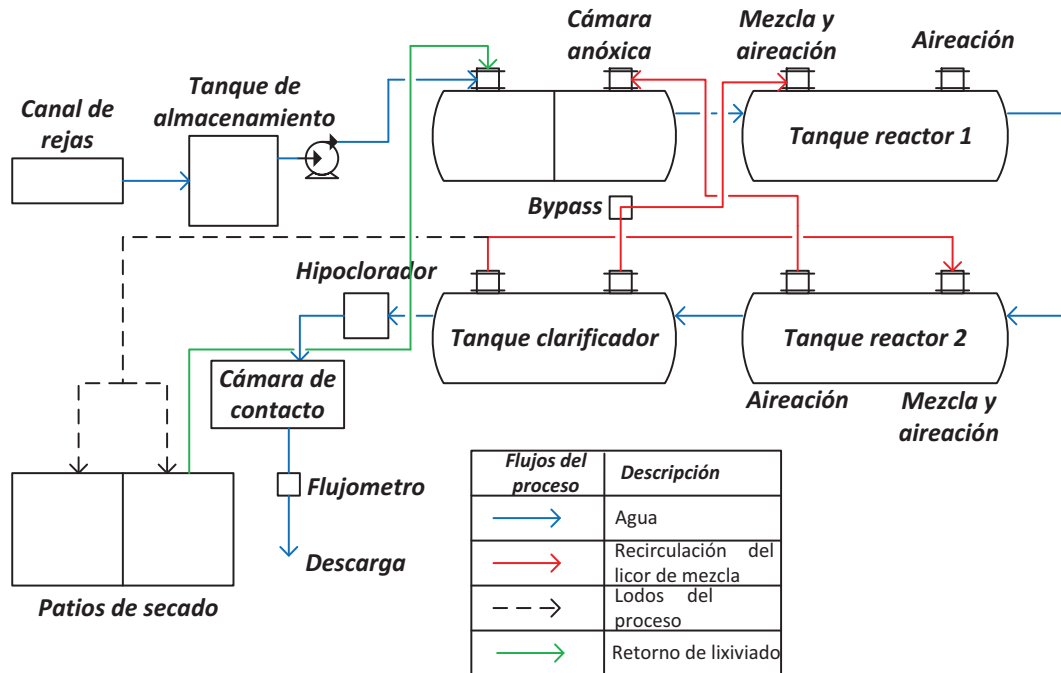
Debido a la capacidad de tratamiento que tiene la PTAR 3, la variación de caudal no representa un problema para el desarrollo biológico en la cámara de aireación y anóxica de esta PTAR. Durante la semana no existe variación del personal que labora en la mina subterránea y casa de cambio, lo que justifica que no exista variación significativa en las curvas y registros en los días analizados.

La PTAR 3 contiene un tanque de almacenamiento continuo al pretratamiento; cuando este tanque llega a contener cierto volumen de agua residual doméstica, una bomba hidráulica sumergible, normalmente apagada, se activa e impulsa el líquido hasta la cámara anóxica en la PTAR 3; este proceso hace que ingrese agua residual doméstica al sistema de tratamiento y consecuentemente, que egrese agua tratada de la PTAR 3.

La bomba hidráulica se activa con una frecuencia aproximada de 9:00 horas; en los días y lapsos estudiados se puede observar el proceso de bombeo una vez por gráfica, con un caudal mayor a 1,000 l/s. La hora en la que se registró la descarga de agua tratada varía. La frecuencia con la que trabaja la bomba favorece al tiempo de retención del líquido en las cámaras de aireación y anóxica.

Las unidades que componen el proceso de tratamiento del agua residual en la PTAR 3 se presentan en la siguiente figura.

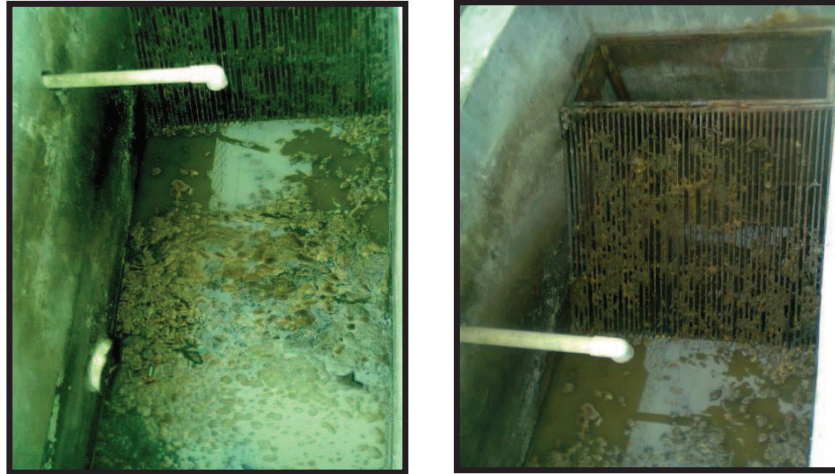
Figura 47. **Unidades y proceso de tratamiento del agua residual en la planta de tratamiento 3**



Fuente: elaboración propia.

En la figura 47 se observa el esquema general del proceso de tratamiento del agua residual de tipo doméstico para la PTAR “Túnel”; el proceso de tratamiento en esta planta también es biológico como en las otras dos. Inicia con un sistema de pretratamiento conformado por cribado; este se incorpora en un canal abierto que es muy ancho y largo para el caudal y la velocidad del agua residual que ingresa, por lo que el agua se estanca y no fluye; además, el espaciamiento de las rejillas es muy reducido, debido a que el agua ingresa con bastante materia orgánica en suspensión, por lo que se producen obstrucciones. Este sistema no posee desarenador, ni trampa de grasas.

Figura 48. **Canal de rejas o cribado**



Fuente: unidad planta de tratamiento 3, instalaciones mina Marlin.

Después del canal de rejas, el agua residual se dirige a un tanque de almacenamiento, de donde el agua es conducida al tanque primario por bombeo (hay dos bombas, una trabaja y la otra se encuentra en reserva). La planta no cuenta con medidor de caudal en la entrada, solo en la salida; la medición de caudal es por medio de un flujómetro.

La PTAR 3 se diseñó para tratar el mismo caudal que la PTAR 2 ($75 \text{ m}^3/\text{d}$); mediante aforos volumétricos se determinó que el caudal que actualmente está ingresando a la planta es menor de $25 \text{ m}^3/\text{d}$. El caudal que está entrando a la planta de tratamiento es el 29 % del caudal de diseño.

Esta planta de tratamiento se diseñó (máxima ocupación) para una carga orgánica de $32 \text{ kg DBO}_5/\text{d}$; la carga orgánica promedio que está ingresando a la planta es de $12 \text{ kg DBO}_5/\text{d}$; esto equivale a 38 % de la carga orgánica total.

Por lo tanto, se determinó que la planta no está sobrecargada hidráulica y orgánicamente. Respecto de los sólidos suspendidos, se determinó que entra una concentración mayor de 1000 mg/l; los trabajadores, cuando lavan sus botas, desechan la arena al alcantarillado y esta llega hacia la planta, por lo que es necesaria la implementación de un desarenador.

El tanque primario está dividido en dos compartimientos, tal como se describió en la PTAR 2. En esta planta también se incorporó el proceso para remover nitrógeno llamado “Ludzack-Ettinger modificado”.

Esta planta de tratamiento también no cuenta con medidores de oxígeno disuelto ni con medidor de caudal, los cuales son de vital importancia para que el proceso Ludzack-Ettinger modificado se realice eficientemente (la importancia de estos instrumentos se describió en la PTAR 2).

El sistema aeróbico cuenta con tres mecanismos de aireación marca TSUNUMI.

Después del reactor aeróbico 2, se ubica el sedimentador secundario (tanque 4); al igual que en la PTAR 2, esta unidad está trabajando ineficientemente, porque no logra mantener una lámina de agua clarificada en la parte superficial, la descarga final tiene una concentración de sólidos suspendidos de 209 mg/l.

Figura 49. **Segundo módulo de sedimentación**



Fuente: unidad planta de tratamiento 3, instalaciones mina Marlin.

Actualmente no se está clorando el agua tratada por el contenido de sólidos suspendidos que aún lleva. La cámara de contacto (tanque de 5 m³) no posee desfogue que permita realizársele mantenimiento periódico, y está diseñada de tal manera que siempre queda rezagado líquido en el tanque por lo que se da proliferación de mosquitos y mal olor.

Figura 50. **Cámara de contacto**



Fuente: unidad planta de tratamiento 3, instalaciones mina Marlin.

9.4. Selección de alternativas de propuesta de mejoras

A continuación se describe la propuesta de mejora seleccionada.

9.4.1. Alternativa de propuesta de mejoras 1 (seleccionada)

Esta propuesta de mejora se basa en la desviación de una fracción de caudal que ingresa a la PTAR 1 (agua residual que se genera en el comedor y campamento principal) hacia la PTAR 2, mediante una línea de drenaje por gravedad, y las construcciones de un tanque de homogeneización y un reactor anaerobio de flujo ascendente en la PTAR 2. Además de la reparación, construcción y mejora de otras unidades en las plantas de tratamiento de agua residual doméstica.

El reactor anaerobio servirá para la reducción de la alta carga orgánica que ingresa en tiempos cortos a la PTAR 2, producto de las descargas de agua residual generadas en taques de almacenamientos y baños portátiles en las instalaciones de la mina; estas descargas deberán mezclarse y homogeneizarse con el agua desviada producida en campamento principal, mediante la unidad “homogeneizador de caudal”.

La propuesta 1 también incluye la construcción de sedimentadores de alta carga, patios de secado adecuados, cambio de pretratamientos y cámaras de contacto nuevas en las PTAR 2 y 3. Además de instalar sistemas de medición de caudal y medidores de oxígeno en las tres plantas de tratamiento de agua residual. En la propuesta de mejoras incluye los detalles de la propuesta número 1. El diagrama de flujo de esta propuesta de mejoras se presenta en el inciso 8,4 de la sección de Resultados.

Tabla LXIII. Costos del proyecto, para la alternativa de propuesta de mejoras 1

MONTANA EXPLORADORA DE GUATEMALA S.A.

INTEGRACIÓN DE PROPUESTA 1 (SELECCIONADA)

RENLÓN:	INTEGRACIÓN COMPLETA
Proyecto:	Propuestas para mejorar las plantas de tratamiento de agua residual doméstica

No	RENLÓN DE TRABAJO	Unidad	Cantidad	Costo		PORCENTAJE
				Unitario	Total	
1	Canal de rejías. Pretratamiento (ISMS)	Unidad	1	Q 11,613.31	Q 11,613.31	1.11%
2	Canal de rejías. Pretratamiento (Túnel)	Unidad	1	Q 11,613.31	Q 11,613.31	1.11%
3	Canal de rejías. Pretratamiento (NLT)	Unidad	1	Q 11,613.31	Q 11,613.31	1.11%
4	Desarenador (ISMS)	Unidad	1	Q 14,971.08	Q 14,971.08	1.44%
5	Desarenador (Túnel)	Unidad	1	Q 20,290.27	Q 20,290.27	1.95%
6	Desarenador (NLT)	Unidad	1	Q 14,758.71	Q 14,758.71	1.42%
7	Patio de secados nuevo (Túnel, ISMS, NLT)	Unidad	2	Q 146,476.35	Q 292,952.69	28.10%
8	Trampa de grasa (ISMS)	Unidad	1	Q 9,417.21	Q 9,417.21	0.90%
9	Trampa de grasa (Túnel)	Unidad	1	Q 9,373.76	Q 9,373.76	0.90%
10	Trampa de grasa (NLT)	Unidad	1	Q 8,470.43	Q 8,470.43	0.81%
11	Cámara de contacto (ISMS)	Unidad	1	Q 27,254.71	Q 27,254.71	2.61%
12	Cámara de contacto nueva (Túnel)	Unidad	1	Q 18,406.11	Q 18,406.11	1.77%
13	Sedimentador de alta carga (Túnel e ISMS)	Unidad	2	Q 124,830.93	Q 249,661.86	23.95%
14	Tubería bypass para mantenimiento de la cámara de contacto (Durman)	Unidad	1	Q 6,327.41	Q 6,327.41	0.61%
15	Reactor anaerobio de flujo ascendente (NLT)	Unidad	1	Q 147,821.56	Q 147,821.56	14.18%
16	Tanque homogeneizador (ISMS+NLT)	Unidad	1	Q 36,401.51	Q 36,401.51	3.49%
17	Equipo homogeneizador (Durman)	Unidad	1	Q 13,893.88	Q 13,893.88	1.33%
18	Mejoras en rejías (Durman)	Unidad	1	Q 3,767.68	Q 3,767.68	0.36%
19	Drenaje para conducción de aguas negras (NLT).	ml	500	Q 231.85	Q 115,926.51	11.12%
20	Cambio de canal recolector y placas paralelas en sedimentador (Durman)	Global	1	Q 18,110.18	Q 18,110.18	1.74%
				Q	1,042,645.50	100.00%

VALOR TOTAL DEL PROYECTO	Q 1 042 645.50
---------------------------------	-----------------------

Fuente: elaboración propia.

9.4.2. Alternativa de propuesta de mejoras 2 (no seleccionada)

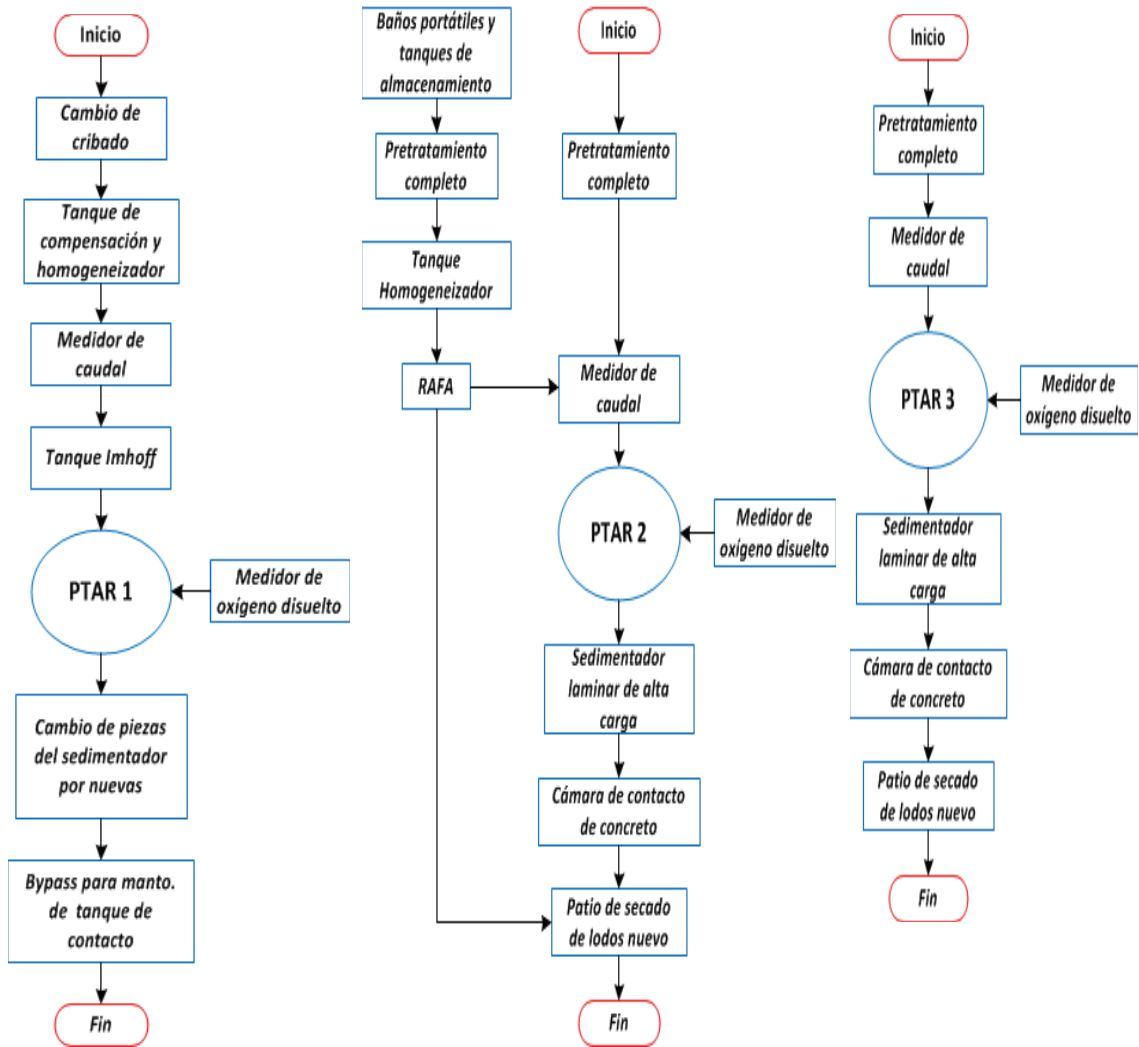
La propuesta número dos, se basa en la construcción de un tanque Imhoff doble en la PTAR 1, para la reducción de sólidos suspendidos y DBO en el agua residual que ingresa a esta planta; luego el agua residual ingresará a la cámara de aireación para su tratamiento secundario principal.

Esta alternativa de propuesta incluye la construcción de un reactor anaerobio de flujo ascendente y un tanque homogeneizador en la PTAR 2; esto con la finalidad de reducir la carga orgánica que ingresa a dicha planta, producto de las descargas de agua residual generadas en baños portátiles y tanques de almacenamiento. En la PTAR 2, el caudal deberá ingresar por un pretratamiento, y luego al tanque homogeneizador, donde se dará un proceso de mezcla y dilución.

La segunda propuesta también incluye: la construcción de sedimentadores de alta carga orgánica, cambio de sistemas de pretratamiento, construcción de patios de secado nuevos, cambio de las cámaras de contacto en las PTAR 2 y 3. Además de incluir sistemas de medición de caudal y equipo de medición de oxígeno en las cámaras de aireación de las tres plantas de tratamiento de agua residual doméstica.

A continuación se presenta el diagrama de flujo de las mejoras propuestas para las 3 plantas de tratamiento.

Figura 51. Diagrama de propuesta de mejoras, no seleccionada



Fuente: elaboración propia.

Tabla LXIV. Costos del proyecto, para la alternativa de propuesta de mejoras 2

MONTANA EXPLORADORA DE GUATEMALA S.A.

INTEGRACIÓN DE PROPUESTA 2 (NO SELECCIONADA)

REGLÓN:	INTEGRACIÓN COMPLETA
Proyecto:	Propuestas para mejorar las plantas de tratamiento de agua residual doméstica

No.	REGLÓN DE TRABAJO	Unidad	Cantidad	Costo		PORCENTAJE
				Unitario	Total	
1	Canal de rej. Pretratamiento (ISMS)	Unidad	1	Q 11,613.31	Q 11,613.31	0.94%
2	Canal de rej. Pretratamiento (Túnel)	Unidad	1	Q 11,613.31	Q 11,613.31	0.94%
3	Desarenador (ISMS)	Unidad	1	Q 14,971.08	Q 14,971.08	1.22%
4	Desarenador (Túnel)	Unidad	1	Q 20,290.27	Q 20,290.27	1.65%
5	Patio de secados nuevo (Túnel e ISMS)	Unidad	2	Q 146,476.35	Q 292,952.69	23.83%
6	Trampa de grasa (ISMS)	Unidad	1	Q 9,417.21	Q 9,417.21	0.77%
7	Trampa de grasa (Túnel)	Unidad	1	Q 9,373.76	Q 9,373.76	0.76%
8	Cámara de contacto (ISMS)	Unidad	1	Q 27,254.71	Q 27,254.71	2.22%
9	Cámara de contacto nueva (Túnel)	Unidad	1	Q 18,406.11	Q 18,406.11	1.50%
10	Sedimentador de alta carga (Túnel e ISMS)	Unidad	2	Q 124,830.93	Q 249,661.86	20.31%
11	Tubería bypass para mantenimiento de la cámara de contacto (Durman)	Unidad	1	Q 6,327.41	Q 6,327.41	0.51%
12	Equipo homogeneizador (Durman)	Unidad	1	Q 13,893.88	Q 13,893.88	1.13%
13	Mejoras en Rejas (Durman)	Unidad	1	Q 3,767.68	Q 3,767.68	0.31%
14	Reactor anaerobio de flujo ascendente (ISMS)	Unidad	1	Q 140,430.48	Q 140,430.48	11.42%
15	Equipo homogeneizador (Durman)	Unidad	1	Q 13,893.88	Q 13,893.88	1.13%
16	Tanque homogeneizador ISMS	Unidad	1	Q 36,401.51	Q 36,401.51	2.96%
17	Tanque Imhoff (Durman)	Unidad	2	Q 165,495.09	Q 330,990.19	26.92%
18	Cambio de canal recolector y placas paralelas en sedimentador (Durman)	Global	1	Q 18,110.18	Q 18,110.18	1.47%
				Q 1,229,369.54	Q 1,229,369.54	100.00%

VALOR TOTAL DEL PROYECTO

Q 1 229 369,54

Fuente: elaboración propia.

