



UNIVERSIDAD DE CUENCA
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL

**EVALUACIÓN DE LAS PLANTAS DE DEPURACIÓN DE AGUA
RESIDUAL DE LAS COMUNIDADES DE MACAS Y SAN PEDRO,
CANTÓN CUENCA, AZUAY.**

“Tesis previa a la obtención del título de Ingeniero Civil”

Autores:

Víctor Adrián Guamán Sánchez
Manuel Andrés Molina Ulloa

Director:

Ing. Diego Benjamín Idrovo Murillo

Cuenca - Ecuador

2015



RESUMEN

El presente estudio consiste en la evaluación del desempeño de las plantas de tratamiento de agua residual de Macas y San Pedro, ubicadas en la zona rural del cantón Cuenca, provincia del Azuay. Las plantas evaluadas están constituidas por una fosa séptica seguida de un filtro anaerobio de flujo ascendente. El estudio realizado consiste de los siguientes pasos: caracterización de la población servida y la red de alcantarillado que abastece a las PTAR; evaluación del estado físico de la infraestructura de las PTAR; evaluación de la eficiencia en la remoción de los principales contaminantes a través de la caracterización del afluente y efluente. Los trabajos mencionados incluyeron actividades de campo y laboratorio con la colaboración de ETAPA EP y el laboratorio de Sanitaria de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de Cuenca. En la evaluación realizada se encontró el ingreso de grandes caudales de agua de infiltración a través de la red de alcantarillado. A pesar de este gran caudal de infiltración, la remoción que presentan los sistemas de tratamiento utilizados es del 60% y 83% para las PTAR Macas y San Pedro respectivamente, y el vertido cumple con las normas establecidas en el TULAS en todos los parámetros con excepción de los coliformes, por lo que el tratamiento no está actuando a favor de la salud pública.

Palabras claves:

Evaluación, Planta de tratamiento de Agua Residual (PTAR), Macas, San Pedro, Fosa Séptica, Filtro Anaerobio, ETAPA EP, medio ambiente, salud pública.



ABSTRACT

This study consist in the evaluation of performance of wastewater treatment plants (WWTP´s). These WWTP´s are located in Macas and San Pedro, both in the rural area of Cuenca canton, Azuay province. The evaluated plants are composed of a septic tank followed by an upflow anaerobic filter. The study consist of the following steps: characterization of the population served and the sewers connected to the WWTP´s; assesment of the state of the physical infraestructure of the WWTP´s; evaluation of the removal efficiency of the major pollutants by measurements on the influent and the effluent. Mentioned works include field and laboratory activities in collaboration with ETAPA EP and the Laboratorio de Sanitaria de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de Cuenca. The evaluation presents as a result, a large volume of infiltration water through the sewer. Despite this wealth of infiltration, removal of the present systems treatment are 60% and 83% for WWTP Macas and San Pedro respectively, and the discharge coplies with the rules laid down in TULAS in all parameters except for colliforms, so that treatment is not acting on behalf of public health.

Palabras claves:

Evaluation, Wastewater Treatment Plants (WWTP´s), Macas, San Pedro, Septic Tank, Anaerobic Filter, ETAPA EP, environmet, pubic health.



INDICE DE CONTENIDO

1	INTRODUCCION.....	18
1.1	Antecedentes	18
1.2	Justificación.....	19
1.3	Objetivos	19
1.3.1	Objetivo General.....	19
1.3.2	Objetivos Específicos.....	20
2	MARCO TEORICO	21
2.1	Agua Residual.....	21
2.1.1	Caudal de Agua Residual.....	21
2.1.1.1	Agua Residual Doméstica.....	21
2.1.1.1.1	Composición del Agua Residual Doméstica.....	21
2.1.1.1.2	Caudal de Aguas Residuales Domésticas.....	22
2.1.1.2	Agua Residual Industrial.....	25
2.1.1.3	Agua de Infiltración (Qi).....	25
2.1.1.4	Aguas Ilícitas (Ql)	27
2.1.2	Características del Agua Residual.....	27
2.1.2.1	Características Físicas.....	28
2.1.2.1.1	Sólidos totales	29
2.1.2.1.2	Temperatura	30
2.1.2.1.3	Color.....	31
2.1.2.1.4	Olor.....	31
2.1.2.1.5	Densidad	31
2.1.2.1.6	Turbiedad	31
2.1.2.2	Características Químicas	32
2.1.2.2.1	Materia Orgánica.....	32
2.1.2.2.2	Medida del Contenido Orgánico	32
2.1.2.2.3	Materia Inorgánica	34
2.1.2.3	Características Biológicas.....	35
2.1.2.3.1	Organismos Patógenos.....	36
2.1.2.3.2	Organismos Indicadores	36
2.2	Tratamiento de Agua Residual.....	37
2.2.1	Objetivos del Tratamiento de Agua Residual.....	37