9.4.3. Selección de alternativas

Para la selección de la mejor alternativa, se tomaron en cuenta tres factores: el costo de inversión para la empresa, la factibilidad de construcción y la eficiencia de remoción de carga orgánica. A continuación se describe dicha evaluación.

- **Costos:** el costo de la construcción de la propuesta 1 es de Q 1 042 645,50. Mientras que el costo de la propuesta 2 es más elevado, ya que el precio de su ejecución es de Q 1 229 369,54; lo que hace una diferencia de Q 186 724,04. En términos de porcentaje, la propuesta 2 es 18% más costosa que la 1; por ende, económicamente la construcción de la propuesta 1 es más eficiente.
- **Construcción:** la propuesta 2 propone la construcción de un tanque Imhoff doble en la PTAR 1. Por sus dimensiones, el espacio para la construcción de este tanque es limitado en el lugar donde está ubicada la PTAR 1, mas no imposible de ejecutar. La construcción de la propuesta 1 es menos compleja y requerirá menos tiempo de ejecución; la construcción del drenaje que conducirá el agua residual de campamento principal a la PTAR 2 no interrumpirá la producción u otra actividad de la empresa.
- **Eficiencia:** se espera una eficiencia mayor por parte de la propuesta 1, en un 15% sobre la no seleccionada; dicha eficiencia será evidente en la reducción de la carga orgánica y degradación de nutrientes, debido a la distribución de las nuevas unidades a construir y a las demás mejoras propuestas en las PTAR 1 y 2. Por lo que es preferible la construcción de la propuesta 1.

9.5. Detalle de la propuesta de mejoras seleccionada

A continuación se hace la descripción de todos los elementos que integran la planta de tratamiento propuesta.

9.5.1. Planta de tratamiento de agua residual doméstica 1

- Tanque de compensación de caudal y homogeneizador: al derivar el agua residual proveniente de campamento principal hacia la nueva línea de tratamiento (se detalla más adelante), el tanque Rotoplast instalado en ésta planta de 6 m³, tiene la capacidad de compensar el caudal del afluente, pero se le debe instalar un sistema que homogeneice, las variaciones de DBO₅ y de otros componentes biológicos y fisicoquímicos, para mantener una mezcla constante.
- Medidor de caudal: ubicado en la entrada y salida de la planta de tratamiento; es necesario para llevar el control del caudal que está ingresando y saliendo de la planta de tratamiento.
- Medidor de oxígeno disuelto: en el reactor anóxico (monitorear y controlar que el oxígeno disuelto sea menor de 0,20 mg/l) y en la cámara de aireación (monitorear y controlar que el oxígeno disuelto sea mayor de 2 mg/l).
- Tubería de *bypass* para mantenimiento de la cámara de contacto de la PTAR 1: la cámara de contacto no puede recibir un mantenimiento adecuado, debido a que no existe un *bypass* que desvíe el caudal. Por ende se propone la construcción de un sistema de *bypass* que conecte la

tubería que se encuentra después del hipoclorador y la tubería de descarga.

9.5.2. Planta de tratamiento de agua residual doméstica 2

- Canal de rejas (pretratamiento): en esta planta el canal de rejas es pequeño para el caudal que maneja, no cuenta con una pendiente adecuada, por lo que la velocidad del afluente es muy baja; la separación entre las rejas es muy pequeña, lo que repercute en que los sólidos orgánicos también quedan atrapados en el canal. Por lo que se hace necesaria la construcción de un nuevo canal con dimensiones y pendiente según caudal de diseño y la incorporación de un sistema de rejas nuevo, construido de un material no oxidante. El nuevo canal de rejas deberá construirse de mampostería reforzada.
- Desarenador (pretratamiento): en la planta de tratamiento del campamento de contratistas, el canal de rejas hace la función de desarenador; sin embargo, la alta velocidad con la que el caudal circula el canal y lo corto del canal, hacen imposible que la arena sedimente. Por ende se deberá construir un desarenador según caudal de diseño, para remover de manera adecuada las arenas del agua. Este deberá ser doble con compuertas que aíslen uno del otro, para un mantenimiento periódico cuando se sature de arena, y deberá construirse de mampostería reforzada.
- Trampa de grasa (pretratamiento): la planta recibe gran cantidad de grasas producto de las actividades domésticas del campamento y lavandería industrial; las grasas inhiben el crecimiento bacteriano y evitan degradación de materia orgánica. Se ha encontrado indicios de grasas en

esta PTAR, por lo que se hace necesario la construcción de una trampa de grasa; esto mejorará el sistema de tratamiento en cuanto a la remoción de materia orgánica. La caja trampa de grasa se construirá de mampostería reforzada.

- Tanque de compensación y homogeneizador: este tanque se encargara de amortiguar las variaciones de caudal para lograr un caudal aproximadamente constante y minimizar cargas choque sobre el tratamiento biológico. También se encargara de diluir sustancias inhibitoras y homogeneizar el afluente de agua residual, con el propósito de disminuir las variaciones de DBO_5 y de otros componentes biológicos y fisicoquímicos.
- Reactor anaerobio de flujo ascendente (RAFA): esta unidad se propone como tratamiento primario, para degradar la alta carga orgánica proveniente de los baños portátiles y los tanques de almacenamiento de agua residual, en base a la actividad auto reguladora de diferentes grupos de bacterias que degradan la materia orgánica y se desarrollan en forma interactiva, formando un lodo biológicamente activo en el reactor. El requerimiento de energía es bajo y la construcción es relativamente simple. El tiempo de retención hidráulico que se propone es de 8 horas para un rango de temperatura de agua residual de 20 a 26 °C, con un volumen del reactor de 17 m³ y una altura de 4,80 m.
- Medidores de oxígeno disuelto: en el reactor anóxico monitorear y controlar que el oxígeno disuelto sea menor de 0,20 mg/l y en los reactores aeróbicos monitorear y controlar que el oxígeno disuelto sea mayor de 2 mg/l.

- Medidor de caudal en la entrada de la planta de tratamiento: es necesario para llevar el control del caudal que está ingresando a la planta, y para establecer los tiempos del caudal de recirculación apropiado (se recomienda una recirculación de nitratos de 200 a 300 % del caudal de ingreso).
- Sedimentador PTAR 2 y PTAR 3: los sedimentadores de las PTAR 2 y 3 son de tipo convencional modificado. Este tipo de sedimentador no puede contener equipo de bombeo en su interior, puesto que la acción de un conjunto bomba-motor modifica las condiciones del flujo laminar del agua en el tanque; la geometría del tanque provoca un corto circuito y un espacio muerto en el caudal del agua. La tubería de agua que se encuentra en el fondo del sedimentador no recolecta lodos adecuadamente, puesto que no es una tolva de recolección como tal, por lo que el sistema de retorno de caudal de lodos a la cámara de aireación no funciona según su diseño.
- Se recomienda la construcción de un sedimentador laminar o de alta tasa; este tipo de sedimentador es menos largo que un sedimentador convencional, pero es más profundo; deberá ser construido de concreto armado y sus partes metálicas deberán ser de acero inoxidable; por el costo de la construcción, excavación y remoción de los sedimentadores, se propone no remover los tanques actuales y buscar una ubicación adecuada para los nuevos.
- Cámara de contacto y tanque de bombeo PTAR 2: en esta PTAR existe un tanque prefabricado de plástico con capacidad de 5 metros cúbicos, que hace de cámara de contacto y tanque de bombeo al final del tratamiento; sin embargo la geometría de este tanque no es la idónea para

el sistema de bombeo y para un adecuado mantenimiento; la instalación de las bombas sumergibles está muy por arriba del fondo del tanque, lo que hace generar una sedimentación de partículas; la capacidad del tanque es la adecuada. Se recomienda la construcción de un tanque de contacto y bombeo del tipo clásico, construido de mampostería reforzada, de tres metros de largo, uno y medio de alto y ancho, aproximadamente. Esta cámara de contacto deberá ser impermeable, con pendiente y con cámara de impulsión; además de dos compuertas superiores para limpieza y mantenimiento periódico.

- Construcción de patio de secado PTAR 2 y PTAR 3: estas dos plantas de tratamiento de agua residual doméstica cuentan con sendos patios de secado de similares dimensiones, pero ninguno de ellos cuenta con las medidas en área y altura necesarias para disponer la cantidad de lodos producidos en las PTAR durante el proceso de secado de los mismos; además, las plantas están construidas de materiales inadecuados para su funcionamiento; ninguno de ellos tiene filtro de grava para retorno, el sistema de recolección tiende a saturarse, y en el caso particular de la PTAR 3 el patio de secado está ubicado en una posición donde únicamente recibe radiación solar de 2 a 4 horas por las tardes, por lo que se han de construir patios de secados nuevos para estas plantas, con dimensiones acordes a la proyección de lodos producidos, con materiales de acuerdo con la función de un patio de secado y un diseño hidráulico funcional.

En algún caso se puede pensar en remodelar y ampliar el patio de secado de la PTAR 2, pero se deberá corregir los errores en el patio de secado, ampliar su altura y construir sistema de filtros de grava; se deberá reforzar con columnas y soleras de concreto, además de la construcción de un nuevo patio

de secado, con dimensiones y características similares al modificado. El sistema de construcción será de mampostería reforzada y el techo de estructura de madera y lámina de acrílico.

9.5.3. Planta de tratamiento de agua residual doméstica 3

- Canal de rejas (pretratamiento): en esta planta se hace inminente el cambio del canal de rejas, puesto que es demasiado ancho para el caudal que recibe, no cuenta con una pendiente adecuada para que el agua atreviese por las rejas; estas se encuentran deterioradas y la separación entre ellas es demasiado pequeña, lo que hace que los sólidos orgánicos se acumulen de manera excesiva dentro del canal. Por lo que se hace necesario la construcción de un nuevo canal de rejas con dimensiones y pendiente según caudal de diseño y sistema de rejas de material no oxidable. El nuevo canal de rejas deberá construirse de mampostería reforzada.
- Desarenador -pretratamiento- PTAR 2: el canal de rejas hace de desarenado en la planta de tratamiento 3. Sin embargo, por la gran cantidad de sólidos orgánicos que llegan a esta planta se hace imposible el mantenimiento del desarenador como tal. Un retorno del equipo de bombeo al canal de rejas hace perder la condición de flujo subcrítico en el canal de rejas; por ende, las partículas de arena no sedimentan. El lavado vehículos y equipo industrial en la casa de cambio, hacen que a esta PTAR ingrese gran cantidad de arena y otros suelos; por ende, es imprescindible la construcción de un desarenador para remover la arena del agua a tratarse; el desarenador debe ser doble en esta PTAR con doble canal y compuertas de separación entre cada uno de los canales, para un mantenimiento periódico. La construcción de este desarenador

ampliara la vida 6til de las bombas de impuls6n que tiene esta PTAR. Debera construirse de mamposteria reforzada.

- Trampa de grasa -pretratamiento- PTAR 3: no cuenta con una trampa de grasa, se han encontrado indicios de grasas en el caudal que llega a la PTAR; la mayor parte de las grasas llegan con el caudal en compa6a de la materia org6nica que se encuentra en el agua. Estas grasas afectan el proceso de aireaci6n extendida; es pues recomendable la construcci6n de una unidad trampa de grasa. Esta unidad se debera construir de mamposteria reforzada.
- C6mara de contacto PTAR 3: tiene un tiempo de retenci6n demasiado alto (de nueve horas aproximadamente); hidr6ulicamente, la c6mara de contacto no funciona puesto que el sistema de sif6n invertido funciona 6nicamente cuando el agua llega hasta el rebalse de la misma c6mara; dicho rebalse no est6 conectado a alg6n sistema de tuberias, la tuberia del sif6n no tiene la capacidad de drenar toda el agua de la c6mara de contacto; puesto que esta no cuenta con una pendiente, los s6lidos tienden a sedimentar en dicha c6mara.

Se debera construir una c6mara de contacto de tipo laberinto con un tiempo de retenci6n de 20 minutos; esta ser6 de mamposteria reforzada y el ancho del canal ser6 de 0,60 metros. Otra opci6n ser6 la modificaci6n de la c6mara de contacto actual colocando dos cortinas de block 10, y un sistema de sifones invertidos con sus respectivos rebalses y tuberia de desfogue para un mantenimiento peri6dico, adem6s de un sistema de rejas en la parte superior, para evitar que vectores y basura ingresen a la c6mara y obstruyan el sistema de tuberias.

9.5.4. Propuesta de construcción de nueva línea de tratamiento de agua residual doméstica

Como una opción para disminuir el caudal que ingresa a la PTAR 1 y tratar el agua de tanques de almacenamiento de agua residual y baños, se propone la construcción de una nueva línea de tratamiento de agua residual doméstica, compuesta por un reactor anaerobio de flujo ascendente y tubería que contacte esta unidad con la PTAR 2.

- Pretratamiento para nueva línea de tratamiento: como toda planta de tratamiento de agua residual doméstica, se han de construir unidades de pretratamiento; primero se construirá un canal de rejillas para evitar el ingreso de sólidos de gran tamaño y papel higiénico acumulado en tanques de almacenamiento de agua residual y baños portátiles; luego un desarenador para evitar el ingreso de arena al “reactor anaerobio de flujo ascendente” y por último una trampa de grasa para remover las grasas que se generan en los baños, cocina y comedor del campamento. De no existir el pretratamiento, el sistema anaerobio será deficiente, no se producirá una reducción adecuada de la materia orgánica y el crecimiento de bacterias anaerobias será inhibido por las grasas. Las unidades de pretratamiento serán de mampostería reforzada y sus partes metálicas de acero inoxidable. No se podrá construir una nueva línea de tratamiento de agua residual sin la construcción de unidades de pretratamiento.
- Construcción de patio de secado: el proceso de tratamiento de agua residual por medio de la construcción de un reactor anaerobio de flujo ascendente, producirá gas amoníaco y lodos; es por eso necesario construir un patio de secado de lodos, el cual deshidratará el lodo producido en el reactor; este deberá ser construido de mampostería

reforzada, con columnas y soleras, además de una estructura de madera con techo de lámina acrílica, un suelo de ladrillo y filtros de grava de distintos diámetros.

- Construcción de alcantarillas de drenaje de nueva línea de tratamiento a PTAR 2: el agua residual de la nueva línea de tratamiento hasta la PTAR 2, será conducida por un sistema de alcantarillas clásico o convencional por gravedad, construido con tubería de PVC corrugada y pozos de visita típicos de ladrillo; para la construcción de este sistema se deberá hacer una topografía del lugar por donde pase la tubería.

Conclusiones

1. Se determinó que la hipótesis planteada no se cumple, ya que la eficiencia de remoción de DBO_5 fue en promedio del 80%, y los efluentes domésticos en cuanto a los valores de sólidos suspendidos, nitrógeno total y fósforo total determinados, son superiores a los límites máximos permisibles establecidos por el Acuerdo Gubernativo 236-2006, del Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales.
2. Los caudales característicos, medio, máximo y mínimo, en el afluente y efluente de la PTAR 1 son: 1,35 l/s, 8,84 l/s y 0,36 l/s; y 1,41 l/s, 2,28 l/s y 0,87 l/s, respectivamente.
3. Los caudales característicos, medio, máximo y mínimo, en la entrada y salida de agua residual de la PTAR 2 son: 0,21 l/s, 0,72 l/s y 0,03 l/s y 0,27 l/s, 2,31 l/s y 0,00 l/s, respectivamente.
4. Los caudales característicos, medio, máximo y mínimo, en el afluente y efluente de la PTAR 3 son: 0,25 l/s, 1,19 l/s y 0,03 l/s y 0,18 l/s, 0,39 l/s y 0,00 l/s, respectivamente.
5. Las tres plantas de tratamiento de agua residual doméstica analizadas no cumplen con los límites máximos permisibles establecidos por el Acuerdo Gubernativo 236-2006, para los sólidos suspendidos y nitrógeno total.

6. En la caracterización del agua residual doméstica se determinó que la carga orgánica promedio que está ingresando a la PTAR 1 es de 70 kg DBO₅/d, la cual aumentó en un 133 %. Por lo tanto con base a las tablas XLV y XLIX, se determinó que la planta se está sobrecargando hidráulica y orgánicamente.
7. Partiendo de la caracterización del agua residual doméstica se comprobó, que el índice volumétrico de lodos (IVL) en las plantas de tratamiento 1 y 3 es de 83,33 ml/g y 79,73 ml/g, respectivamente; lo que indica una biomasa de buena sedimentabilidad. La PTAR 2 presenta un IVL de 133 ml/g, que indica lodos de sedimentabilidad pobre, lo que provoca hinchamiento del mismo.
8. A partir de los análisis fisicoquímicos y biológicos realizados a los lodos generados de las tres plantas de tratamiento de agua residual, estos se pueden reutilizar como abono para reforestación, debido a la cantidad de nutrientes que poseen, después de un proceso de deshidratación.
9. Según la evaluación del funcionamiento de las unidades de las plantas de tratamiento de agua residual doméstica, se ha determinado que se debe mejorar en las unidades de pretratamiento, cámara de contacto (sistema de desinfección), sedimentadores, y patios de secado de las PTAR 2 y 3, además del tanque compensador y sedimentador de alta carga de la PTAR 1.

10. Con base en los análisis fisicoquímicos y biológicos de las tres plantas de tratamiento de agua residual, el efluente no se puede utilizar para riego, hasta que se implementen las propuestas de mejora, ya que el agua contiene valores de coliformes fecales que no cumplen con lo exigido por la normativa 236-2006, para ser utilizado con fines de riego tipos I y III.
11. Se deben realizar las propuestas de mejora planteadas en este estudio, para que mejore la calidad del efluente de las tres plantas de tratamiento de agua residual doméstica analizadas, de tal manera que se cumpla con los límites máximos permisibles de los parámetros fisicoquímicos y biológicos establecidos por el Acuerdo Gubernativo 236-2006.
12. Los valores puntuales promedio de los parámetros DBO₅, sólidos suspendidos, nitrógeno total y fósforo total de las descargas de lodos de los baños portátiles son: 10 920 mg/l, 51 200 mg/l, 1936 mg/l y 442 mg/l, respectivamente.
13. Los valores puntuales promedio de los parámetros DQO, DBO₅, sólidos suspendidos, nitrógeno total y fósforo total de los tanques de almacenamiento de agua residual son: 970 mg/l, 583 mg/l, 243 mg/l y 16 mg/l, respectivamente.
14. Según la caracterización de los lodos descargados en la PTAR 2, se determinó que esta planta no tiene la capacidad de tratarlos, debido a la alta carga orgánica de estos y a la ausencia de una cámara de mezcla que sirva para diluir su concentración.

15. Los lodos producidos en los baños portátiles son descargados diariamente en la PTAR 2; los tanques de almacenamiento ubicados en EMO, HERGO, y vivero son limpiados 1 vez por semana, y el tanque ubicado en la garita principal, es limpiado con una frecuencia de 2 días.
16. En la evaluación de la descarga de los lodos se determinó, que un jueves cada 15 días se produce el volumen mayor descargado hacia la PTAR 2, con un valor aproximado de 9 metros cúbicos. El valor promedio de descarga es de 3 metros cúbicos repartido en las PTAR 2 y 3, y diariamente se recolectan 2 metros cúbicos de lodos producidos en baños portátiles que son tratados por la PTAR 2.
17. Se elaboró el mapa con la ubicación exacta de baños portátiles, tanques de almacenamiento de agua residual y plantas de tratamiento de agua residual, en el que se determinó que las rutas para acceder a estos son adecuadas, sin embargo el proceso puede mejorar, tomando en cuenta las propuestas de mejora incluidas en este trabajo.
18. El análisis de alternativas mostró que la alternativa de ejecución 1 o seleccionada es superior a la alternativa 2, fundamentada en su mayor eficiencia, menor costo de ejecución y factibilidad constructiva.

Recomendaciones

1. Implementar la propuesta de mejoras para las tres plantas de tratamiento de agua residual doméstica en la mina Marlin, con el propósito de que su eficiencia sea mayor del 80%, y que se cumpla con los límites máximos permisibles establecidos por el Acuerdo Gubernativo 236-2006 del Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales, de los siguientes parámetros físicos, químicos y biológicos: color aparente, sólidos suspendidos, temperatura, fósforo total, nitrógeno total, potencial de hidrógeno, DBO₅ y coliformes fecales.
2. Monitorear los caudales de ingreso, salida y recirculación como mínimo una vez por semana, y continuar con los análisis fisicoquímicos y biológicos, para el control y registro de la calidad del afluente y efluente de las plantas de tratamiento de agua residual doméstica analizadas.
3. Programar y ejecutar anualmente un mantenimiento mayor de las tres plantas de tratamiento de agua residual, que ha de incluir: cambio de impulsores y cojinetes de la maquinaria hidráulica, limpieza de las unidades y cambio de partes metálicas oxidadas.
4. Caracterizar quincenalmente por medio de análisis fisicoquímicos, los lodos producidos en baños portátiles y tanques de almacenamiento de agua residual, para tener el control y registro de dichas descargas.

5. Al implementarse las mejoras propuestas en este proyecto, deberá iniciarse el programa de reutilización del agua residual doméstica, para riego tipo I y III, según el Acuerdo Gubernativo 236-2006, o para regar los caminos de terracería de la empresa en época de verano y días soleados.
6. Implementar un programa de capacitación para el personal de recolección y limpieza de baños portátiles y operarios de las plantas de tratamiento de agua residual, en los cuales se deberán incluir temas sobre: agua residual y la importancia de su manejo adecuado.
7. Realizar un programa para concientizar a los trabajadores y contratistas de la mina Marlin, sobre el ahorro y consumo de agua potable, con la finalidad de disminuir el agua residual doméstica producida.
8. Realizar estudios microbiológicos en la cámara de aireación, zona de sedimentación y recirculación de lodos a las tres plantas de tratamiento de agua residual doméstica analizadas, con el objeto de conocer los microorganismos predominantes en cada planta e identificar si hay un exceso de bacterias filamentosas y hongos que pueden ser los responsables del hinchamiento de lodos o abundante espuma carmelita oscura gruesa y grasosa, lo cual repercute en la sedimentabilidad del flóculo biológico.
9. En el momento en el que por necesidades propias de la empresa se tenga que cambiar la ubicación de un baño portátil o varios de estos, se deberá notificar, registrar y georreferenciar a la gerencia de ambiente, para tener el registro y control de los baños portátiles.

Bibliografía

1. Agua Saludable. *Catálogo de servicios de agua saludable*. México 2013. No. 9 p.
2. Bombas Ideal, serie ABS. *Catálogo de productos y especificaciones técnicas, C-9 1072*. Valencia, España, 2013. No. 267 p.
3. BORGUES CASTILLO, E.; GARCÍA SOSA, J. *Tratamiento de efluente de fosas sépticas por el proceso de lodos activados*. Universidad Autónoma de Yucatán. Facultad de Ingeniería. México, 2011. 9 p.
4. CASTELLANOS, Ramón; ROMERO, Manlia. *Rehabilitación del sistema lagunar de la planta piloto, Ingeniero Arturo Pazos Sosa, para su aprovechamiento con fines de riego*. Trabajo de graduación de Maestría en Ciencias de Ingeniería Sanitaria. Universidad de San Carlos de Guatemala. Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria. Guatemala, Guatemala, 2004. 127 p.
5. DI MARZIO, Walter Darío. *Microbiología de los lodos activados, una herramienta retrospectiva y predictiva de la depuración de efluentes*. Asociación Interamericana De Ingeniería Sanitaria. México, septiembre, 2004. 17 p.

6. Metcalf & Eddy. *Ingeniería de aguas residuales. tratamiento, vertido y reutilización*. 3a. ed. México: McGraw Hill, 1996. 1485 p.
7. Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales. Acuerdo Gubernativo 236-2006. *Reglamento de las descargas y reuso de aguas residuales y de la disposición de los lodos*. Guatemala, 2006. 24 p.
8. MORALES, Boburg; GUILLERMO, Carlos Federico. *Propuesta de tratamiento de las aguas residuales y de su reutilización para un rastro de porcinos*. Trabajo de graduación de Maestría en Ciencias de Ingeniería Sanitaria. Universidad de San Carlos de Guatemala. Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria. Guatemala, Guatemala, 2010. 102 p.
9. MUCH SANTOS, Zenón. *Apuntes sobre aguas negras. Aspectos relacionados con las descargas de aguas residuales de origen doméstico*. Guatemala: Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria y Recursos Hidráulicos. Guatemala, año 2012. 77 p.
10. ORTEGA, Nuria Martí. *Precipitación del fósforo en procesos de digestión anaerobia*. Artículo científico de "Boca Ratón". Estados Unidos de Norte América, 2006. 25 p.
11. PELCZAR, Michael; REID, Roger; CHAN, Eddie Chin. *Microbiología sanitaria*. 4a. ed. México: McGraw Hill, 1982. 826 p.
12. Proarca Sigma. *Guía para el manejo de excretas y aguas residuales municipales*. Universidad de San Carlos de Guatemala. Escuela

- Regional de Ingeniería Sanitaria. Guatemala, Guatemala. 2004.
96 p.
13. RODRÍGUEZ, Edmundo; SÁNCHEZ, Manolo. *Evaluación de la planta de tratamiento de aguas residuales de Panajachel, Sololá*. Trabajo de graduación de Maestría en Ciencias de Ingeniería Sanitaria. Universidad de San Carlos de Guatemala. Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria. Guatemala, 2001. 110 p.
 14. ROMERO ROJAS, Jairo Alberto. *Tratamiento de aguas residuales. Teoría y principios de diseño*. Tercera reimpresión. Colombia: Editorial Escuela Colombiana de Ingeniería, 2010. 1248 p.
 15. ROSSIL PALACIOS, Mónica Lucía. *Consideración de diseño en época de transitoriedad*. Universidad Francisco Marroquín, Facultad de Arquitectura, Guatemala, 2000. 173 p.
 16. RUSSELL, David L. *Tratamiento de aguas residuales, un enfoque práctico*. Estados Unidos de Norte América: Editorial Reverté, Global Environmental Operations, Inc., 2006. 273 p.
 17. SAKURAI, Kunitoshi. *Diseño de rutas de recolección de desechos sólidos*. Centro Panamericano De Ingeniería Sanitaria y Ciencias de Ambiente. Perú 1980. 21 p.
 18. SLAIFSTEIN Sergio. *Concepto de PH*. Ministerio de Educación de Argentina. Argentina, julio, 2007. 7 p.

19. VALERIANO, Galindo; VALERIANO, Carlos René. *Estudio, caracterización y tratamiento de lodos provenientes de fosas sépticas*. Trabajo de graduación de Maestría en Ciencias de Ingeniería Sanitaria. Universidad de San Carlos de Guatemala. Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria. Guatemala, Guatemala. 2010. 22 p.
20. VILCAPAZA MAMANI, Edwin. *Informe de contaminación al lago Titicaca en Perú*. Ministerio de Ambiente. Perú, septiembre de 2009. 9 p.
21. ZORNOZA, Andrés et al. *Control del proceso de cloración de un episodio de bulking filamentoso mediante el seguimiento de protozoos ciliados*. Instituto Universitario de investigación de Ingeniería de Agua y Medio Ambiente, Universidad Politécnica de Valencia. Valencia, España, 2008. 22 p.

APÉNDICE

Apéndice 1. Hojas de diseño

Apéndice 1a. Hoja de diseño de canal de rejillas y canal de aproximación, para la PTAR 2

Análisis y propuesta de mejoras para las tres plantas de tratamiento de agua residual doméstica Montaña Exploradora de Guatemala S.A.		Canal de rejillas y canal de aproximación PTAR 2 o Planta ISMS									
		Caudal de diseño = Caudal máximo registro en PTAR 2 según estudio realizado									
		Cálculos									
		Datos									
Variable	Descripción	Intervalo	Valor	Unidad	Variable	Descripción	Criterio	Valor	Unidad	Chequeo	
Qd	Caudal de diseño		0,712	l/s	Ah	Área hidráulica	B^2y	0,003	m ²		
Qd	Caudal de diseño		0,001	m ³ /s	Pm	Perímetro mojado	$2y+C$	0,320	m		
B	Ancho del canal de rejillas	< 0,30	0,300	m	Rh	Radio hidráulico	A/Pm	0,009	m		
n`	Coefficiente de Manning	concreto	0,013		v	Velocidad	Qd/A	0,237	m/s	0,20-0,60	
L1	Largo de la canasta de secado	0,30-0,60	0,400	m	S	Pendiente del canal	$\sqrt{(n^*v/A^*Rh^{2/3})}$	0,005	m/m		
y	Tirante del agua		0,010	m		Cambio de nivel	S*L	0,010	m		
L	Largo del canal de rejillas	>1,30	1,500	m	TRH	Tiempo de retención	L/v	6,320	s	> 3,00	
Y	Alto total del canal	> 0,30 + y	0,600	m	yo	Borde libre	Y-y	0,590	m	+	
ab	Ancho de barra		1	plg	Ef	Eficiencia canal de rejillas	eb/(tb+eb)	75,90%	%		
ab	Ancho de barra		25,400	mm	Lb	Longitud de barra	Y/Seno (Φ)	0,850	m		
wb	Espesor de barra		¼	plg	Lh	Longitud horizontal	Y/cOS (Φ)	0,850	m		
wb	Espesor de barra		6,350	mm	Nb	Número de barras	(B-eb)/(t+e)	11,000	Unidad		
eb	Espacio entre barras	0,02-0,04	0,020	m	Ab	Área hidráulica en la zona de barras	$y*(B-(Nb*tb))$	0,002	m ²		
Φ	Angulo de inclinación de las barras	24-60	45	o	vb	Velocidad entre barras	Qd/Ab	0,310	m/s	0,30-0,60	
K	Coefficiente de pérdida de rejillas		0,700	Ad	hf	Pérdida de carga en las rejillas	$(1/K)(vb^2-v^2)/2g$	0,010	m		
g	Aceleración de la gravedad		9,810	m ² /s							

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 1b. Hoja de diseño de canal de rejas y canal de aproximación, para la PTAR 3

Análisis y propuesta de mejoras para las tres plantas de tratamiento de agua residual doméstica. Montana Exploradora de Guatemala S.A.		Canal de rejas y canal de aproximación PTAR 3 o planta Túnel									
		Caudal de diseño = Caudal máximo registro en PTAR 3 según estudio realizado									
		Datos					Cálculos				
Variable	Descripción	Intervalo	Valor	Unidad	Variable	Descripción	Criterio	Valor	Unidad	Chequeo	
Qd	Caudal de diseño		1,190	l/s	Ah	Área hidráulica	B^2y	0,003	m ²		
Qd	Caudal de diseño		0,001	m ³ /s	Pm	Perímetro mojado	$2y+C$	0,320	m		
B	Ancho del canal de rejas	< 0,30	0,300	m	Rh	Radio hidráulico	A/Pm	0,009	m		
n'	Coefficiente de Manning	concreto	0,013		v	Velocidad	Qd/A	0,397	m/s	0,20-0,60	
L1	Largo de la canasta de secado	0,30-0,60	0,400	m	S	Pendiente del canal	$\sqrt{(n'^2v/A^2Rh^2(2/3))}$	0,013	m/m		
Y	Tirante del agua		0,010	m		Cambio de nivel	S*L	0,020	m		
L	Largo del canal de rejas	> 1,30	1,500	m	TRH	Tiempo de retención	L/v	3,780	s	> 3,00	
Y	Alto total del canal	> 0,30 + y	0,600	m	yo	Borde libre	Y-y	0,590	m	+	
ab	Ancho de barra		1	plg	Ef	Eficiencia canal de rejas	$eb/(tb+eb)$	75,90%	%		
ab	Ancho de barra		25,40	mm	Lb	Longitud de barra	Y/Iseno (Φ)	0,850	m		
wb	Espesor de barra		1/4	plg	Lh	Longitud horizontal	Y/cOS(Φ)	0,850	m		
wb	Espesor de barra		6,350	mm	Nb	Número de barras	$(B-eb)/(t+e)$	11,000	Unidad		
eb	Espacio entre barras	0,02-0,04	0,020	m	Ab	Área hidráulica en la zona de barras	$y^*(B-(Nb*tb))$	0,002	m ²		
Φ	Angulo de inclinación de las barras	24-60	45	°	vb	Velocidad entre barras	Qd/Ab	0,520	m/s	0,30-0,60	
K	Coefficiente de pérdida de rejas		0,700	Ad	hf	Pérdida de carga en las rejas	$(1/K)(vb^2-v^2)/2g$	0,020	m		
g	Aceleración de la gravedad		9,810	m ² /s							

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 1c. Hoja de diseño de canal de rejas y canal de aproximación para la PTAR 2 (nueva línea de tratamiento)

Análisis y propuesta de mejoras para las tres plantas de tratamiento de agua residual doméstica. Montana Exploradora de Guatemala S.A.				Canal de rejas y canal de aproximación PTAR 2 o Planta ISMS (nueva línea de tratamiento)						
Caudal de diseño = Caudal máximo producido en campamento más descargas de agua residual producidas en baños portátiles y tanques de almacenamiento				Cálculos						
Datos				Cálculos						
Variable	Descripción	Intervalo	Valor	Unidad	Variable	Descripción	Criterio	Valor	Unidad	Chequeo
Qd	Caudal de diseño		0,695	l/s	Ah	Área hidráulica	B^*y	0,003	m ²	
Qd	Caudal de diseño		0,001	m ³ /s	Pm	Perímetro mojado	$2y+C$	0,320	m	
B	Ancho del canal de rejas	< 0,30	0,300	m	Rh	Radio hidráulico	A/Pm	0,009	m	
n'	Coefficiente de Manning	concreto	0,013		v	Velocidad	Qd/A	0,232	m/s	0,20-0,60
L1	Largo de la canasta de secado	0,30-0,60	0,400	m	S	Pendiente del canal	$\sqrt{(n^*/v/A^*Rn^{(2/3)})}$	0,005	m/m	
y	Tirante del agua		0,010	m		Cambio de nivel	S*L	0,010	m	
L	Largo del canal de rejas	> 1,30	1,500	m	TRH	Tiempo de retención	L/v	6,470	s	> 3,00
Y	Alto total del canal	> 0,30 + y	0,600	m	yo	Borde libre	Y-y	0,590	m	+
ab	Ancho de barra		1	plg	Ef	Eficiencia canal de rejas	$eb/(tb+eb)$	75,90%	%	
ab	Ancho de barra		25,400	mm	Lb	Longitud de barra	$Y/\text{Seno}(\Phi)$	0,850	m	
wb	Espesor de barra		1/4	plg	Lh	Longitud horizontal	$Y/\text{cos}(\Phi)$	0,850	m	
wb	Espesor de barra		6,350	mm	Nb	Número de barras	$(B-eb)/(t+e)$	11,000	Unidad	
eb	Espacio entre barras	0,02-0,04	0,020	m	Ab	Área hidráulica en la zona de barras	$y^*(B-(Nb*tb))$	0,002	m ²	
Φ	Angulo de inclinación de las barras	24-60	45	°	vb	Velocidad entre barras	Qd/Ab	0,300	m/s	0,30-0,60
K	Coefficiente de pérdida de rejas		0,700	Ad	hf	Pérdida de carga en las rejas	$(1/K)(vb^2-v^2)/2g$	0,010	m	
g	Aceleración de la gravedad		9,810	m ² /s						

Fuente: elaboración propia.

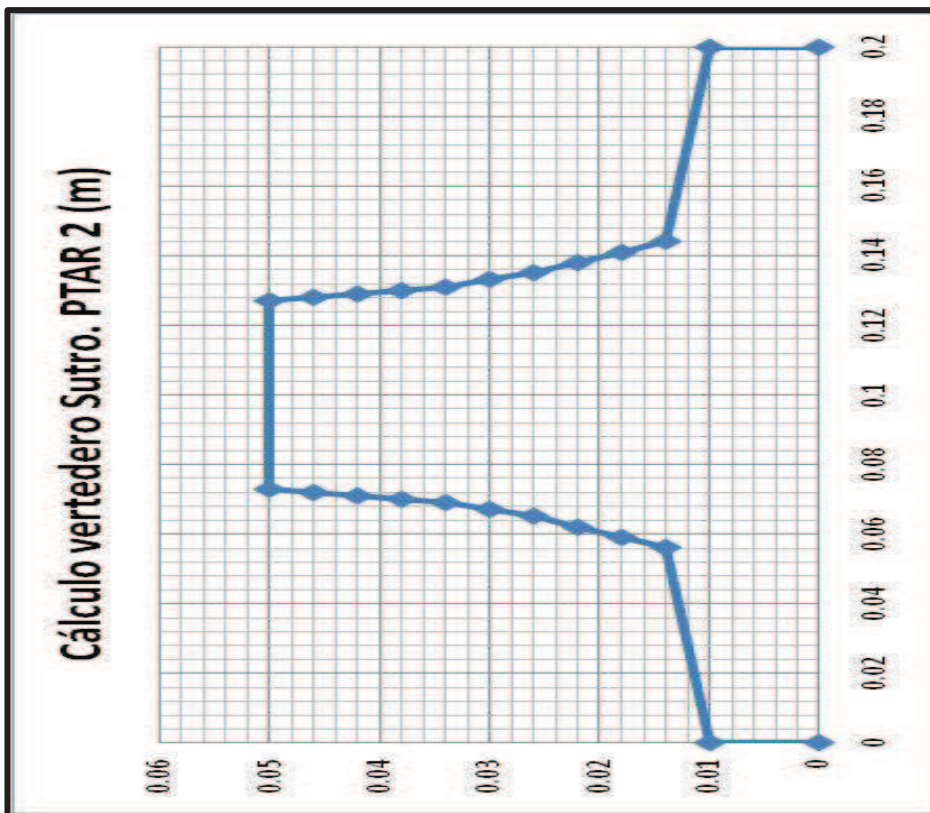
Apéndice 1d. Hoja de diseño del desarenador, para la PTAR 2