2.2.2	Digestión Anaerobia.....	37
2.2.2.1	Degradación Anaerobia de la materia.....	38
2.2.3	Componentes Empleados para el Tratamiento de Agua Residual.....	39
2.2.3.1	Rejillas.....	39
2.2.3.1.1	Consideraciones de Diseño.....	39
2.2.3.1.2	Operación y Mantenimiento.....	41
2.2.3.2	Fosa Séptica.....	41
2.2.3.2.1	Proceso Séptico	41
2.2.3.2.2	Definición.....	42
2.2.3.2.3	Funcionamiento.....	42
2.2.3.2.4	Operación y Mantenimiento.....	43
2.2.3.2.5	Diseño de Tanque Séptico	44
2.2.3.3	Filtros Anaerobios.....	45
2.2.3.3.1	Filtro Anaerobio de Flujo Ascendente (FAFA).....	46
2.2.3.3.2	Factores de desempeño	48
2.2.3.3.3	Operación y Mantenimiento.....	49
3	CARACTERIZACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO.....	50
3.1	Información General sobre el Cantón Cuenca.....	50
3.2	Caracterización del Área de Influencia de la PTAR Macas	52
3.2.1	Información de la Parroquia Quingeo.....	52
3.2.1.1	Ubicación	52
3.2.1.2	Clima.....	52
3.2.1.3	Precipitación.....	53
3.2.1.4	Temperatura	54
3.2.1.5	Topografía.....	55
3.2.1.6	Hidrografía	55
3.2.2	Información del Área de Influencia de la PTAR.....	56
3.2.2.1	Población	57
3.2.2.2	Vivienda.....	58
3.2.2.3	Servicios Públicos	59
3.2.2.4	Sistema de Abastecimiento de Agua.....	60
3.2.2.5	Sistema de Alcantarillado.....	61
3.2.2.6	Tratamiento de Agua Residual	62
3.3	Caracterización del Área de Influencia de la PTAR San Pedro	62



3.3.1	Información de la Parroquia Santa Ana	62
3.3.1.1	Ubicación	62
3.3.1.2	Clima.....	63
3.3.1.3	Precipitación	64
3.3.1.4	Temperatura.....	65
3.3.1.5	Topografía.....	65
3.3.1.6	Hidrografía	66
3.3.2	Información del Área de influencia de la PTAR	67
3.3.2.1	Población	68
3.3.2.2	Vivienda.....	69
3.3.2.3	Servicios Públicos	70
3.3.2.4	Sistema de Abastecimiento de Agua.....	71
3.3.2.5	Sistema de Alcantarillado.....	72
3.3.2.6	Tratamiento de Agua Residual.....	73
4	MATERIALES Y METODOS.....	74
4.1	Levantamientos Topográficos de las PTAR.....	74
4.1.1	Levantamiento Planimétrico.....	74
4.1.2	Levantamiento Taquimétrico	74
4.2	Metodología del Muestreo.....	74
4.2.1	Proceso de Monitoreo.....	75
4.2.1.1	Obtención de Curva de Caudales.....	75
4.2.1.2	Muestreo	75
4.2.1.3	Análisis de Muestras	77
4.2.2	Balance de Masas	77
4.3	PTAR Macas-Quingeo.....	78
4.3.1	Medición de Caudal.....	78
4.3.2	Puntos de Muestreo	78
4.4	PTAR San Pedro	78
4.4.1	Medición de Caudal.....	78
4.4.2	Puntos de Muestreo	79
5	RESULTADOS Y DISCUSION	80
5.1	PTAR Macas	80
5.1.1	Evaluación de la Infraestructura de la PTAR	80
5.1.1.1	Funcionamiento	80



5.1.1.2	Descripción de las Estructuras	81
5.1.2	Obtención de Variables Necesarias para el Funcionamiento de la PTAR 84	
5.1.2.1	Caudal Teórico.....	84
5.1.2.2	Caudal Real.....	87
5.1.3	Evaluación del Sistema de Tratamiento de la PTAR	91
5.1.4	Problemas encontrados en la PTAR Macas	96
5.2	PTAR San Pedro	97
5.2.1	Evaluación de la Infraestructura de la PTAR	97
5.2.1.1	Funcionamiento	97
5.2.1.2	Descripción de las Estructuras	98
5.2.2	Obtención de Variables Necesarias para el Funcionamiento de la PTAR 103	
5.2.2.1	Caudal Teórico.....	104
5.2.2.2	Caudal Real.....	105
5.2.3	Evaluación del Sistema de Tratamiento de la PTAR	108
5.2.4	Problemas encontrados en la PTAR San Pedro	116
6	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	117
7	BIBLIOGRAFÍA.....	120
8	ANEXOS.....	123



INDICE DE FIGURAS

Figura 2-1 Composición del agua residual doméstica	22
Figura 2-2 Clasificación de los sólidos	30
Figura 2-3 Esquema de bacterias e indicadores de contaminación fecal	36
Figura 2-4 Esquema de la degradación biológica de la Materia Orgánica.....	38
Figura 2-5. Etapas de la digestión Anaerobia	39
Figura 2-6 Rejilla de entrada a la PTAR San Pedro	40
Figura 2-7 Esquema general de una fosa séptica con dos compartimentos.....	42
Figura 2-8 Detalles constructivos de una fosa séptica de un compartimento	45
Figura 2-9 Filtro Anaerobio de Flujo Ascendente	46
Figura 3-1. División del territorio del Cantón Cuenca	50
Figura 3-2 Distribución política del cantón Cuenca	51
Figura 3-3 División comunitaria de la parroquia Quingeo.....	52
Figura 3-4 Mapa del clima de la parroquia Quingeo.....	53
Figura 3-5 Mapa de precipitación promedio anual de la parroquia Quingeo.....	54
Figura 3-6 Mapa de temperatura media anual de la parroquia Quingeo.....	54
Figura 3-7 Mapa altimétrico de la parroquia Quingeo.....	55
Figura 3-8 Mapa Hidrográfico de la parroquia Quingeo.....	56
Figura 3-9 Area de influencia de la PTAR Macas.....	56
Figura 3-10 División comunitaria de la parroquia Santa Ana.....	63
Figura 3-11 Mapa del clima de la parroquia Santa Ana.....	63
Figura 3-12 Mapa de precipitación media anual de la parroquia Santa Ana.....	64
Figura 3-13 Mapa de temperatura de la parroquia Santa Ana.....	65
Figura 3-14 Mapa altimétrico de la parroquia Santa Ana	66
Figura 3-15 Mapa geológico de la parroquia Santa Ana	66
Figura 3-16 Mapa hidrográfico de la parroquia Santa Ana	67
Figura 3-17 Área de influencia de la PTAR San Pedro	67
Figura 4-1 Puntos de muestreo de la PTAR Macas	78
Figura 4-2 Puntos de muestreo de la PTAR San Pedro	79
Figura 5-1 Infraestructura de la PTAR	80
Figura 5-2 Esquema de funcionamiento de la PTAR Macas	81
Figura 5-3 Vista interna de la fosa séptica y filtro anaerobio de la PTAR Macas.....	82
Figura 5-4 Esquema de las líneas de flujo en el filtro anaerobio	83
Figura 5-5 Infraestructura de la PTAR San Pedro.....	97
Figura 5-6 Esquema de funcionamiento PTAR San Pedro	98
Figura 5-7 Esquema de la cámara de sedimentación PTAR San Pedro	100
Figura 5-8 Esquema de la fosa séptica PTAR San Pedro.....	101
Figura 5-9 Esquema del pozo de transición (PT) y cámara subterránea (CS) PTAR San Pedro.....	102
Figura 5-10 Esquema del lecho de secado de lodos PTAR San Pedro.....	102
Figura 5-11 Esquema del filtro anaerobio PTAR San Pedro	103