Análisis y propuesta de mejoras para las tres plantas de tratamiento de agua residual doméstica, Montaña Exploradora de Guatemala S.A.					Desarenador PTAR 2 o Planta ISMS					
Datos					Cálculos					
Variable	Descripción	Intervalo	Valor	Unidad	Variable	Descripción	Criterio	Valor	Unidad	Chequeo
Qd	Caudal de diseño		0,7181	l/s	B	Ancho del canal	$Q/(v \max * y \max)$	0,3000	m	>0,30
Qd	Caudal de diseño		0,0007	m ³ /s	L	Largo del canal de rejillas	$v \max * TRH$	2,2000	m	
Q med	Caudal medio		0,0002	m ³ /s	r	Relación largo / alto	L / ymax	44	Ad	> 25
Q min	Caudal mínimo		0,00003	m ³ /s	Lt	Longitud de transición	$(0,10+B-0,5Br)/\text{sen } \phi$	0,5000	m	
N	Número de desarenadores		2	Unidad	Ah	Area hidráulica	B*y max	0,0150	m ²	
y max	Altura del agua máximo		0,0500	m	Pm	Perímetro mojado	2y+B	0,4000	m	
y min	Altura del agua mínima		0,0500	m	Rh	Radio hidráulico	Ah/Pm	0,0400	m	
TRH	Tiempo de retención	40-60	45,0000	s	yo	Borde libre	Y-y max	0,5500	m	
vs	Velocidad de sedimentación	$\phi > 0,20$	0,0200	m/s	TRH min	Tiempo de retención mínimo	L/v min	57,2900	s	40-60
vmax	Velocidad horizontal max		0,0480	m/s	Ka	Coefficiente A	24(v/D)	0,1200	Ad	
vmin	Velocidad horizontal mínima	0,80*v máx.	0,0384	m/s	Kb	Coefficiente B	$3/(D/v)^{(1/2)}$	0,2130	Ad	
CUS	Carga por unidad de superficie	600-1200	600	m ³ /(m ² *día)	Kc	Coefficiente C	$(4 * g * D * (p-1)) / 3$	0,0043	Ad	
ϕ	Angulo de transición	30-60	30	°	Cd	Coefficiente de sedimentación	$(Kav/s) * (Kb / (Vs^{(1/2)} * 2)) + 0,34$	7,9100	Ad	
	Factor de compensación		1,5000	Ad		Velocidad de sedimentación comprobación	$1 - vs / ((Kc/Cd)^{(1/2)})$	14,38%	m/s	20,00%
Br	Base del canal de rejillas		0,3000	m	vd	Velocidad de arrastre	$44 * (D * 1000)^{(1/2)}$	0,2000	cm/s	
Y	Altura total del canal		0,6000	m	Td	Periodo de retención partículas	L/vd	11,1800	s	Td < TRH
D	Diámetro de la partícula		0,0002	m	hV min	Altura vertedero para Q med	$Q \min / (1,84 * K)$	0,0150	m	
v	Viscosidad cinemática del agua residual		1,0105E-06	m ² /s	hV med	Altura vertedero para Q min	$Q \text{ med} / (1,84 * K)$	0,0020	m	
p	Densidad de la arena	2,5-2,7	2,6500	gm/cm ³	hV max	Altura vertedero para Q	ymax	0,0500	m	
g	Aceleración de la gravedad		9,8100	m ² /s	bV med	Base vertedero para Q med	$Q \text{ med} / (1,84 * y \text{ med}^{(3/2)})$	0,0080	m	
bV	Base del vertedero Suro	< B	0,2000	m	bV min	Base vertedero para Q min	$Q \min / (1,84 * y \min^{(3/2)})$	1,3790	m	
aV	Altura base rectángulo vertedero	< 0,01	0,0100	m	bV max	Base vertedero para Q max	$Q / (1,84 * y^{(3/2)})$	0,0350	m	
					K	Coefficiente de pérdida de energía cinemática	$Q / (1,84 * y)$	0,0078	Ad	

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 1e. Cálculo de vertedero Sutró, para la PTAR 2

Cálculo vertedero Sutró PTAR 2				
%base	Altura	x	y	Caudal (m ³ /s)
0	0	0	0	0,0000
0,000	0,010	0	0,010	0,0008
0,089	0,014	0,056	0,014	0,0015
0,082	0,018	0,059	0,018	0,0024
0,076	0,022	0,062	0,022	0,0034
0,071	0,026	0,065	0,026	0,0045
0,067	0,030	0,067	0,030	0,0057
0,063	0,034	0,069	0,034	0,0069
0,060	0,038	0,070	0,038	0,0083
0,058	0,042	0,071	0,042	0,0097
0,056	0,046	0,072	0,046	0,0112
0,054	0,050	0,073	0,050	0,0128
0,054	0,050	0,127	0,050	0,0128
0,056	0,046	0,128	0,046	0,0112
0,058	0,042	0,129	0,042	0,0097
0,060	0,038	0,130	0,038	0,0083
0,063	0,034	0,131	0,034	0,0069
0,067	0,030	0,133	0,030	0,0057
0,071	0,026	0,135	0,026	0,0045
0,076	0,022	0,138	0,022	0,0034
0,082	0,018	0,141	0,018	0,0024
0,089	0,014	0,144	0,014	0,0015
0,100	0,010	0,200	0,010	0,0008
0,200	0,000	0,200	0,000	0,0000



Fuente: elaboración propia.

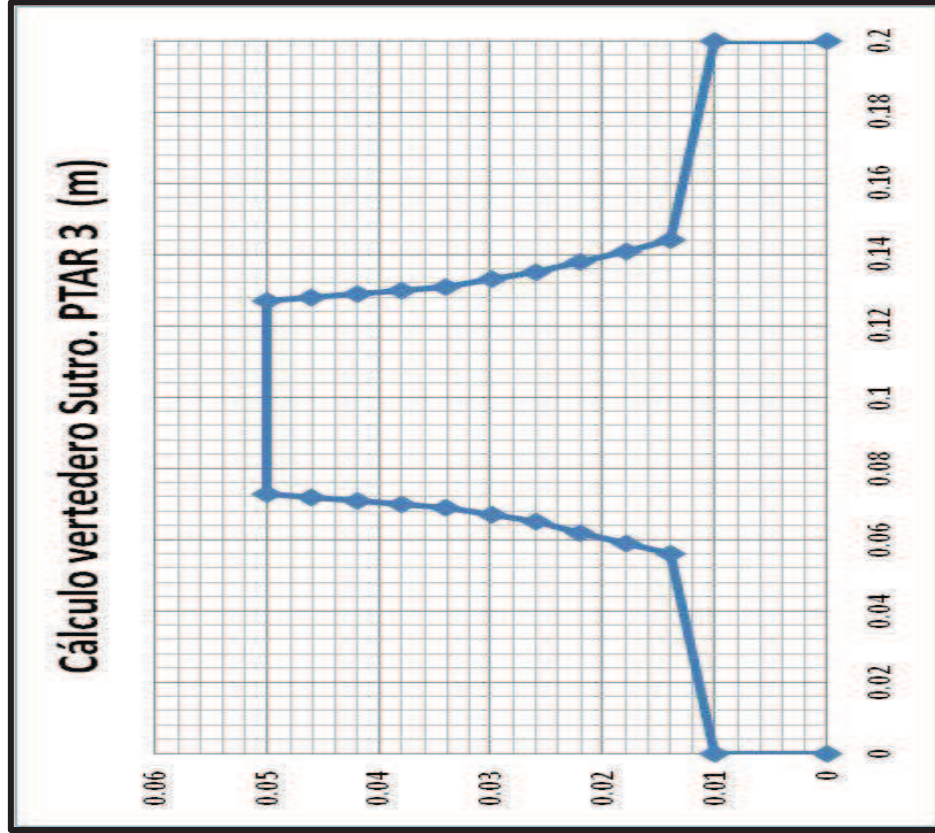
Apéndice 1f. Hoja de diseño del desarenador, para la PTAR 3

Análisis y propuesta de mejoras para las tres plantas de tratamiento de agua residual doméstica. Montaña Exploradora de Guatemala S.A.		Desarenador PTAR 3 o Planta Túnel										
		Caudal de diseño = Caudal máximo registro en PTAR 3 según estudio realizado										
		Cálculos										
Datos		Variable	Descripción	Intervalo	Valor	Unidad	Variable	Descripción	Criterio	Valor	Unidad	Chequeo
Qd	Caudal de diseño				1,1903	l/s	B	Ancho del canal	$Q/(v \max * y \max)$	0,3000	m	>0,30
Qd	Caudal de diseño				0,0012	m ³ /s	L	Largo del canal de rejías	$v \max * TRH$	3,6000	m	
Q med	Caudal medio				0,0003	m ³ /s	r	Relación largo / alto	$L / y \max$	72	Ad	> 25
Q min	Caudal mínimo				0,00003	m ³ /s	Lt	Longitud de transición	$(0,10+B-0,5Br)/\text{sen } \phi$	0,5000	m	
N	Número de desarenadores				2	Unidad	Ah	Área hidráulica	$B * y \max$	0,0150	m ²	
y max	Altura del agua máximo				0,0500	m	Pm	Perímetro mojado	$2y+B$	0,4000	m	
y min	Altura del agua mínima				0,0500	m	Rh	Radio hidráulico	Ah/Pm	0,0400	m	
TRH	Tiempo de retención			40-60	45,0000	s	yo	Borde libre	$Y-y \max$	0,5500	m	
vs	Velocidad de sedimentación			$\phi > 0,20$	0,0200	m/s	TRH min	Tiempo de retención mínimo	$L/v \min$	56,2500	s	40-60
vmax	velocidad horizontal max				0,0800	m/s	Ka	Coefficiente A	$24/(V/D)$	0,1200	Ad	
vmin	Velocidad horizontal mínima			$0,80 * v \max$	0,0640	m/s	Kb	Coefficiente B	$3/(D/v)^(1/2)$	0,2130	Ad	
CUS	Carga por unidad de superficie			600-1200	600	m ³ /(m ² * día)	Kc	Coefficiente C	$(4 * g * D * (p-1))/3$	0,0043	Ad	
ϕ	Angulo de transición			30-60	30	°	Cd	Coefficiente de sedimentación	$(Ka/vs) + (Kb/(Vs * (1/2))) + 0,34$	7,9100	Ad	
	Factor de compensación				1,5000	Ad		Velocidad de sedimentación comprobación	$vs / ((Kc/Cd)^(1/2))$	14,38%	m/s	20,00%
Br	Base del canal de rejías				0,3000	m	vd	Velocidad de arrastre	$44 * (D * 1000)^(1/2)$	0,2000	cm/s	
Y	Altura total del canal				0,6000	m	Td	Periodo de retención partículas	L/vd	18,3000	s	$Td < TRH$
D	Diámetro de la partícula				0,0002	m	hV min	Altura vertedero para Q med	$Q \min / (1,84 * K)$	0,0110	m	
v	Viscosidad cinemática del agua residual				1,01E-06	m ² /s	hV med	Altura vertedero para Q min	$Q \text{ med} / (1,84 * K)$	0,0010	m	
p	Densidad de la arena			2,5-2,7	2,6500	gm/cm ³	hV max	Altura vertedero para Q	$Y \max$	0,0500	m	
g	Aceleración de la gravedad				9,8100	m ² /s	bV med	Base vertedero para Q med	$Q \text{ med} / (1,84 * y \text{ med}^(3/2))$	0,0170	m	
bV	Base del vertedero Sutró			< B	0,2000	m	bV min	Base vertedero para Q min	$Q \min / (1,84 * y \min^(3/2))$	2,5060	m	
aV	Altura base rectángulo vertedero			< 0,01	0,0100	m	bV max	Base vertedero para Q max	$Q / (1,84 * y^(3/2))$	0,0580	m	
							K	Coefficiente de pérdida de energía cinemática	$Q / (1,84 * y)$	0,0129	Ad	

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 1g. Cálculo de vertedero Sutró, para la PTAR 3

Cálculo vertedero Sutró PTAR 3				
Base	Altura	x	y	Caudal (m ³ /s)
0	0	0	0	0,0000
0,000	0,010	0	0,010	0,0008
0,089	0,014	0,056	0,014	0,0015
0,082	0,018	0,059	0,018	0,0024
0,076	0,022	0,062	0,022	0,0034
0,071	0,026	0,065	0,026	0,0045
0,067	0,030	0,067	0,030	0,0057
0,063	0,034	0,069	0,034	0,0069
0,060	0,038	0,070	0,038	0,0083
0,058	0,042	0,071	0,042	0,0097
0,056	0,046	0,072	0,046	0,0112
0,054	0,050	0,073	0,050	0,0128
0,054	0,050	0,127	0,050	0,0128
0,056	0,046	0,128	0,046	0,0112
0,058	0,042	0,129	0,042	0,0097
0,060	0,038	0,130	0,038	0,0083
0,063	0,034	0,131	0,034	0,0069
0,067	0,030	0,133	0,030	0,0057
0,071	0,026	0,135	0,026	0,0045
0,076	0,022	0,138	0,022	0,0034
0,082	0,018	0,141	0,018	0,0024
0,089	0,014	0,144	0,014	0,0015
0,100	0,010	0,200	0,010	0,0008
0,200	0,000	0,200	0,000	0,0000



Fuente: elaboración propia.

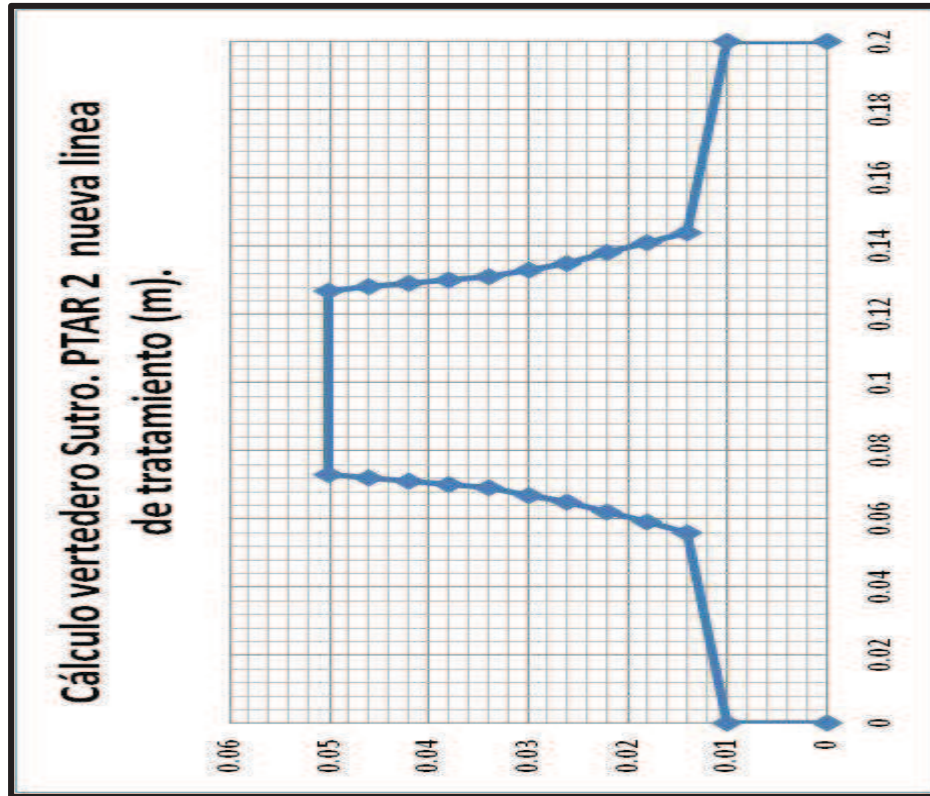
Apéndice 1h. Hoja de diseño del desarenador, para la PTAR 2 (nueva línea de tratamiento)

Análisis y propuesta de mejoras para las tres plantas de tratamiento de agua residual doméstica. Montaña Exploradora de Guatemala S.A.				Canal de rejillas y canal de aproximación PTAR 2 o Planta ISMS (nueva línea de tratamiento)						
Datos				Cálculos						
Variable	Descripción	Intervalo	Valor	Unidad	Variable	Descripción	Criterio	Valor	Unidad	Chequeo
Qd	Caudal de diseño		0,6950	l/s	B	Ancho del canal	$Q/(v \max * y \max)$	0,3000	m	>0,30
Qd	Caudal de diseño		0,0007	m ³ /s	L	Largo del canal de rejillas	$v \max * TRH$	2,1000	m	
Q med	Caudal medio		0,0006	m ³ /s	r	Relación largo / alto	L/y max	42	Ad	> 25
Q min	Caudal mínimo		0,0002	m ³ /s	Lt	Longitud de transición	$(0,10+B-0,5Br)/\text{sen } \phi$	0,5000	m	
N	Número de desarenadores		2	Unidad	Ah	Área hidráulica	B*y max	0,0150	m ²	
y max	Altura del agua máximo		0,0500	m	Pm	Perímetro mojado	2y+B	0,4000	m	
y min	Altura del agua mínima		0,0500	m	Rh	Radio hidráulico	Ah/Pm	0,0400	m	
TRH	Tiempo de retención	40-60	45,0000	s	yo	Borde libre	Y-y max	0,5500	m	
vs	Velocidad de sedimentación	$\phi > 0,20$	0,0200	m/s	TRH min	Tiempo de retención mínimo	L/v min	57,0700	s	40-60
vmax	Velocidad horizontal max		0,0460	m/s	Ka	Coficiente A	$24/(v/D)$	0,1200	Ad	
vmin	Velocidad horizontal mínima	$0,80 * v \max$	0,0368	m/s	Kb	Coficiente B	$3/(D/v)^(1/2)$	0,2130	Ad	
CUS	Carga por unidad de superficie	600-1200	600	m ³ /(m ² *día)	Kc	Coficiente C	$(4 * g * D * (\rho - 1)) / 3$	0,0043	Ad	
ϕ	Angulo de transición	30-60	30	°	Cd	Coficiente de sedimentación	$(Ka/vs) + (Kb/(Vs * (1/2))) + 0,34$	7,9100	Ad	
	Factor de compensación		1,5000	Ad		Velocidad de sedimentación comprobación	$1 - vs / ((Kc/Cd) * (1/2))$	14,38%	m/s	20,00%
Br	Base del canal de rejillas		0,3000	m	vd	Velocidad de arrastre	$44 * (D * 1000)^(1/2)$	0,2000	cm/s	
Y	Altura total del canal		0,6000	m	Td	Periodo de retención partículas	L/vd	10,6700	s	Td < TRH
D	Diámetro de la partícula		0,0002	m	hV min	Altura vertedero para Q med	$Q \min / (1,84 * K)$	0,0420	m	
v	Viscosidad cinemática del agua residual		1,011E-06	m ² /s	hV med	Altura vertedero para Q min	$Q \text{ med} / (1,84 * K)$	0,0100	m	
p	Densidad de la arena	2,5-2,7	2,6500	gm/cm ³	hV max	Altura vertedero para Q	Y max	0,0500	m	
g	Aceleración de la gravedad		9,8100	m ² /s	bV med	Base vertedero para Q med	$Q \text{ med} / (1,84 * y \text{ med} * (3/2))$	0,0090	m	
bV	Base del vertedero Sutro	< B	0,2000	m	bV min	Base vertedero para Q min	$Q \min / (1,84 * y \min * (3/2))$	0,2950	m	
aV	Altura base rectángulo vertedero	< 0,01	0,0100	m	bV max	Base vertedero para Q max	$Q / (1,84 * y * (3/2))$	0,0340	m	
					K	Coficiente de pérdida de energía cinemática	$Q / (1,84 * y)$	0,0076	Ad	

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 1i. Cálculo de vertedero Sutro, para la PTAR 2 (nueva línea de tratamiento)

Cálculo vertedero Sutro PTAR 2 (nueva línea de tratamiento)				
Base	Altura	x	y	Caudal (m ³ /s)
0	0	0	0	0,0000
0,000	0,010	0	0,010	0,0008
0,089	0,014	0,056	0,014	0,0015
0,082	0,018	0,059	0,018	0,0024
0,076	0,022	0,062	0,022	0,0034
0,071	0,026	0,065	0,026	0,0045
0,067	0,030	0,067	0,030	0,0057
0,063	0,034	0,069	0,034	0,0069
0,060	0,038	0,070	0,038	0,0083
0,058	0,042	0,071	0,042	0,0097
0,056	0,046	0,072	0,046	0,0112
0,054	0,050	0,073	0,050	0,0128
0,054	0,050	0,127	0,050	0,0128
0,056	0,046	0,128	0,046	0,0112
0,058	0,042	0,129	0,042	0,0097
0,060	0,038	0,130	0,038	0,0083
0,063	0,034	0,131	0,034	0,0069
0,067	0,030	0,133	0,030	0,0057
0,071	0,026	0,135	0,026	0,0045
0,076	0,022	0,138	0,022	0,0034
0,082	0,018	0,141	0,018	0,0024
0,089	0,014	0,144	0,014	0,0015
0,100	0,010	0,200	0,010	0,0008
0,200	0,000	0,200	0,000	0,0000



Fuente: elaboración propia.