INDICE DE TABLAS

Tabla 2-1 Niveles de servicio apropiados según la población de la localidad.....	23
Tabla 2-2 Dotaciones de agua para los diferentes niveles de servicio	23
Tabla 2-3 Valores de infiltración en función de la longitud y material de la tubería.....	26
Tabla 2-4 Contaminantes de importancia en el tratamiento de agua residual	28
Tabla 2-5 Biodegradabilidad del agua residual según la relación DBO5/DQO	34
Tabla 2-6 Valores promedio de coliformes en el área rural del cantón Cuenca.....	37
Tabla 2-7 Tiempos de retención.	48
Tabla 3-1 Parroquias del cantón Cuenca con su respectiva densidad poblacional	51
Tabla 3-2 Distribución de la población por grupo de edades, Macas	57
Tabla 3-3 Tamaño del hogar de las viviendas de la comunidad Macas	58
Tabla 3-4 Elementos sanitarios presentes en las viviendas, Macas.....	59
Tabla 3-5 Variación de temperatura de la parroquia Santa Ana.....	65
Tabla 3-6 Distribución de la población por grupo de edades, San Pedro	68
Tabla 3-7 Tamaño del hogar de las viviendas de la comunidad San Pedro	69
Tabla 3-8 Elementos sanitarios presentes en las viviendas, PTAR San Pedro	69
Tabla 4-1 Parámetros considerados para el análisis de las muestras.....	77
Tabla 4-2 Concentraciones típicas de DBO y DQO para diferentes tipos de agua.....	78
Tabla 5-1 Cálculo de la dotación de agua para la comunidad Macas.....	84
Tabla 5-2 Cálculo de la dotación diaria para la ducha.....	85
Tabla 5-3 Elementos sanitarios conectados a la red de alcantarillado	86
Tabla 5-4 Cálculo del coeficiente de variación horario	86
Tabla 5-5 Cálculo del caudal del centro de salud.....	87
Tabla 5-6 Parámetros obtenidos para el cálculo del caudal de la PTAR Macas.....	88
Tabla 5-7 Caudal máximo, medio y mínimo considerando infiltración	88
Tabla 5-8 Caudal de infiltración teórico.....	89
Tabla 5-9 Cálculo del Caudal de Infiltración.....	89
Tabla 5-10 Caudal máximo y medio de la PTAR Macas sin considerar infiltración	90
Tabla 5-11 Distribución del caudal que ingresa a la PTAR Macas	91
Tabla 5-12 Valores obtenidos en el muestreo de la PTAR Macas.....	92
Tabla 5-13 Relación DBO5/DQO, Muestra compuesta - Macas.....	93
Tabla 5-14 Parámetros obtenidos para el cálculo del caudal de la PTAR San Pedro	105
Tabla 5-15 Caudal máximo, medio y mínimo de la PTAR San Pedro	105
Tabla 5-16 Caudal de infiltración teórico.....	106
Tabla 5-17 Calculo del caudal de infiltración.....	107
Tabla 5-18 Caudal máximo y medio sin considerar infiltración.....	107
Tabla 5-19 Distribución del caudal que ingresa a la PTAR San Pedro.....	108
Tabla 5-20 Valores obtenidos en el primer muestreo a la entrada de la PTAR San Pedro.....	108
Tabla 5-21 Valores obtenidos en el primer muestreo a la salida de la fosa séptica...	109
Tabla 5-22 Valores obtenidos en el primer muestreo a la salida de la PTAR	109
Tabla 5-23 Distribución de los volúmenes de la fosa séptica	110
Tabla 5-24 Cálculo del volumen ocupado por el agua residual en el filtro anaerobio	111
Tabla 5-25 Resultados del segundo muestreo en la PTAR San Pedro	112
Tabla 5-26 Relación DBO5/DQO, Muestreo 2 - San Pedro.....	113