Apéndice 1j. Hoja de diseño de trampa de grasa, para PTAR 2

Análisis y propuesta de mejoras para las tres plantas de tratamiento de agua residual doméstica. Montana Exploradora de Guatemala S.A.				Trampa de grasa PTAR 2 o planta ISMS						
Caudal de diseño = Caudal máximo registro en PTAR 2 según estudio realizado				Cálculos						
Datos		Cálculos		Cálculos		Cálculos				
Variable	Descripción	Intervalo	Valor	Unidad	Variable	Descripción	Criterio	Valor	Unidad	Chequeo
Qd	Caudal de diseño		0,7118	l/s	As	Área superficial	$0.25 \cdot Qd$	0,1780	m ²	Q (l/s)
Qd	Caudal de diseño		0,0007	m ³ /s	B	Base	$(As/1.8)^{1/2}$	0,4000	m	
TRH	Tiempo de retención hidráulica	180-240	180	s	L	Largo	1.8B	0,7000	m	
Y	Altura total		1,0000	m	v max	Velocidad máxima	L/TRH	0,0039	m/s	
n'	Coefficiente de Manning	Concreto	0,0120	Ad	Ah	Área hidráulica	Qd / v max	0,1830	m ²	
					y	Tirante de agua	Ah/B	0,4580	m	
					yo	Borde libre	Y-y	0,5400	m	<0,30
					Pm	Perímetro mojado	2y+B	1,3200	m	
					Rh	Radio hidráulico	Ah/Pm	0,1390	m	
					S	Pendiente del canal	$(\frac{v}{\max^n}) / (Rh^{2/3})^{0.5}$	0,0130	m/m	
						Desnivel del canal	S*L	0,0100	m	

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 1k. Hoja de diseño de trampa de grasa, para la PTAR 3

Análisis y propuesta de mejoras para las tres plantas de tratamiento de agua residual doméstica. Montana Exploradora de Guatemala S.A.				Trampa de grasa PTAR 3 o planta Túnel						
Caudal de diseño = Caudal máximo registro en PTAR 3 según estudio realizado				Cálculos						
Variable	Descripción	Intervalo	Valor	Unidad	Variable	Descripción	Criterio	Valor	Unidad	Chequeo
Qd	Caudal de diseño		1,190	l/s	As	Área superficial	$0.25 \cdot Qd$	0,298	m ²	Q (l/s)
Qd	Caudal de diseño		0,001	m ³ /s	B	Base	$(As/1.8)^{1/2}$	0,500	m	
TRH	Tiempo de retención hidráulica	180-240	180	s	L	Largo	1.8B	0,900	m	
Y	Altura total		1,000	m	v max	Velocidad máxima	L/TRH	0,005	m/s	
n'	Coefficiente de Manning	Concreto	0,012	Ad	Ah	Área hidráulica	Qd / v max	0,238	m ²	
					y	Tirante de agua	Ah/B	0,476	m	
					yo	Borde libre	Y-y	0,520	m	<0,30
					Pm	Perímetro mojado	2y+B	1,450	m	
					Rh	Radio hidráulico	Ah/Pm	0,164	m	
					S	Pendiente del canal	$\frac{(v \max^n)}{(Rh^{2/3})} \cdot 0.5$	0,014	m/m	
						Desnivel del canal	S*L	0,010	m	

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 1I. Hoja de diseño de trampa de grasa, para la PTAR 2 (nueva línea de tratamiento)

Análisis y propuesta de mejoras para las tres plantas de tratamiento de agua residual doméstica. Montana Exploradora de Guatemala S.A.				Trampa de grasa PTAR 2 o planta ISMS (nueva línea de tratamiento)						
Datos				Cálculos						
Variable	Descripción	Intervalo	Valor	Unidad	Variable	Descripción	Criterio	Valor	Unidad	Chequeo
Qd	Caudal de diseño		0,700	l/s	As	Área superficial	$0.25 \cdot Qd$	0,175	m ²	Q (l/s)
Qd	Caudal de diseño		0,001	m ³ /s	B	Base	$(As/1.8)^{1/2}$	0,400	m	
TRH	Tiempo de retención hidráulica	180-240	180	s	L	Largo	1.8B	0,700	m	
Y	Altura total		1,000	m	v max	Velocidad máxima	L/TRH	0,004	m/s	
n`	Coefficiente de Manning	Concreto	0,012	Ad	Ah	Área hidráulica	$Qd / v \text{ max}$	0,180	m ²	
					y	Tirante de agua	Ah/B	0,450	m	
					yo	Borde libre	Y-y	0,550	m	<0,30
					Pm	Perímetro mojado	2y+B	1,300	m	
					Rh	Radio hidráulico	Ah/Pm	0,138	m	
					S	Pendiente del canal	$\frac{((v \text{ max} \cdot n') / (Rh^{2/3}))^{0.5}}{S \cdot L}$	0,013	m/m	
						Desnivel del canal	S*L	0,010	m	

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 1m. Hoja de diseño de patio de secado, para la PTAR 2 y PTAR 3

Análisis y propuesta de mejoras para las tres plantas de tratamiento de agua residual doméstica. Montana Exploradora de Guatemala S.A.				Patio de secado para PTAR 2 y PTAR 3						
Caudal de diseño = Caudal máximo teórico				Cálculos						
Variable	Descripción	Intervalo	Valor	Unidad	Variable	Descripción	Criterio	Valor	Unidad	Chequeo
Qd	Caudal de diseño		75	m ³ /día	LH	Aporte de lodos en húmedo	0.01*Qd	750	l/día	600-1100
día	Días de secado	30-90	30	día	LS	Aporte de lodos en seco	0.25*LH	187,50	l/día	
hL	Altura de lodos	0,20-0,50	0,40	m	VL	Volumen de lodos	días*(LH+LS)	28125	l	
N	Número de unidades	1,0-2,0	2,00	Unidad	VL	Volumen de lodos	días*(LH+LS)	28,13	m ³	
r	Relación largo ancho	1,0-3,0	1	m/m	As	Área superficial de patios	VL/hL	70,31	m ²	
w	Ancho de muros	0,10-0,20	0,15	m	Ap	Área por patio de secado	As/N	35,16	m ²	
yo	Borde libre		0,70	m	W	Ancho	raiz(Ap/r)	5,90	m	
hg 1	Altura de grava (3/8")		0,10	m	L	Largo	Ap/W	6,00	m	
hg 2	Altura de grava (1/2")		0,10	m	WT	Ancho Total	W+2w	6,20	m	
hg 3	Altura de grava (3/4")		0,10	m	LT	Largo Total	2*L+(3w)	12,45	m	
br	Base del canal de recolección		0,30	m	Y	Altura total	yo+hL+hg 1+hg 2+hg 3	1,40	m	

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 1n. Hoja de diseño del tanque de contacto, para la PTAR 2

Análisis y propuesta de mejoras para las tres plantas de tratamiento de agua residual doméstica. Montaña Exploradora de Guatemala S.A.		Tanque de contacto PTAR 2 o planta ISMS								
Caudal de diseño = Caudal medio diario de diseño		Cálculos								
Datos		Cálculos								
Variable	Descripción	Intervalo	Valor	Unidad	Variable	Descripción	Criterio	Valor	Unidad	Chequeo
Qd	Caudal de diseño		75	m ³ /d	QH	Caudal máximo horario	Qd*fhm	2,34	l/s	
Qd	Caudal de diseño		0,87	l/s	Vb	Volumen a bombear	Qd*TRH	3,13	m ³	
fhm	Factor de hora máximo	2,0-3,0	2,70	Ad	Vc	Volumen compensado	Vb(1-(tb/TRH))	2,09	m ³	
TRH	Tiempo de retención		3600	s	Vt	Volumen total	Vb+Vc	5,22	m ³	
tb	Tiempo de bombeo		1200	s	B	Base del tanque	raiz(VT/r)	1,60	m	
y	Altura de agua		1,00	m	L	Largo del tanque	2*B	3,20	m	
r	Relación base - largo	1,0-3,0	2,00	m/m	BT	Base del tanque total	B+2w	2,00	m	
ho	Borde libre		0,50	m	LT	Largo del tanque total	L+2w	3,60	m	
w	Ancho de muros		0,20	m	Y	Altura total	h+yo+2w	1,90	m	

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 1ñ. Hoja de diseño del tanque de contacto, para la PTAR 3

Análisis y propuesta de mejoras para las tres plantas de tratamiento de agua residual doméstica, Montana Exploradora de Guatemala S.A.				Tanque de contacto PTAR 3 o planta Túnel						
Datos				Cálculos						
Variable	Descripción	Intervalo	Valor	Unidad	Variable	Descripción	Criterio	Valor	Unidad	Chequeo
Qd	Caudal de diseño		2,048	l/s	LT	Longitud total del canal	$v \cdot TRH$	6,000	m	
Qd	Caudal de diseño		0,002	m ³ /s	Ah	Área hidráulica	Qd/v	0,410	m ²	
TRH	Tiempo de retención	20-60	20	min	B	Base del canal	A/y	0,600	m	
v	Velocidad de diseño		0,005	m/s	BV	Ancho de vuelta	1.5*B	0,900	m	
y	Tirante de agua	0,5-1,00	0,700	m	L	Largo del canal	3W+B	2,400	m	
W	Ancho de canal	< 0,30	0,500	m	N	Número de canales	L/T/L	3	Unidad	
w	Espesor de paredes	0,10-0,20	0,150	m	W	Ancho del tanque	$N(B+w)-w$	2,100	m	
K	Coefficiente de pérdida de carga	1,00-2,00	2,000	m	hf 1	Pérdida de carga en vueltas	$KV^2(N-1)/2g$	0,00001	m	
g	Aceleración de la gravedad		9,810	m/s	Pm	Perímetro mojado	w+2y	2,000	m	
					hf 2	Pérdida de carga en canales	$(NV^2/Rh^2/3)*L$	0,001	m	
yo	Borde libre		0,600	m	hf	Pérdida de carga completa	hf 1+hf 2	0,001	m	
					Y	Altura total	y+yo	1,300	m	

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 1o. Hoja de diseño del sedimentador de alta carga, para las PTAR 2 Y PTAR 3 “canal central de decantación”

Análisis y propuesta de mejoras para las tres plantas de tratamiento de agua residual doméstica. Montaña Exploradora de Guatemala S.A.				Sedimentador de alta carga para PTAR 2 y PTAR 3. "Canal central de decantación"						
Datos				Cálculos						
Variable	Descripción	Intervalo	Valor	Unidad	Variable	Descripción	Criterio	Valor	Unidad	Chequeo
e'	Separación de las placas en el plano horizontal		10	cm	d	Espaciamiento entre las placas (inclinado)	$e' \cdot \text{sen} \phi - e$	8,610	cm	
e	Espesor de las placas	< 8"	0,100	cm	Lu	Longitud útil dentro de las placas	$Lp - e \cdot \cos \theta$	115,00	cm	
ϕ	Angulo de inclinación		60	°	L	Longitud relativa del módulos de placas	Lu/d	13,360	m	
Lp	Longitud del módulo de placas		1,200	m	fas	Factor de área superficial	$\frac{\text{sen} \phi (\text{sen} \phi + L \cos \phi)}{S}$	6,500	Ad	
Qd	Caudal de diseño		0,002	m ³ /s	As	Área superficial de la unidad y coeficiente del módulo de placas	$Qd / \text{fas} \cdot v_s$	1,080	m ²	
vs	Velocidad de sedimentación de la partícula		0,0003	m ³ /s	N	Número de canales formados por las placas	$\frac{As \cdot \text{Sen} \phi}{B \cdot d}$	10,000	unidad	
Ef	Módulo de eficiencia		1	ad	LT	Longitud total de los decantadores	$\frac{1 + \cos \phi + (Nd + (N+1) \cdot e)}{\text{sen} \phi}$	1,900	m	
B	Ancho total neto de la zona de decantación		1,200	m	V med	Velocidad media del flujo	$Qd / As \cdot \text{sen} \theta$	0,250	cm/s	0,17-0,42
Bp	Ancho módulo de placas		0,600	m	RH	Radio hidráulico	$Bp \cdot d / 2(Bp + d)$	0,040	m	
v	Viscosidad a 20 grados		0,012	cm ² /s	Nr	Número de Reynolds	$\frac{4 \cdot RH \cdot V \cdot \text{med}}{v}$	329,30	Ad	< 500
Yr	Altura de tolva a placas		0,800	m	v max	Velocidad longitudinal máxima	$(Nr/8)^{0.5} \cdot v_s$	0,210	cm/s	
Yp	Altura de placas a recolección		0,800	m	ht	Altura total del sedimentador	$Yp + Yr + Lu + hp + ht$	3,550	m	

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 1p. Hoja de diseño del sedimentador de alta carga, para las PTAR 2 Y PTAR 3 “decantador por placas”

Análisis y propuesta de mejoras para las tres plantas de tratamiento de agua residual doméstica, Montaña Exploradora de Guatemala S.A.				Sedimentador de alta carga para PTAR 2 y PTAR 3. "Canal central de decantación"						
Caudal de diseño = Caudal teórico de diseño										
Variable	Descripción	Intervalo	Valor	Unidad	Variable	Descripción	Criterio	Valor	Unidad	Chequeo
Qd	Caudal de diseño (teórico)		75	m ³ /día	Qm	Caudal durante el mantenimiento	N*Qd	0,002	m ³ /s	
f _{hm}	Factor de hora máximo		2,700	Ad	AT	Área total de orificios	Qm/vo	0,023	m ²	
Qd	Caudal de diseño (teórico)		0,002	m ³ /s	No	Número de orificios	2L/a	7,600	Unidad	
N	Número de unidades		1	ad	No	Número real de orificios	2L/a	8	Unidad	
vo	Velocidad en los orificios		0,100	m/s	Ao	Área de cada orificio	AT/No	0,003	m ²	
a	Separación centro a centro entre orificios		0,500	m	D	Diámetro de orificio	(4Ao/π) ^{0.5}	0,061	m	
L	Longitud del canal		1,900	m	Af	Área hidráulica al final canal	B*y	0,180	m ²	
B	Ancho de Canal		0,300	m	q	Caudal parcial por orificio	Q/No	0,0003	m ³ /s	
y	Altura mínima		0,600	m	Qf	Caudal en la sección final del canal	2q	0,0006	m ³ /s	
y max	Altura máxima del canal		1,500	m	vf	Velocidad en el extremo final del canal	Qf/Af	0,003	m/s	
Kd	Coefficientes experimentales		0,700	ad	Ai	Área inicial del canal	B*y max	0,450	m	
Ke	Coefficientes experimentales		1,670	ad	vi	Velocidad en el extremo Inicial del canal	Q/Ai	0,005	m/s	
	Sumatoria de raíz de B		3,065	(1/√s)	K	Coefficiente de pérdida de carga en el último orificio del canal	1+kd+ke*(vi/vo) ²	1,705	Ad	
v	Velocidad cinemática	(tao/miu) ^{0.5}	2929	m/s	K (ultimo vo (primero))	Coefficiente de pérdida de carga en el último orificio del canal	β (ultimo orificio)	1,702	Ad	
n'	Coefficiente de Manning		0,014	Ad	vo (final)	Velocidad real en el primer orificio	VL1 (primer orificio)	0,100	m/s	
						Velocidad real en el último orificio	Vlu (ultimo orificio)	0,100	m/s	
						Desviación de caudal entre el primero y último orificio	Vlu-VL1/Vlu	0,087%	Ad	< 55%
					Rh	Radio Hidráulico	A/P	0,015	m	
g	Aceleración de la gravedad		9,810	m/s ²	G	Gradiente de velocidad en los orificios	n*(Vlu ^{3/2})/n/(Rh ² *g)	10,019	s-1	

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 1q. Hoja de diseño del sedimentador de alta carga, para las PTAR 2 Y PTAR 3 “canal recolector de salida por vertederos”

Análisis y propuesta de mejoras para las tres plantas de tratamiento de agua residual doméstica, Montaña Exploradora de Guatemala S.A.					Sedimentador de alta carga para PTAR 2 y PTAR 3. "Canal recolector de salida por vertederos"					
Variable	Descripción	Intervalo	Cantidad	Unidad	Variable	Descripción	Criterio	Valor	Unidad	Chequeo
Qd	Caudal de diseño		0,002	m ³ /s	Y	Alto del canal	$Qd/(v \cdot W)$	0,160	m	
qr	Tasa de recolección	1,1-3,3	3,300	L/s*m	N	Cantidad de vertederos	$(L/S)^2$	6	Unidad	
Bp	Ancho total del módulo de placas		1,200	m	q	Caudal parcial en cada vertedero	(Qd/N)	0,0004	m ³ /s	
W	Ancho del canal de recolección		0,300	m	hV	Altura del vertedero triangular de 90°	$2,48 \sqrt{(q/1,3424)}$	0,040	m	
L	Largo del canal de recolección		1,900	m	BV	Base de los vertederos triangulares	2hV	0,080	m	
v	Velocidad en el sedimentador		0,050	m/s	AT	Área total del vertedero triangular	$1/2 \cdot bV \cdot hV$	0,001	m ²	
a	Separación entre vertederos de centro a centro		0,500	m	v	Velocidad de entrada en el vertedero	q/AT	0,278	m/s	

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 1r. Hoja de diseño del sedimentador de alta carga, para las PTAR 2 Y PTAR 3 “colector multitolvas”

Análisis y propuesta de mejoras para las tres plantas de tratamiento de agua residual doméstica. Montaña Exploradora de Guatemala S.A.				Sedimentador de alta carga para PTAR 2 y PTAR 3. "Colector multitolvas"						
Caudal de diseño = Caudal teórico de diseño.				Caudal de diseño = Caudal teórico de diseño.						
Variable	Descripción	Intervalo	Valor	Unidad	Variable	Descripción	Criterios	Valor	Unidad	Chequeo
L	Longitud del decantador		1,900	m	Ltol	Longitud de la base mayor de cada tolva	L/N	0,950	m	
N	Numero de tolvas por decantador		2	unidad	AT	Área total o sección máxima de la tolva	B*L1	1,430	m ²	
B	Ancho total del decantador		1,500	m	Vtol	Volumen de la parte recta de la tolva	AT*ht*N	1,140	m ³	
htol	Profundidad de la sección recta de las tolvas		0,400	m	Vp	Volumen del tronco de pirámide de la tolva	$[1/3 * AT * hp]$	0,380	m ³	
hp	Profundidad del tronco de pirámide de la tolva		0,400	m	QL3	Caudal de lodos producidos por la unidad en época de lluvias	QL1 * QL2	0,002	ad	
QL1	Tasa de producción de lodos		0,010	ad	a	Separación de orificios de descarga	L/5	0,380	m	
QL2			0,170		f	Frecuencia de descarga	$VT / (QL3 * 86.4)$	10,130	1/s	
va	Velocidad de arrastre o sedimentación	1,0-3,0	1	cm/s	D1	Diámetro de los orificios de carga	$x[(1.162(H^{0.5}/Va)^{0.5})]$	0,025	m	
hf	Carga hidráulica	0,01-0,03	0,010	m/s	D2	Diámetro del colector múltiple	$d/(r/N)^{0.5}$	1,000	plg	
r	Relación de velocidades para una desviación de 10%	<0,45	0,450	ad				0,050	m	
								3	plg	

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 1s. Hoja de diseño del reactor anaerobio de flujo ascendente (nueva línea de tratamiento).
Hoja de diseño 1/2”

Análisis y propuesta de mejoras para las tres plantas de tratamiento de agua residual doméstica. Montaña Exploradora de Guatemala S.A.				Diseño: reactor anaerobio de flujo ascendente (nueva línea de tratamiento)						
Variable	Descripción	Intervalo	Valor	Unidad	Variable	Descripción	Criterios	Valor	Unidad	Chequeo
Pob1	Población inicial		150	hab	Q	Caudal medio diario	$(Pob2 * Dot * fr) / 1000 + QB + QF$	50,040	m ³ /d	
tr	Tasa de incremento	10 hab/año	0,072		QD	Caudal de día máximo	Q * fdm	2,085	m ³ /h	
T	Periodo de diseño		10	años	QH	Caudal máximo horario	Q * fhm	60,050	m ³ /d	
Pob2	Población futura		300	hab	Co	Carga del afluente	Q * DQO	2,500	m ³ /h	
Dot	Dotación		146,00	l/hab/d	Vr	Volumen del reactor	Q * THR	100,08	m ³ /d	
fr	Factor de retorno		0,800		Y	Altura del reactor	THR * v	4,170	m ³ /h	
fdm	Factor de día máximo	1,2-1,5	1,200		COV	Compuestos orgánicos volátiles	Co / Vr	1501,20	kg*DQO/d	
fhm	Factor de hora máximo	2-3	2,000		Ah	Area hidráulica del reactor	V / H	17,000	m ³	
QB	Caudal de baños portátiles		5,000	m ³ /d	L	Lado del reactor	(As) ^{1/2}	4,800	m	
QF	Caudal de tanques de almacenamiento de agua residual		10,000	m ³ /d	CUS	Carga hidráulica por unidad de superficie	Q / Vr	88,310	kg*DQO/m ³ *d	
DQO	Demanda Química de Oxígeno		30000	mg/l				3,540	m ²	
THR	Tiempo de retención hidráulico		8,000	horas				1,900	m	
v	Velocidad superficial		0,600	m/h				2,940	m ³ /m ³ *d	< 5 0k

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 1t. Hoja de diseño del reactor anaerobio de flujo ascendente (nueva línea de tratamiento),
hoja de diseño 2/2”

Análisis y propuesta de mejoras para las tres plantas de tratamiento de agua residual doméstica. Montana Exploradora de Guatemala S.A.					Diseño: reactor anaerobio de flujo ascendente (nueva línea de tratamiento)					
Variable	Descripción	Intervalo	Valor	Unidad	Var	Descripción	Criterios	Valor	Unidad	Chequeo
As	Area superficial de influencia para difusores		2,00	m ²		Chequeo velocidad área del reactor				
hc	Traslape vertical	10-15 cm	0,10	m	v (Q)	Velocidad caudal medio	Q/Ah	0,59	m/h	< 1
φ	Altura campana		1,50	m	v (QH)	Velocidad caudal horario	QH/Ah	1,18	m/h	< 1,5 Ok
	Grado de inclinación		1,05	rad	N	Numero de tubos distribuidores del afluente	Ah/As	2,00		
THR	Tiempo de retención hidráulica	75	7,84	h		Chequeo Separador G-L-S (área libre)				
v1	Velocidad área libre 1		2	m/h	A 1	Área libre velocidad 1	Q/v1	1,04	m ²	
v2	Velocidad área libre 2		4	m/h	A 2	Área libre velocidad 2	QD/v2	0,63	m ²	
w	Ancho de muros	.15-.25	0,20	m	Wa	Ancho de abertura entre reactor y separador	0.5*A1/L	0,30	m	
					Wc	Ancho de los lados de la campana (1/2 Wg)	hc/tan(φ)	0,90	m	
					W	Ancho de superficie húmeda	1/2 Wc + 1/2 Wa	1,20	m	
					As 1	Área superficial del decantador	(L * Ws) L * 2	4,56	m ²	
						Chequeo de velocidad en carga superficial				
					v (Q)	Velocidad caudal medio	Q/As1	0,46	m/h	Ok
					v (QD)	Velocidad caudal diario	QD/As1	0,55	M/h	Ok
					LT	Largo total	L+2w	2,30	m	
					WT	Ancho total	Ws+2w	1,60	m	

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 2. Gestión de baños portátiles y tanques de almacenamiento

Coordenadas de ubicación y tiempos

Apéndice 2a. Ubicación y tiempos de recorrido del vehículo de recolección y limpieza, inicio de labores, recorrido en el exterior de la empresa y tiempo para preparar el equipo para ingresar a una subterránea

N	Código	Ubicación	Tiempo recorrido (min:seg)	Limpieza estacionaria (min:seg)	Observaciones	Latitud	Longitud
Inicio de labores y preparar equipo							
	TPM	Talleres principales		10:00,0	Inicio de recorrido, abastecimiento de agua y otros suministros.	15°13'42,09"	91°40'55,55"
Recorrido en exterior de la mina Marlin "Este"							
1	E1	Vertedero de alivio	07:55,5	03:54,6		15°14'03,1"	91°40'45,1"
2	E2	Mixto Listo	02:35,0	03:54,6		15°14'00,4"	91°40'52,9"
3	E3	ITEG	00:35,0	07:49,2	En este lugar se encuentran 2 baños juntos. Ubicados en el ingreso de las instalaciones.	15°14'02,7"	91°40'53,8"
4	E4	ITEG					
5	E5	Bodega obra civil	03:30,0	03:54,6	Para llegar a este baño, se debe cruzar la calle principal.	15°13'53,7"	91°40'50,3"
Preparar equipo para ingresar a mina subterránea							
	TPM	Taller principal	02:08,2	05:00,0		15°13'42,09"	91°40'55,55"
	CCM	Casa de cambio	07:12,0	10:00,0	Tiempo requerido para ingresar a mina subterránea, preparar equipo y colocar ficha de ingreso en tablero.	15°13'52,01"	91°41'33,47"

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 2b. Ubicación y tiempos de recorrido del vehículo de recolección y limpieza, dentro de mina subterránea, 1/2

N	Código	Ubicación	Tiempo recorrido (min:seg)	Limpieza estacionaria (min:seg)	Observaciones
Recorrido en mina subterránea					
6	S1	Camino a West Vero, Refugio	11:40,0		En el tiempo de recorrido se incluye el tiempo de limpieza del baño S1.
7	S2	Nivel 1730 de West Vero	02:30,0	05:10,8	Para llegar a este baño, los vehículos deben hacerlo de retroceso.
8	S3	Nivel 1712 de West Vero	03:14,0	04:20,0	Baño temporal por extracción de material.
9	S4	Nivel 1776 en West Vero	03:04,5	03:53,8	Retraso: el recorrido fue interrumpido por diversos vehículos, que se utilizan en el proceso de extracción de material.
10	S5	Nivel 1820, Refugio 13	10:57,0	03:20,9	
11	S6	Rampa número 2, nivel 1845, refugio 4	12:44,2	04:00,0	
12	S7	Refugio 3	01:24,3	00:15,1	
13	S8	Rampa número 2, En refugio 11	03:52,9	04:07,5	
14	S9	Refugio 14	05:04,1	03:18,1	
15	S10	Rampa 2, Refugio sin número de identificación	01:31,1	03:39,2	Retraso: el recorrido fue interrumpido por diversos vehículos, que se utilizan en el proceso de extracción de material.

Nota: dentro de mina subterránea no se pueden obtener datos de longitud y latitud de los baños portátiles.

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 2c. Ubicación y tiempos de recorrido del vehículo de recolección y limpieza, dentro de mina subterránea, 2/2

N	Código	Ubicación	Tiempo recorrido (min:seg)	Limpieza estacionaria (min:seg)	Observaciones
Recorrido en mina subterránea					
16	S11	Rampa 2	07:11,6	03:54,6	No se realizó la limpieza, por el proceso de producción dentro de Mina Subterránea.
17	S12	Rampa 2, Cámara 24	05:00,0	04:01,4	
18	S13	Refugio permanente de rampa 3	07:38,6	03:38,5	Se pasa por rampa 5 y se entra a rampa 1.
19	S14	Refugio móvil	01:30,8	05:52,8	A este baño se le realizó una limpieza completa (interior, exterior y techo), nótese el aumento en el tiempo de limpieza.
20	S15	Refugio 10	01:31,7	04:04,6	
21	S16	Delmy 4, refugio móvil	20:00,0		El tiempo de recorrido incluye tiempo de limpieza.
22	S17	Refugio de Delmy			Este baño fue limpiado durante los 28 minutos del tiempo de recorrido.
23	S18	Delmy 2	28:00,0	04:27,1	Al finalizar el tiempo de recorrido de 28 minutos se inicia la limpieza del baño S18. con un tiempo de limpieza de 4:27:01
24	S19	Sonde de coral en Delmy	02:34,4	04:29,1	Baño temporal por exploración dentro de túneles.

Nota: dentro de mina subterránea no se pueden obtener datos de longitud y latitud de los baños portátiles.

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 2d. **Ubicación y tiempos de recorrido del vehículo de recolección y limpieza, limpieza de vehículo al salir de mina subterránea y tiempo de almuerzo**

Código	Ubicación	Tiempo recorrido (min.:seg)	Limpieza estacionaria (min.:seg)	Observaciones	Latitud	Longitud
Limpieza de vehículo y disposición de lodos						
CCM	Área de limpieza del vehículo	10:11,6	24:17,1	El personal de recolección debe limpiar su equipo, botas y vehículo, registrar su salida de la mina antes de descargar los lodos en la PTAR 2.	15°13'52,0"	91°41'32,05"
PTAR ISMS	PTAR ISMS	07:25,0	01:26,0	Descarga de agua residual en planta de tratamiento 2 y limpieza de mangueras.	15°14'4,30"	91°40'46,70"
Almuerzo y preparación del equipo para recolección exterior						
CMN	Casa del Minero		1:00:00	Almuerzo de 12:00 a 1:00, incluye tiempo de recorrido de PTAR 2 a taller principal, donde se queda el vehículo y el personal sube a comedor principal.	15°13'42,09"	91°40'55,55"
TPM	Taller principal		05:00,0	Abastecimiento de agua e higiene personal. Antes del recorrido en las instalaciones externas de la mina.	15°13'42,09"	91°40'55,55"

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 2e. Ubicación y tiempos de recorrido del vehículo de recolección y limpieza, en la parte exterior de la mina Marlin, 1/3

N	Código	Ubicación	Tiempo recorrido (min:seg)	Limpieza estacionaria (min:seg)	Observaciones	Latitud	Longitud
Recorrido en el exterior de la mina Marlin							
25	E6	Incinerador	12:46,0		Limpieza completa del baño (interior y exterior).	15°13'50"	91°40'55,8"
26	E7	Garita de procesos	00:28,3	06:21,0	Limpieza completa del baño (interior y exterior).	15°13'47,90"	91°40'53,4"
27	E8	En procesos industriales, a un costado del tanque de oxígeno líquido	00:35,1	05:54,06	Limpieza completa del baño (interior y exterior).	15°13'46,7"	91°40'58"
28	E9	En planta de filtros. A un costado del parqueo	01:14,7	04:26,1	Limpieza parcial del baño (interior y exterior, sin limpiar el techo del baño).	15°13'54,9"	91°41'02"
29	E10	Cono de trituración. Final de la trituración	05:50,5	04:33,9	Limpieza parcial del baño (interior y exterior, sin limpiar el techo del baño)	15°13'41"	91°41'03,4"
30	E11	Salida del proceso de "lodos secos"	03:19,5	05:58,8	Limpieza completa del baño (interior y exterior).	15°13'40,9"	91°41'16,6"
31	E12	Baño a un costado de la trituradora	01:08,8	04:47,7	Limpieza parcial del baño (interior y exterior, sin limpiar el techo del baño).	15°13'44,2"	91°41'09,4"
32	E13	Talleres ISMS	01:48,3	09:30,0	Limpieza completa del baño (interior y exterior).	15°13'47,6"	91°41'21,1"
33	E14	Taller José Carrizo	00:20,3	09:49,5	Limpieza completa del baño (interior y exterior). El taller de José Carrizo y de ISMS, se encuentran en la parte alta de la mina Marlin.	15°13'47,3"	91°41'22,2"
34	E15	Taller de geología cercano al túnel	04:25,0	05:15,0	Limpieza parcial del baño (interior y exterior, sin limpiar el techo del baño).	15°13'54,4"	91°41'24,1"
35	E16	Taller Constructora Gómez	01:35,4	07:31,5	Limpieza completa del baño (interior y exterior).	15°13'57,6"	91°41'26,4"

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 2f. **Ubicación y tiempos de recorrido del vehículo de recolección y limpieza, en la parte exterior de la mina Marlin, 2/3**

N	Código	Ubicación	Tiempo recorrido (min:seg)	Limpieza estacionaria (min:seg)	Observaciones	Latitud	Longitud
36	E17	Bodega de mina subterránea	02:04,6	04:09,3	Limpieza parcial del baño (interior y exterior, sin limpiar el techo del baño).	15°13'52,9"	91°41'24,9"
37	E18	Empresa AGREGUA	01:02,9	06:47,8	Limpieza completa del baño (interior y exterior).	15°13'54,5"	91°41'28,8"
38	E19	Cercano a pozo de agua, a un costado de la escombrera.	08:36,1	07:19,5	Limpieza completa del baño (interior y exterior).	15°14'00,4"	91°41'28"
39	E20	Taller eléctrico	02:14,0	04:10,2	Limpieza parcial del baño (interior y exterior, sin limpiar el techo del baño).	15°13'49,9"	91°41'36,7"
Abastecimiento de agua limpia							
	TPM	Taller principal	11:22,1	05:00,0	Abastecimiento de agua al tanque principal del vehículo de recolección.	15°13'42,09"	91°40'55,55"
Recorrido en el exterior de la mina Marlin							
40	E21	Botiquín de seguridad. A un costado de Tanques de combustible	21:00,1	06:00,3	Limpieza completa del baño (interior y exterior).	15°13'41,4"	91°41'38"
41	E22	Tanques de combustibles	00:37,5	06:07,1	Limpieza completa del baño (interior y exterior).	15°13'41,4"	91°41'37,3"
42	E23	Parqueo maquinaria pesada. Parqueo maquinaria pesada	02:13,6	07:03,9	En este lugar se encuentran 3 baños juntos. Limpieza parcial (no se limpió los techos).	15°13'44,7"	91°41'43"
43	E24						
44	E25						
45	E26	Escombrera	01:52,5	04:00,0	Limpieza completa del baño (interior y exterior).	15°13'59,9"	91°41'40,9"

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 2g. Ubicación y tiempos de recorrido del vehículo de recolección y limpieza, en la parte exterior de la mina Marlin, 3/3

N	Código	Ubicación	Tiempo recorrido (min:seg)	Limpieza estacionaria (min:seg)	Observaciones	Latitud	Longitud
Recorrido en el exterior de la mina Marlin							
46	E27	Parte exterior West Vero	15:07,6	04:12,0	Limpieza parcial del baño (interior y exterior, sin limpiar el techo del baño).	15°13'25,5"	91°41'45,7"
47	E28	Parte exterior de West Vero. Kilómetro 315.5, chimenea de ventilación	09:21,7	04:20,0	Limpieza parcial del baño (interior y exterior, sin limpiar el techo del baño), baño temporal para instalar una chimenea de ventilación.	15°13'48,8"	91°42'23,6"
48	E29	Entrada a Cochís	02:04,6	04:19,0	Limpieza parcial del baño (interior y exterior, sin limpiar el techo del baño).	15°13'32,7"	91°42'10,5"
49	E30	Delmy, parte exterior	03:38,0	04:06,5	Limpieza parcial del baño (interior y exterior, sin limpiar el techo del baño), baño temporal por trabajos en la parte exterior.	15°13'50,7"	91°42'35"
50	E31	Baño bodega núcleo, o garita	02:47,3	03:05,0	Limpieza parcial del baño (interior y exterior, sin limpiar el techo del baño).	15°14'05,3"	91°41'45,3"
51	E32	Pista de aterrizaje	03:14,2	04:47,6	Limpieza parcial del baño (interior y exterior, sin limpiar el techo del baño).	15°14'15,1"	91°41'20,8"
52	E33	Dique	05:07,6	05:30,0	Limpieza parcial del baño (interior y exterior, sin limpiar el techo del baño), baño temporal por trabajos en Dique.	15°14'18,9"	91°40'50,6"
Disposición de lodos y final de la recolección							
	PTAR 2	PTAR ISMS	12:09.0	01:26.0	Descarga de agua de baños portátiles en planta de tratamiento ISMS	15°14'4.30"	91°40'46.70"
	TPM	Taller principal	07:25.0		El vehículo de recolección es guardado en este lugar.	15°13'42.09"	91°40'55.55"

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 2h. Ubicación y tiempos de recorrido del vehículo de recolección y limpieza, de los tanques de almacenamiento de agua residual hacia descarga en plantas de tratamiento de agua residual doméstica

Código	Ubicación	Tiempo recorrido (min.:seg)	Limpieza estacionaria (min.:seg)	Observaciones	Latitud	Longitud
Tiempo requerido para cada uno de los tanques de almacenamiento hacia las plantas de tratamiento 2 y 3						
F1	Talleres minería futura. Grupo HERGO	03:49,6	02:00,0	De PTAR 3 hacia Grupo HERGO por la parte alta de la zona de ingreso a Túnel.	15°14'06,1"	91°41'06,1"
PTAR 3	Ingreso a la planta Túnel	03:04,0	01:30,0	De talleres de Grupo HERGO hacia el ingreso de la PTAR 3.	15°13'53,60"	91°41'25,70"
F2	Talleres EMO	03:23,1	02:00,0	DE PTAR 3 hacia Grupo EMO, en la parte alta de la mina Marlin.	15°13'49,7"	91°41'20,1"
PTAR 3	Ingreso a la planta Túnel	03:13,1	01:30,0	De Talleres de Grupo EMO hacia la PTAR 3.	15°13'53,60"	91°41'25,70"
F3	Garita principal	03:50,5	02:00,0	De PTAR 2 hacia ingreso principal de la empresa, por ruta principal.	15°14'4,30"	91°40'46,70"
PTAR 2	Ingreso a la Planta ISMS	05:07,6	01:30,0	De entrada principal de mina Marlin, hacia el campamento de contratistas PTAR 2, por ruta principal.	15°14'46,5"	91°40'46,8"
F4	Vivero de la Gerencia de Ambiente	05:07,6	02:00,0	De PTAR 3 hacia Vivero, pasando frente a oficinas de Gerencia de Ambiente.	15°14'4,30"	91°40'46,70"
PTAR 2	Ingreso a la planta ISMS	05:07,6	01:30,0	De Vivero de la Gerencia de Ambiente, hacia campamento de contratistas.	15°14'06,5"	91°40'55,2"
F1	Talleres minería futura. Grupo HERGO	03:49,6	02:00,0	De PTAR 3 hacia Grupo HERGO, por la parte alta de la zona de ingreso a Túnel.	15°14'4,30"	91°40'46,70"

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 2i. **Resumen de tiempo totales del proceso de limpieza y recolección de lodos producidos en baños portátiles, dentro de la empresa**

	Tiempos totales (recorrido + estacionario) (Horas:min:seg)	Tiempo recorrido (Horas:min:seg)	Limpieza estacionaria (Horas:min:seg)
Inicio de labores y preparación de equipo	0:10:00	0:00:00	0:10:00
Recorrido en exterior de la mina Marlin "Este"	0:34:09	0:14:36	0:19:33
Preparar equipo para ingresar a mina subterránea	0:24:20	0:09:20	0:15:00
Recorrido en mina subterránea	3:12:03	2:09:29	1:02:34
Limpieza de vehículo y disposición de lodos	0:43:20	0:17:37	0:25:43
Almuerzo y preparación de equipo, para recolección exterior	1:05:00	0:00:00	1:05:00
Recorrido en exteriores de la mina Marlin	4:14:40	1:54:34	2:20:06
Abastecimiento de agua limpia	0:16:22	0:11:22	0:05:00
Disposición de lodos y final de la recolección	0:21:00	0:19:34	0:01:26
Tiempo total	10:39:54	4:56:58	5:42:56

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 2j. Listado de símbolos

Código	Significado
PTAR	Planta de tratamiento de agua residual
CCM	Casa de cambio para mina subterránea
CMN	Casa del minero o comedor principal
E	Baño portátil ubicado en la parte exterior de la mina
F	Tanque de almacenamiento de agua residual doméstica
S	Baño portátil ubicado en mina subterránea

Fuente: elaboración propia.