INDICE DE GRAFICOS

Gráfico 3-1 Distribución de las viviendas en el área de influencia de la PTAR.....	57
Gráfico 3-2 Material predominante de la vivienda, Macas	58
Gráfico 3-3 Criterios de conformidad con el sistema de abastecimiento de agua, Macas	61
Gráfico 3-4 Viviendas conectadas a la red de Alcantarillado, Macas	62
Gráfico 3-5 Precipitación media mensual de la parroquia Santa Ana.....	64
Gráfico 3-6 Distribución de las viviendas en el área de influencia de la PTAR.....	68
Gráfico 3-7 Criterios de conformidad con el sistema de abastecimiento de agua.....	72
Gráfico 3-8 Viviendas conectadas a la red de Alcantarillado, PTAR San Pedro.....	73
Gráfico 5-1 Curva de caudal, caudal máximo y caudal medio de la PTAR Macas considerando infiltración.	89
Gráfico 5-2 Curva de caudal, caudal máximo y caudal medio de la PTAR Macas sin considerar infiltración.	90
Gráfico 5-3 Valores obtenidos en el muestreo de la PTAR Macas (1/4).....	92
Gráfico 5-4 Valores obtenidos en el muestreo de la PTAR Macas (2/4).....	93
Gráfico 5-5 Valores obtenidos en el muestreo de la PTAR Macas (3/4).....	94
Gráfico 5-6 Valores obtenidos en el muestreo de la PTAR Macas (4/4).....	94
Gráfico 5-7 Porcentaje de remoción de la PTAR Macas	95
Gráfico 5-8 Curva de caudal, caudal máximo y caudal medio de la PTAR San Pedro considerando infiltración.	106
Gráfico 5-9 Curva de caudal, caudal máximo y caudal medio de la PTAR San Pedro sin considerar infiltración.	107
Gráfico 5-10 DBO medida en los picos de caudal en los tres puntos de muestreo ...	110
Gráfico 5-11 Resultados del segundo muestreo, PTAR San Pedro (1/4)	112
Gráfico 5-12 Resultados del segundo muestreo, PTAR San Pedro (2/4)	113
Gráfico 5-13 Resultados del segundo muestreo, PTAR San Pedro (3/4)	114
Gráfico 5-14 Resultados del segundo muestreo, PTAR San Pedro (4/4)	114



Universidad de Cuenca
Cláusula de derechos de autor



Yo, Víctor Adrián Guamán Sánchez, autor de la tesis "Evaluación de las plantas de depuración de agua residual de las comunidades Macas y San Pedro, cantón Cuenca, Azuay", reconozco y acepto el derecho de la Universidad de Cuenca, en base al Art. 5 literal c) de su Reglamento de Propiedad Intelectual, de publicar este trabajo por cualquier medio conocido o por conocer, al ser este requisito para la obtención de mi título de Ingeniero Civil. El uso que la Universidad de Cuenca hiciere de este trabajo, no implicará afección alguna de mis derechos morales o patrimoniales como autor.

Cuenca, 10 de Abril de 2015

Víctor Adrián Guamán Sánchez

C.I: 0302359013



Universidad de Cuenca
Cláusula de derechos de autor



Yo, Manuel Andrés Molina Ulloa, autor de la tesis "Evaluación de las plantas de depuración de agua residual de las comunidades Macas y San Pedro, cantón Cuenca, Azuay", reconozco y acepto el derecho de la Universidad de Cuenca, en base al Art. 5 literal c) de su Reglamento de Propiedad Intelectual, de publicar este trabajo por cualquier medio conocido o por conocer, al ser este requisito para la obtención de mi título de Ingeniero Civil. El uso que la Universidad de Cuenca hiciera de este trabajo, no implicará afección alguna de mis derechos morales o patrimoniales como autor.

Cuenca, 10 de Abril de 2015

Manuel Andrés Molina Ulloa

C.I: 0104211685



Universidad de Cuenca
Cláusula de propiedad intelectual



Yo, Víctor Adrián Guamán Sánchez, autor de la tesis "Evaluación de las plantas de depuración de agua residual de las comunidades Macas y San Pedro, cantón Cuenca, Azuay", certifico que todas las ideas, opiniones y contenidos expuestos en la presente investigación son de exclusiva responsabilidad de su autor.

Cuenca, 10 de Abril de 2015

Víctor Adrián Guamán Sánchez

C.I: 0302359013



Universidad de Cuenca
Cláusula de propiedad intelectual



Yo, Manuel Andrés Molina Ulloa, autor de la tesis "Evaluación de las plantas de depuración de agua residual de las comunidades Macas y San Pedro, cantón Cuenca, Azuay", certifico que todas las ideas, opiniones y contenidos expuestos en la presente investigación son de exclusiva responsabilidad de su autor.

Cuenca, 10 de Abril de 2015

Manuel Andrés Molina Ulloa

C.I: 0104211685



DEDICATORIA

Quiero dedicar esta tesis a mis padres, por ser el pilar fundamental en todo lo que soy, en toda mi educación, tanto académica como de la vida, por su incondicional apoyo que se ha mantenido perfectamente a través del tiempo. De igual manera dedico esta tesis a mi hermano y mis dos hermanas que siempre han estado junto a mí, motivándome y apoyándome incondicionalmente para perseverar y alcanzar mis metas. Por último a toda mi familia y amigos con quienes he compartido esta vida universitaria.