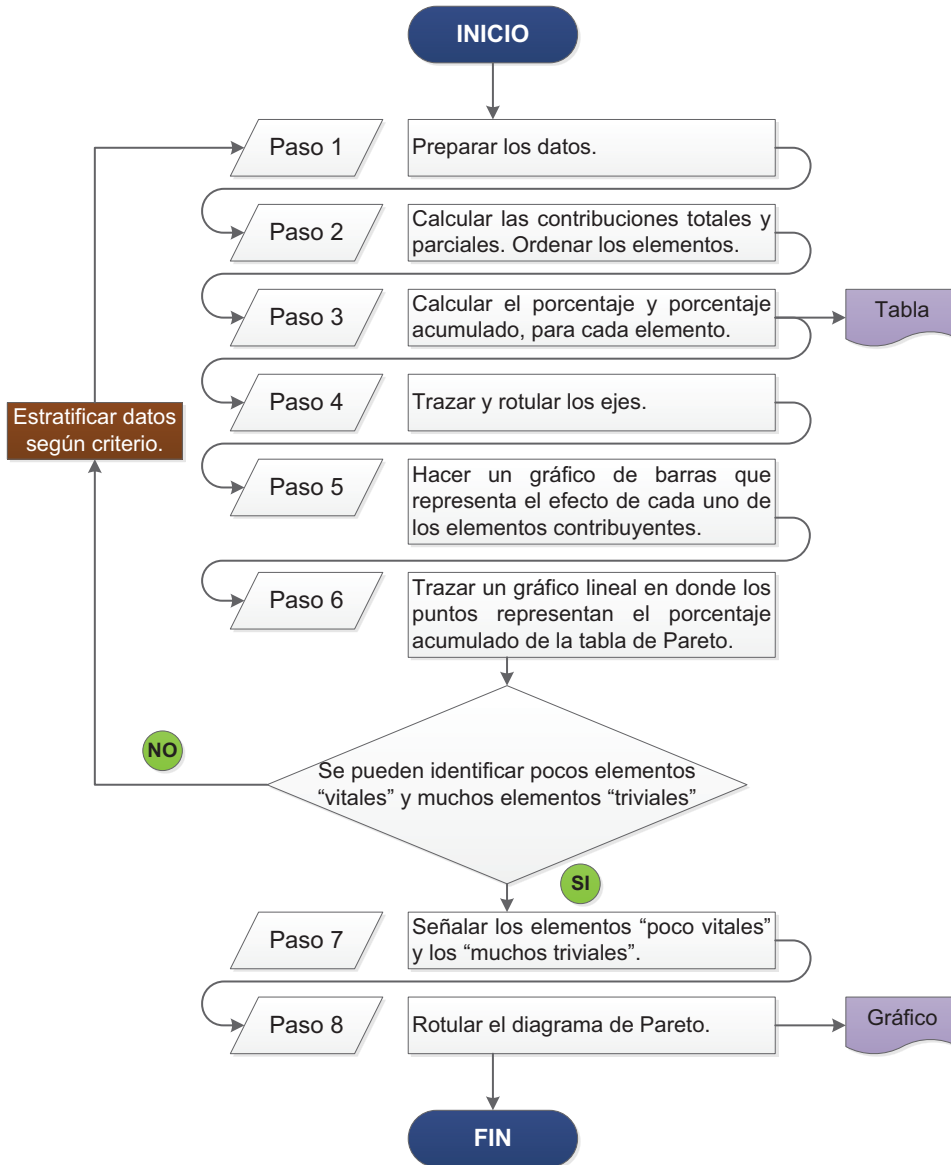
Apéndice 3. Matrices de tiempos

Para el análisis de tiempos de recolección de lodos y agua residual en baños portátiles y tanques de almacenamiento, se realizó un registro de tiempos, desde el momento en el que el equipo de recolección inicia sus labores en el taller de mantenimiento, hasta el momento en el que el equipo y el vehículo son guardados, al final del día. Esto con el objetivo de poder analizar el proceso de recolección, utilizando el principio de Pareto, con la finalidad de proponer mejoras en el proceso.

El principio de Pareto afirma que en todo grupo de elementos o factores que contribuyen a un mismo efecto, existen pocos responsables de la mayor parte del efecto; el objetivo del análisis es clasificar los factores en dos categorías: las “Pocas vitales” elementos muy importantes en la contribución y los “Muchos triviales” que son los elementos poco importantes.

Para realizar el proceso de Pareto se necesitan diversas tablas y gráficas características, las cuales se construyen siguiendo el diagrama de flujo que a continuación se presenta.

Apéndice 3a. Diagrama de flujo para realizar el análisis de Pareto



Fuente: elaboración propia.

A continuación se describen, las actividades que realiza el vehículo de recolección y limpieza de baños portátiles dentro de las instalaciones de Mina Marlin.

- Recorrido para limpieza de baños. Tiempo que necesita el vehículo de recolección, para recorrer los caminos de la empresa y llegar a cada uno de los baños portátiles que se encuentran dentro de la mina Marlin.
- Limpieza de baños. La limpieza de los baños portátiles consta de dos actividades: la primera es recolectar los lodos y desechos de cada uno de los baños portátiles y trasportarlos al tanque de almacenamiento del vehículo de recolección, y la segunda es limpiar físicamente el baño portátil con agua, jabón y desinfectante.
- Almuerzo. Tiempo en el que el personal almuerza y toma un pequeño descanso a medio día.
- Salida de mina subterránea. Tiempo que toma el vehículo de recolección para salir de mina subterránea. En este lapso de tiempo el personal debe limpiar la carrocería y llantas del vehículo de recolección, asear sus botas, y registrar en casa de cambio su salida.
- Ingreso a mina subterránea. El personal de limpieza debe registrar su ingreso a mina subterránea y abastecerse de los insumos que utilizará.
- Descargas a PTAR. Cuando se termina el recorrido de recolección y limpieza de baños portátiles, y el tanque de almacenamiento del vehículo se llena, los lodos deben ser dispuestos en las plantas de tratamiento de agua residual 2 o 3.

- Abastecimiento de agua. El vehículo de recolección tiene un tanque formado por dos compartimientos cilíndricos concéntricos; el exterior contiene el agua residual y el interior contiene agua limpia para el proceso de limpieza; este último cilindro debe llenarse varias veces al día para efectuar la limpieza, esta actividad implica pérdida de tiempo en el proceso.
- Inicio de labores. El personal de limpieza se abastece de suministros, para realizar el proceso de limpieza, se colocan sus uniformes de trabajo y realizan un chequeo general del vehículo de recolección.
- Fin de labores. Tiempo requerido para llevar el vehículo desde el último punto del proceso de limpieza, hasta el taller principal de mantenimiento de la empresa para guardar el vehículo.

La siguiente tabla muestra el resumen del tiempo requerido para cada una de las actividades anteriormente descritas. A cada una de estas actividades se les asignó una letra (código que las identifica en el análisis de tiempos). Se puede observar que cada una de las actividades se ordenó de mayor a menor tiempo requerido para el proceso.

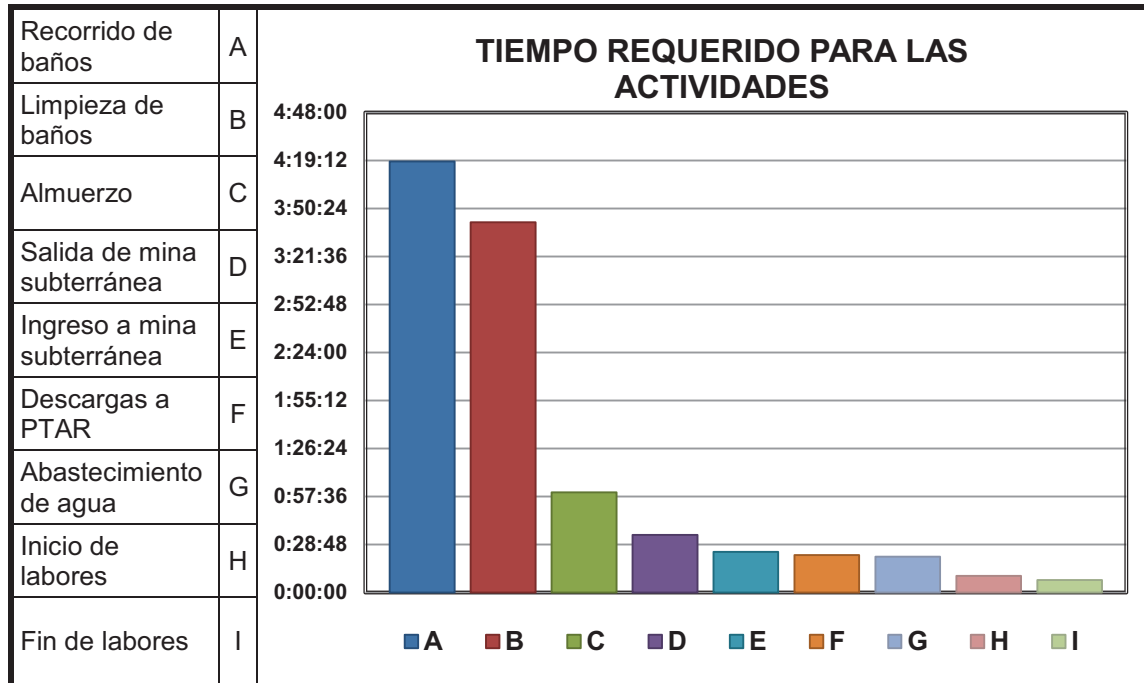
Apéndice 3b. **Tiempo requerido por cada una de las actividades desarrolladas por el vehículo de recolección**

Tiempos según actividades			
Actividad	Código	Tiempo (Horas:min:seg)	Tiempo acumulado (Horas:min:seg)
Recorrido para limpieza de baños	A	4:18:39	4:18:39
Limpieza de baños	B	3:42:13	8:00:52
Almuerzo	C	1:00:00	9:00:52
Salida de mina subterránea	D	0:34:29	9:35:21
Ingreso a mina subterránea	E	0:24:20	9:59:41
Descargas a PTAR	F	22:26,0	10:22:07
Abastecimiento de agua	G	21:22,1	10:43:29
Inicio de labores	H	0:10:00	10:53:29
Final de labores	I	0:07:25	11:00:54
Total		11:00:54	

Fuente: elaboración propia.

La tabla anterior se representó en una gráfica de barras, en el eje de las ordenadas se colocó la escala del tiempo.

Apéndice 3c. **Tiempo requerido por cada una de las actividades desarrolladas por el vehículo de recolección**



Fuente: elaboración propia.

Con una sencilla relación entre el tiempo utilizado por cada una de las actividades y el tiempo total, se puede obtener el porcentaje que cada una de las actividades necesita respecto del tiempo total. La siguiente tabla muestra los porcentajes y su acumulado.

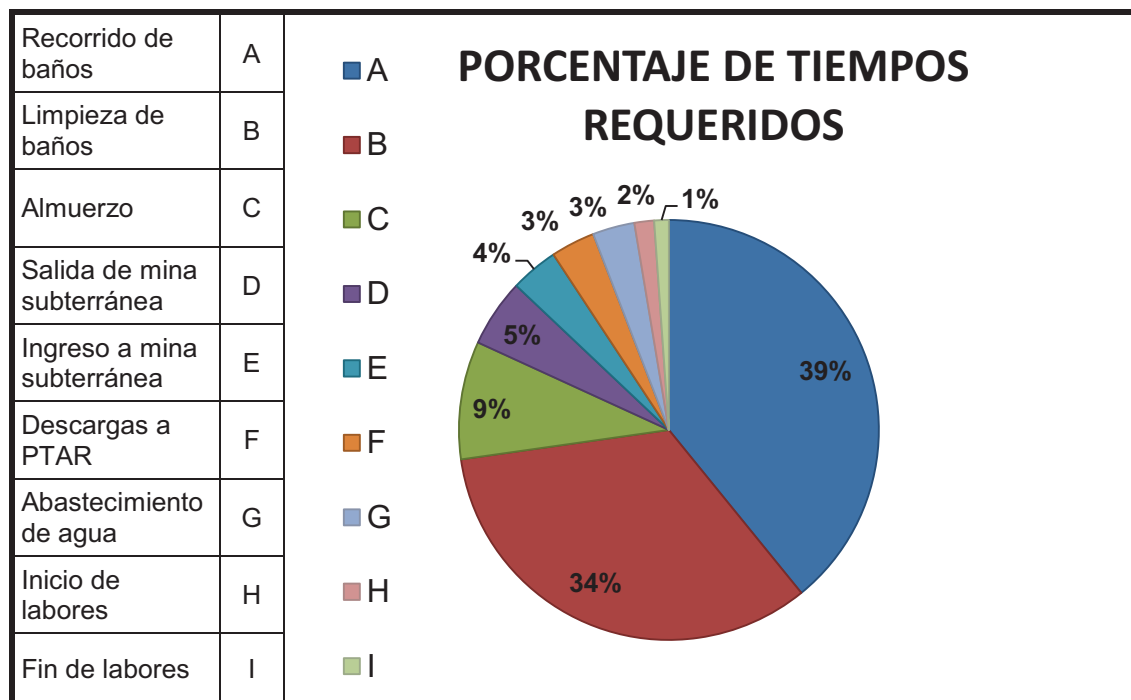
Apéndice 3d. **Porcentaje y porcentaje acumulado del tiempo requerido, para cada una de las actividades desarrolladas por el vehículo de recolección**

Tiempos según actividades			
Actividad	Código	Porcentaje	Porcentaje acumulado
Recorrido de baños	A	39,14%	39,14%
Limpieza de baños	B	33,62%	72,76%
Almuerzo	C	9,08%	81,84%
Salida de mina subterránea	D	5,22%	87,05%
Ingreso a mina subterránea	E	3,68%	90,74%
Descargas a PTAR	F	3,39%	94,13%
Abastecimiento de agua	G	3,23%	97,36%
Inicio de labores	H	1,51%	98,88%
Final de labores	I	1,12%	100,00%
Total		100,00%	

Fuente: elaboración propia.

De igual manera, la tabla anterior se puede representar en una gráfica circular o como comúnmente es llamada, gráfica de pastel.

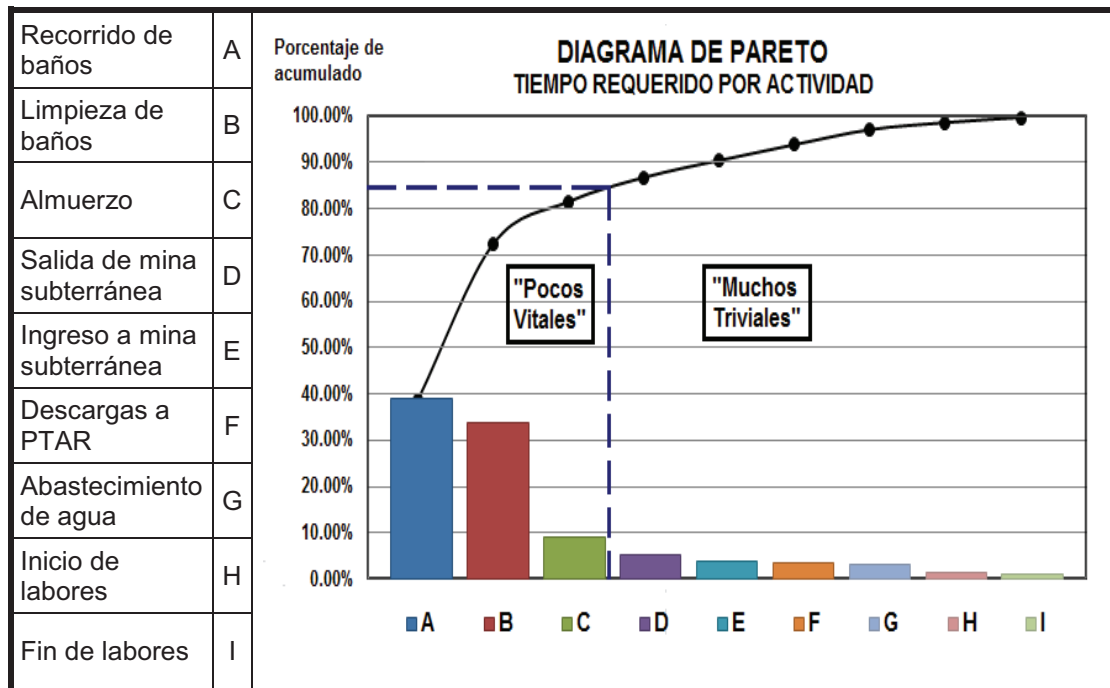
Apéndice 3e. **Porcentaje y porcentaje acumulado del tiempo requerido por cada una de las actividades desarrolladas por el vehículo de recolección**



Fuente: elaboración propia.

De las dos graficas anteriores, se puede deducir que las tres actividades principales: A. Recorrido de baños, B. Limpieza de baños y C. Almuerzo, generan el 83% del tiempo total de recolección y limpieza de baños portátiles, por lo tanto estas actividades son consideradas “Poco vitales”, las otras seis actividades son consideradas “Muchas triviales”, puesto que generan únicamente el 17% del tiempo total de recolección y limpieza de baños portátiles. Esto se puede observar en una gráfica o diagrama de Pareto, donde se plotean las actividades en forma de barras, en el eje de las abscisas, y se dividen en dos las actividades realizadas.

Apéndice 3f. **Diagrama de Pareto para cada una de las actividades realizadas**



Fuente: elaboración propia.

Para hacer el proceso más efectivo, la reducción de tiempo se debe enfatizar en las primeras dos actividades dentro de las “Pocos vitales”; estas actividades son: “A. Recorrido de baños y B. Limpieza de baños”; estas dos actividades representan el 73% del tiempo requerido para el proceso. A continuación se presentan las propuestas para la optimización de este proceso.

Apéndice 3g. **Propuesta para hacer más eficiente la actividad: “A. Recorrido de baños”**

- El acceso al tanque de almacenamiento de agua residual “Vivero de Gerencia de Ambiente” debe estar libre de maleza y con fácil acceso para el personal de limpieza, a fin de reducir tiempo de recolección y evitar un incidente.
- Deberá evitarse hacer la limpieza del tanque de almacenamiento de agua residual “Garita” después de las 16:00 horas, pues es en este lapso de tiempo cuando se tiene mayor afluencia de buses ingresando a las instalaciones de la mina por garita principal, y se forma un cuello de botella en esta zona, por el proceso de revisión y el proceso de seguridad para ingresar a la mina.
- Se debe evitar el tráfico pesado durante el proceso de recolección, puesto que el coincidir con vehículos de producción hace más lento el proceso de recolección, generando pérdidas de tiempo en el proceso.