Víctor Adrián Guamán Sánchez

Quiero dedicar esta tesis a mis padres, quienes con su infinito amor, apoyo diario y la confianza depositada en mi persona se han constituido en el cimiento para cumplir tan anhelada meta. De igual manera a mi esposa Margarita, mi compañera de vida a quien nunca le faltaron palabras de aliento durante toda mi carrera para ser un profesional. A mis hermanos, hermanos políticos, sobrinos quienes me han demostrado su cariño y la calidez de familia que tanto amo. Finalmente a mis amigos con quienes he convivido muchas experiencias a lo largo de esta vida universitaria.

Manuel Andrés Molina Ulloa



AGRADECIMIENTOS

A los ingenieros: Diego Idrovo Murillo, Andrés Alvarado Martínez y la doctora Guillermina Pauta docentes de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de Cuenca, quienes han sabido apoyar el presente trabajo con interés y dedicación. Su conocimiento y experiencia han sido una invaluable guía de nuestras labores, para hacer posible que esta investigación sea parte importante de una biblioteca informativa.

Al personal del Laboratorio de Sanitaria por su ayuda en los análisis de los muestreos.

Adrián, Manuel



SIMBOLOGÍA Y ABREVIATURAS

PTAR:	Planta de Tratamiento de Agua Residual.
PDOT:	Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial
DBO:	Demanda Bioquímica de Oxígeno.
DQO:	Demanda Química de Oxígeno.
SS:	Sólidos Suspendidos.
mm:	Milímetros.
cm:	Centímetros.
m:	Metros.
km:	Kilómetros.
cm/s:	Centímetros por segundo.
m/h:	Metros por hora.
m²:	Metros cuadrados.
ha:	Hectáreas.
l:	Litros.
m³:	Metros cúbicos.
l/s:	Litros por segundo.
l/hab:	Litros por habitante.
gr:	Gramos.
mg:	Miligramos.
mg/l:	Miligramos por litro.
°C:	Grados centígrados.
m.s.n.m:	Metros sobre el nivel del mar.
PVC:	Poli cloruro de vinilo.
HS:	Hormigón simple.
Φ:	Diámetro.



1 INTRODUCCION

La calidad de los cursos de agua se ve afectada por la actividad humana a través de las descargas de agua residual doméstica, agrícola e industrial. A lo largo del tiempo estos cursos han sido capaces de auto depurar el agua vertida, pero con el incremento de la población se eleva también el caudal y la carga contaminante; lo que ha provocado que los cuerpos receptores pierdan esta capacidad.

El vertido de agua residual implica un problema ambiental y uno de salud pública, debido a que éstas contienen compuestos orgánicos, inorgánicos y microorganismos patógenos que alteran la calidad del agua y la convierten en un foco de enfermedades para la población.

La depuración de agua residual es por lo tanto una medida para reducir la contaminación de las fuentes receptoras, y una obligación en conjunto por parte de las autoridades y la ciudadanía ya que es un derecho tal como se menciona en el Título II, capítulo Segundo, Sección Segunda; Art 14 de la Constitución, donde se reconoce el derecho de la población a vivir en un ambiente sano y ecológicamente equilibrado, que garantice la sostenibilidad y el buen vivir, Sumak Kawsay. Así como también el Art. 73 inciso primero establece como uno de los derechos de la naturaleza, determina que el Estado aplicara medidas de precaución y restricción para las actividades que puedan conducir a la extinción de especies, la destrucción de ecosistemas o la alteración permanente de los ciclos naturales.¹

1.1 Antecedentes

El acceso a una fuente de agua segura, asequible y su posterior saneamiento es uno de los principales objetivos de las metas del milenio.² En el caso específico de nuestro país, según un estudio realizado conjuntamente por la OMS y UNICEF, de la población urbana un 96% y de la rural un 74% tiene acceso a agua mediante conexiones domiciliarias.³ En cambio en el ámbito de saneamiento un 62% de la población urbana y un 16% de la población rural están beneficiados con un sistema de alcantarillado, que en total nos da un 45% de la población que cuenta con este sistema. Resulta trágico saber que de estos sistemas de recolección, el 92% son descargados a los cuerpos

¹ Constitución de la República del Ecuador

² Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo

³ INEC 2010

receptores sin ningún tipo de tratamiento. Los valores mencionados tienden a aumentar debido al incorrecto funcionamiento de los diferentes sistemas.⁴

La Empresa Pública Municipal de Telecomunicaciones, Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento de Cuenca (ETAPA EP), ha construido en los últimos años un total de 33 plantas de tratamiento de agua residual (PTAR) que sirven a algunas comunidades de las parroquias rurales del cantón Cuenca.⁵ Sin embargo, desde la construcción de estas plantas hasta la actualidad, no se ha implementado un plan de monitoreo y control continuo que permita conocer el desempeño de dichas plantas.

1.2 Justificación

El proyecto de Tesis se enfoca en la evaluación de las plantas que sirven a la comunidad Macas, parroquia Quingeo y a la comunidad San Pedro parroquia Santa Ana, pertenecientes al Cantón Cuenca, Provincia del Azuay. Las PTAR en mención cuentan con tecnología anaerobia para el tratamiento, constituida por una fosa séptica seguida de un filtro anaerobio de flujo ascendente. En ninguna de las dos PTAR se ha efectuado en el pasado una evaluación de la eficiencia de tratamiento.

La evaluación permitirá conocer el desempeño, abarcando los siguientes pasos: caracterización de la población servida que abastecen las PTAR; estado de la infraestructura física de las PTAR y definición de obras emergentes de ser el caso para garantizar el funcionamiento; descripción de los procesos físicos, químicos y biológicos que ocurren en cada unidad de tratamiento; evaluación de la eficiencia de remoción de los principales contaminantes por medio de la caracterización de los afluentes y efluentes.

Los trabajos contemplados abarcarán actividades de campo y laboratorio y tendrán para el efecto la colaboración de ETAPA y el laboratorio de Sanitaria de la Facultad de Ingeniería.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo General

- Evaluar el funcionamiento de las plantas de tratamiento de agua residual de las comunidades Macas y San Pedro, cantón cuenca, provincia del Azuay.

⁴ Estrategia de Cooperación de País, de la OPS/OMS en Ecuador

⁵ ETAPA EP (<http://www.etapa.net.ec/Productos-y-servicios/Saneamiento/Saneamiento>)



1.3.2 Objetivos Específicos

- Evaluar la infraestructura física de las PTAR.
- Definir el área de cobertura de las PTAR.
- Determinar la composición del agua residual proveniente de cada una de las comunidades servidas.
- Caracterizar la eficiencia de remoción de contaminantes en las dos PTAR.
- Definir obras emergentes para garantizar un mejor funcionamiento de las PTAR.



2 MARCO TEORICO

2.1 Agua Residual

El agua residual se define como aquella que proviene del sistema de abastecimiento, luego de haber sido alterada por actividades de origen doméstico o industrial. De igual manera se les conoce como “aguas negras” debido al color adoptado por las mismas por la presencia de componentes ajenos al agua en su estado natural.

2.1.1 Caudal de Agua Residual

El caudal de agua residual (Q_{AR}) de una población está compuesta por los siguientes aportes:

- Agua residual doméstica (Q_d)
- Agua residual industrial (Q_c)
- Agua de infiltración (Q_i)
- Aguas ilícitas (Q_l).

$$Q_{AR} = Q_d + Q_c + Q_i + Q_l \quad \text{Ec. 1}$$

2.1.1.1 Agua Residual Doméstica

El agua residual es el agua que ha sido usada por una comunidad. Está compuesta por desechos humanos (heces y orina) y agua proveniente del aseo personal, lavandería, preparación de alimentos y limpieza de los utensilios de cocina.⁶

2.1.1.1.1 Composición del Agua Residual Doméstica

El agua residual doméstica está básicamente compuesta en un 99,9% por agua y el 0,1% restante lo constituyen los sólidos. El porcentaje de sólidos están constituido generalmente por un 70% de compuestos orgánicos (proteínas, carbohidratos y grasas en porcentajes de 65%, 25% y 10% respectivamente) y un 30% de compuestos inorgánicos (áridos, sales y metales).⁷ Ver Figura 2-1.