Apéndice 3h. **Propuestas para hacer más eficiente la actividad: “B. Limpieza de baños”**

- En la parte exterior de las instalaciones de la mina Marlin, el tiempo promedio la limpieza de los baños portátiles, es de 6 minutos y 10 segundos, cuando se limpia el techo de estos baños. Mientras que el tiempo promedio cuando no se limpia el techo de los baños es de 4 minutos y 5 segundos. De lo anterior se recomienda la limpieza de los techos de los baños con una frecuencia de 2 veces por semana, con la finalidad de reducir el tiempo de limpieza, y que los días de limpieza se efectúen los días martes y domingo. Con este proceso se puede reducir de 20 a 25 minutos diarios el tiempo de recolección.
- Utilizar lámparas de piso (baterías recargables) para la limpieza de baños dentro de la mina subterránea, el personal aumenta su tiempo de limpieza al depender únicamente de la iluminación de las lámparas de casco. Lo que puede reducir 5 minutos del recorrido total.
- Se deberá asegurar el libre acceso a los baños portátiles con ubicación fija y cuando se mueva alguno y se instale en otra ubicación por efectos de las operaciones mineras.
- Se podrá utilizar equipo de mayor potencia y mangueras más largas, para reducir el tiempo de limpieza de los baños portátiles; con esto se reducirá de 20 a 30 minutos el tiempo de recolección y limpieza.

Otras propuestas para hacer más eficiente el proceso:

- Mantenimiento correctivo a las bombas de agua, instaladas en el equipo de recolección. El mantenimiento incluirá: cambio de impulsores, cojinetes, válvulas, boquillas y pistolas de la hidrolavadora, periódicamente.
- Se deberá utilizar equipo de limpieza como: escobas, trapeadores, trapos y similares, en óptimas condiciones, y cambiar periódicamente aquellas que estén defectuosas.
- El equipo de limpieza siempre deberá contar con su EPP, e incluir equipo de protección extra dentro de los insumos en el vehículo, para no retrasar el proceso, en caso algún equipo de protección personal se deteriore, se rompa o se averíe.
- Implementar el uso de jabón ecológico y biodegradable, para que no se contamine el suelo durante la limpieza de los baños portátiles.

Apéndice 4. Bitácora

Apéndice 4a. Bitácora del proyecto y actividades realizadas, 1/5

Rengión/Fecha	21/09/2012	22/09/2012	30/09/2012	01/10/2012	02/10/2012	03/10/2012	11/11/2012	12/11/2012	13/11/2012	14/11/2012	15/11/2012	16/11/2012	17/11/2012	18/11/2012	19/11/2012	20/11/2012	21/11/2012	22/11/2012	23/11/2012	
Visitas de campo y preparación de equipo para toma de muestras en "mina Marlin".																				
Reunión de asesoría técnica, con diversas empresas.																				
Viaje (Guatemala-San Marcos, San Marcos-Guatemala).																				
Cursos dentro de mina Marlin.																				
Trabajo de recolección de muestras, "PTAR 1".																				
Trabajo de recolección de muestras, "PTAR 2".																				
Trabajo de recolección de muestras, "PTAR 3".																				
Análisis de laboratorio, "PTAR 1".																				
Análisis de laboratorio, "PTAR 2".																				
Análisis de laboratorio, "PTAR 3".																				
Recolección de muestras y análisis de laboratorio de tanques y baños portátiles.																				
Estudio de tiempos y recorrido "Vehículo de recolección de lodos y agua residual".																				
Visita técnica para oferentes.																				
Trabajo de gabinete "Estudio especial 1".																				
Diseño de unidades y proceso de selección de la propuesta más adecuada a la problemática.																				
Trabajo de gabinete "Estudio especial 2".																				

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 4b. Bitácora del proyecto y actividades realizadas, 2/5

Renglón/Fecha	24/1/2012	25/1/2012	26/1/2012	05/12/2012	06/12/2012	07/12/2012	08/12/2012	09/12/2012	10/12/2012	11/12/2012	12/12/2012	11/01/2013	12/01/2013	13/01/2013	14/01/2013	15/01/2013	16/01/2013	17/01/2013	18/01/2013	
Visitas de campo y preparación de equipo para toma de muestras en "mina Marlin".																				
Reunión de asesoría técnica, con diversas empresas.																				
Viaje (Guatemala-San Marcos, San Marcos-Guatemala).																				
Cursos dentro de mina Marlin.																				
Trabajo de recolección de muestras, "PTAR 1".																				
Trabajo de recolección de muestras, "PTAR 2".																				
Trabajo de recolección de muestras, "PTAR 3".																				
Análisis de laboratorio, "PTAR 1".																				
Análisis de laboratorio, "PTAR 2".																				
Análisis de laboratorio, "PTAR 3".																				
Recolección de muestras y análisis de laboratorio de tanques y baños portátiles.																				
Estudio de tiempos y recorrido "Vehículo de recolección de lodos y agua residual".																				
Visita técnica para oferentes.																				
Trabajo de gabinete "Estudio especial 1".																				
Diseño de unidades y proceso de selección de la propuesta más adecuada a la problemática.																				
Trabajo de gabinete "Estudio especial 2".																				

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 4c. Bitácora del proyecto y actividades realizadas, 3/5

Renglón/Fecha	19/01/2013	20/01/2013	21/01/2013	22/01/2013	23/01/2013	24/01/2013	25/01/2013	29/01/2013	31/01/2013	01/02/2013	04/02/2013	09/02/2013	10/02/2013	11/02/2013	13/02/2013	14/02/2013	15/02/2013	18/02/2013	19/02/2013	
Visitas de campo y preparación de equipo para toma de muestras en "mina Marlín".																				
Reunión de asesoría técnica, con diversas empresas.																				
Viaje (Guatemala-San Marcos, San Marcos-Guatemala).																				
Cursos dentro de mina Marlín.																				
Trabajo de recolección de muestras, "PTAR 1".																				
Trabajo de recolección de muestras, "PTAR 2".																				
Trabajo de recolección de muestras, "PTAR 3".																				
Análisis de laboratorio, "PTAR 1".																				
Análisis de laboratorio, "PTAR 2".																				
Análisis de laboratorio, "PTAR 3".																				
Recolección de muestras y análisis de laboratorio de tanques y baños portátiles.																				
Estudio de tiempos y recorrido "Vehículo de recolección de lodos y agua residual".																				
Visita técnica para oferentes.																				
Trabajo de gabinete "Estudio especial 1".																				
Diseño de unidades y proceso de selección de la propuesta más adecuada a la problemática.																				
Trabajo de gabinete "Estudio especial 2".																				

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 4d. Bitácora del proyecto y actividades realizadas, 4/5

Renglón/Fecha	20/02/2013	21/02/2013	22/02/2013	23/02/2013	24/02/2013	25/02/2013	26/02/2013	13/03/2013	14/03/2013	15/03/2013	16/03/2013	17/03/2013	18/03/2013	19/03/2013	20/03/2013	21/03/2013	22/03/2013	12/04/2013	13/04/2013	
Visitas de campo y preparación de equipo para toma de muestras en "mina Marlin".																				
Reunión de asesoría técnica, con diversas empresas.																				
Viaje (Guatemala-San Marcos, San Marcos-Guatemala).																				
Cursos dentro de mina Marlin.																				
Trabajo de recolección de muestras, "PTAR 1".																				
Trabajo de recolección de muestras, "PTAR 2".																				
Trabajo de recolección de muestras, "PTAR 3".																				
Análisis de laboratorio, "PTAR 1".																				
Análisis de laboratorio, "PTAR 2".																				
Análisis de laboratorio, "PTAR 3".																				
Recolección de muestras y análisis de laboratorio de tanques y baños portátiles.																				
Estudio de tiempos y recorrido "Vehículo de recolección de lodos y agua residual".																				
Visita técnica para oferentes.																				
Trabajo de gabinete "Estudio especial 1".																				
Diseño de unidades y proceso de selección de la propuesta más adecuada a la problemática.																				
Trabajo de gabinete "Estudio especial 2".																				

Fuente: elaboración propia.

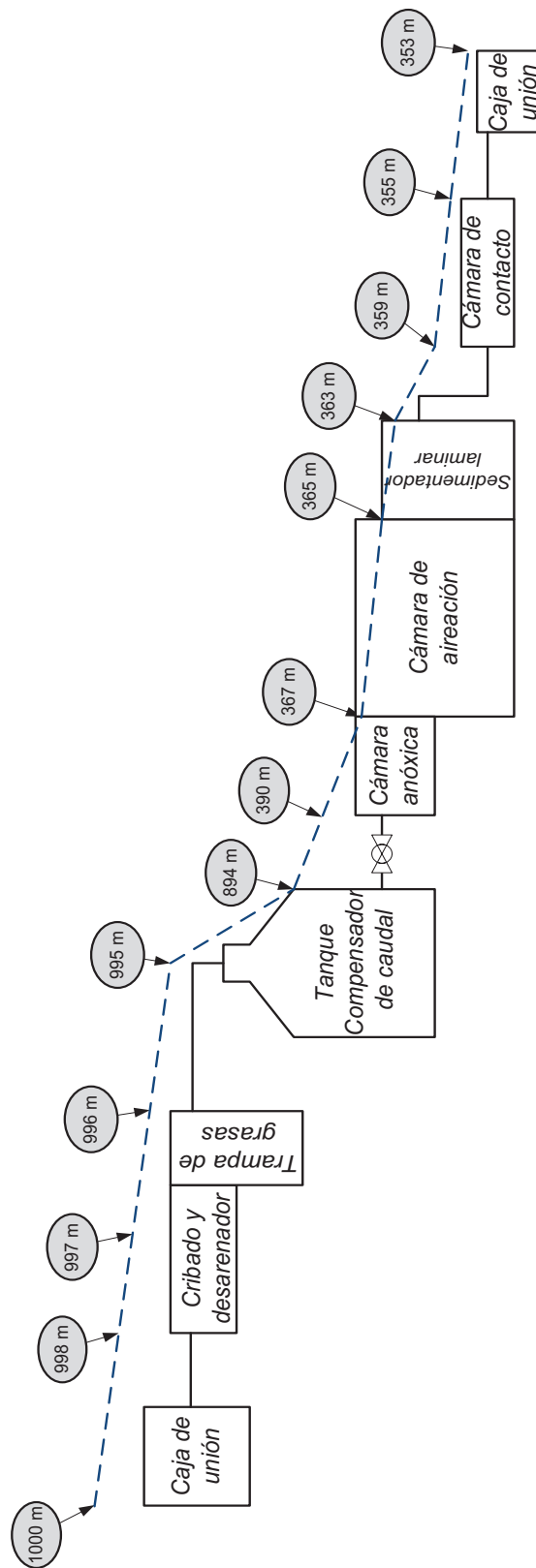
Apéndice 4e. Bitácora del proyecto y actividades realizadas, 5/5

Renglón/Fecha	14/04/2013	15/04/2013	16/04/2013	07/05/2013	14/05/2013	18/07/2013	19/07/2013	20/07/2013	21/07/2013	22/07/2013	23/07/2013	24/07/2013	25/07/2013	26/07/2013	27/07/2013	28/07/2013	29/07/2013	30/07/2013	31/07/2013	
Visitas de campo y preparación de equipo para toma de muestras en "mina Marlin".																				
Reunión de asesoría técnica, con diversas empresas.																				
Viaje (Guatemala-San Marcos, San Marcos-Guatemala).																				
Cursos dentro de mina Marlin.																				
Trabajo de recolección de muestras, "PTAR 1".																				
Trabajo de recolección de muestras, "PTAR 2".																				
Trabajo de recolección de muestras, "PTAR 3".																				
Análisis de laboratorio, "PTAR 1".																				
Análisis de laboratorio, "PTAR 2".																				
Análisis de laboratorio, "PTAR 3".																				
Recolección de muestras y análisis de laboratorio de tanques y baños portátiles.																				
Estudio de tiempos y recorrido "Vehículo de recolección de lodos y agua residual".																				
Visita técnica para oferentes.																				
Trabajo de gabinete "Estudio especial 1".																				
Diseño de unidades y proceso de selección de la propuesta más adecuada a la problemática.																				
Trabajo de gabinete "Estudio especial 2".																				

Fuente: elaboración propia.

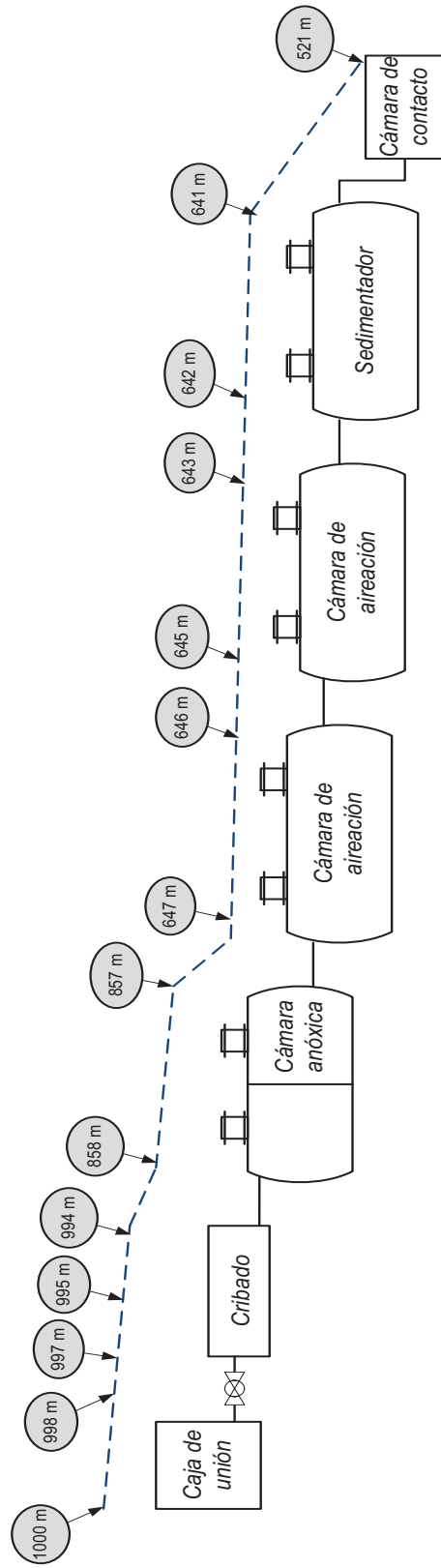
Apéndice 5. Perfil hidráulico de las plantas de tratamiento de agua residual

Apéndice 5a. Esquema de perfil hidráulico de la PTAR 1



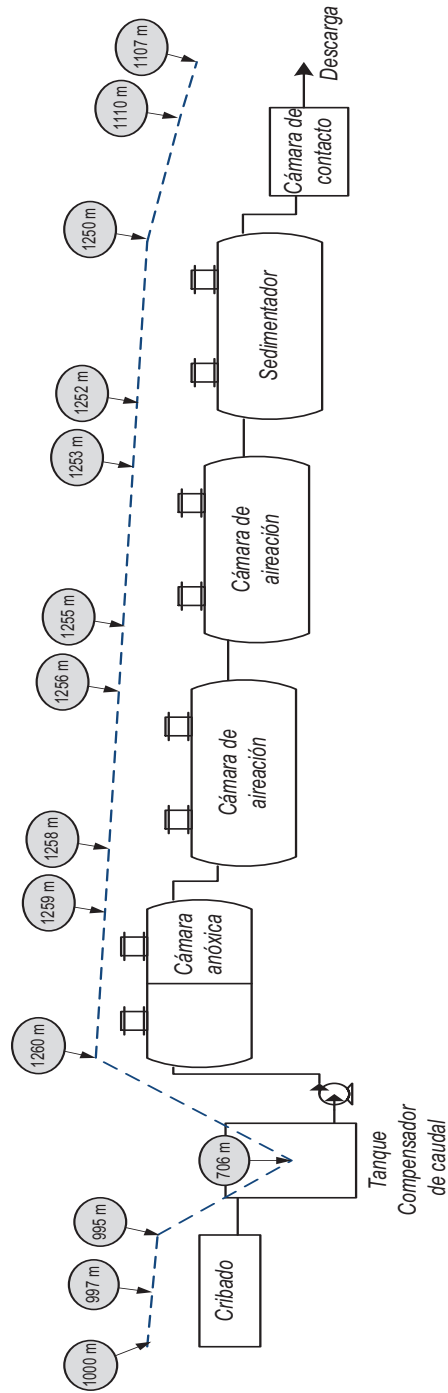
Fuente: elaboración propia.

Apéndice 5b. Esquema de perfil hidráulico de la PTAR 2



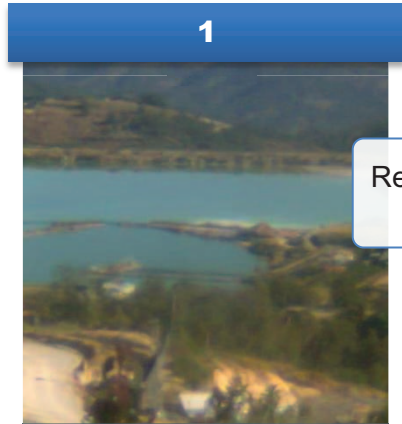
Fuente: elaboración propia.

Apéndice 5c. Esquema de perfil hidráulico de la PTAR 3

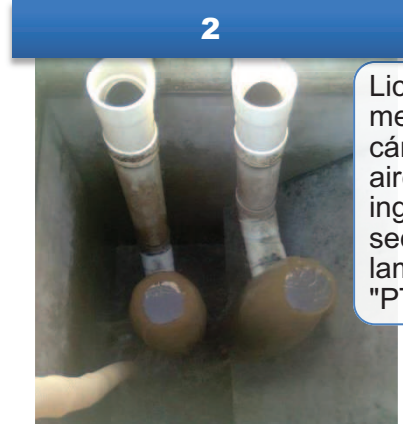


Fuente: elaboración propia.

Apéndice 6. Fotos



Represa de colas



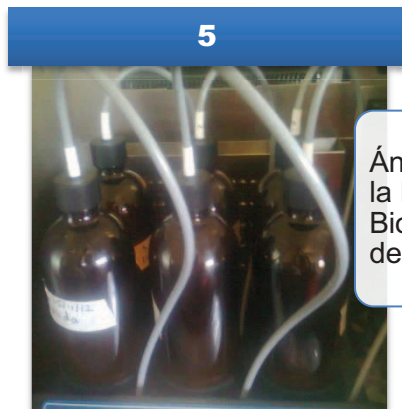
Licor de mezcla de la cámara de aireación ingresando al sedimentador laminar "PTAR 1"



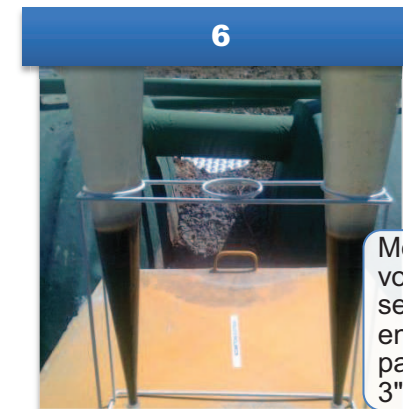
"Planta de tratamiento de agua residual 3"



Medición del volumen sedimentado en 30 min, para "PTAR 2"



Ánisis de la Demanda Bioquímica de Oxígeno



Medición del volumen sedimentado en 30 min, para "PTAR 3"

Continuación de apéndice 6.



7

Tanque de almacenamiento de agua residual "Vivero"



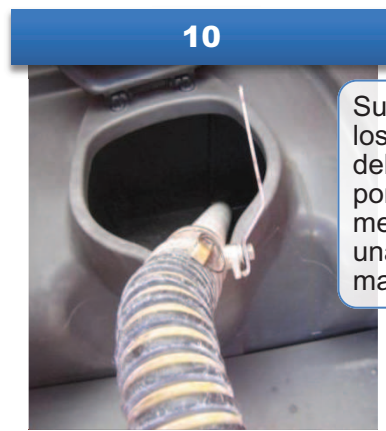
8

Limpieza de baño portátil en mina subterránea



9

Limpieza de baño portátil en la superficie de la mina



10

Succión de los lodos del baño portátil, por medio de una manguera



11

Cámara de contacto de la PTAR 1



12

Patio de secado de la PTAR 3

Fuente: elaboración propia.