⁶ Duncan Mara, 1

⁷ Marco von Sperling, 28

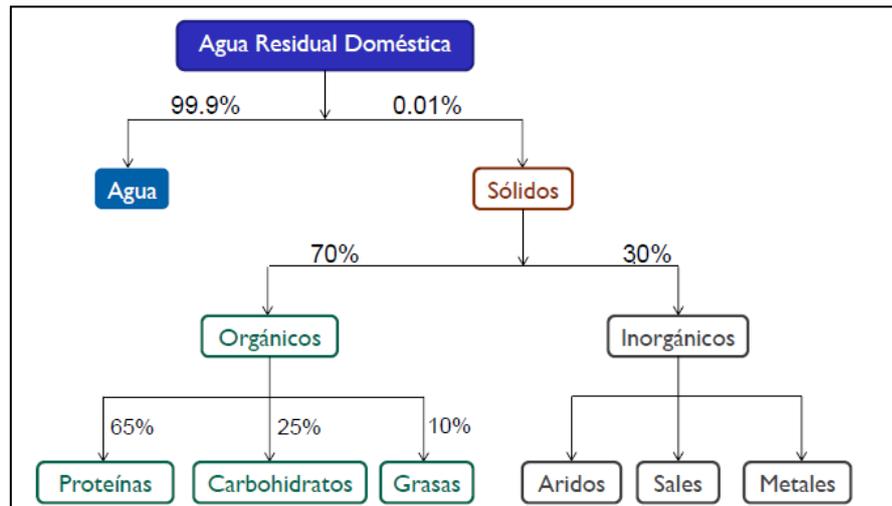


Figura 2-1 Composición del agua residual doméstica

Fuente: Apuntes de las clases de tratamiento de agua residual dictadas por el Ing. Andrés Alvarado Martínez

2.1.1.1.2 Caudal de Aguas Residuales Domésticas

El caudal teórico de aguas residuales domésticas se puede estimar en base al número de habitantes y el consumo de agua potable a través de la Ec. 2.

$$Q_d = \frac{P \cdot q \cdot R \cdot M}{86400} \quad \text{Ec. 2}$$

Donde:

P: Población de la zona (hab)

q: Dotación de agua potable (l/hab*día)

R: Coeficiente de retorno

M: Coeficiente de variación de consumo.⁸

Población

La población servida por el proyecto puede estimarse a partir de los censos de población y complementarse con información del número de usuarios de diferentes servicios públicos. La población futura puede calcularse mediante métodos de proyección acordes a las características de la población.

Dotación de agua potable

La dotación de agua potable está influenciada por: el tamaño de la población, nivel económico, presencia de industria, medidores, costos, presión de agua, etc. Cuando no se dispone de registros de dotación de agua potable, es decir, no existen medidores en las conexiones domiciliarias, la Subsecretaría de Saneamiento Ambiental (SSA) propone las siguientes dotaciones considerando distintos niveles de servicio y número de habitantes.

⁸ Ricardo López Cualla, 390

No. DE HABIR.	NIVEL DE SERVICIO	SISTEMA	DESCRIPCIÓN
0 – 250	Ia	AP	- Grifos públicos - vehículos repartidores - letrinas sin arrastre de agua
		DE	
251 – 500	Ib	AP	- grifos públicos y unidades de agua - letrinas sin arrastre de agua
		DE	
501 – 2 500	IIa	AP	- conexiones domiciliarias, 1 grifo por casa - letrinas con o son arrastre de agua
		DE	
> 2 500	IIb	AP	- conexiones domiciliarias, más de 1 grifo por casa. - alcantarillado sanitario.
		DRL	

SIMBOLOGÍA
 AP: sistema de abastecimiento de agua potable
 DE: sistema de disposición de excretas
 DRL: sistema de disposición de residuos líquidos.

Tabla 2-1 Niveles de servicio apropiados según la población de la localidad
 Fuente: Código Ecuatoriano de la Construcción (1997)

NIVEL DE SERVICIO	CLIMA FRÍO (L/hab*día)	CLIMA CÁLIDO (l/hab*día)
Ia	25	30
Ib	50	65
IIa	60	85
IIb	75	100

Tabla 2-2 Dotaciones de agua para los diferentes niveles de servicio
 Fuente: Código Ecuatoriano de la Construcción (1997)

Coeficiente de Retorno (R)

Este factor tienen en cuenta el hecho de que no toda el agua consumida dentro del domicilio es conducida al alcantarillado, en razón de sus múltiples usos como: riego, lavado de pisos, cocina y otros. Se puede establecer, entonces, que sólo un porcentaje del total del agua consumida es enviada al alcantarillado. Estadísticamente, este valor fluctúa entre el 65% y 85%.⁹

El coeficiente de retorno depende de varios factores como la localización, el uso del suelo (si es netamente residencial, comercial, etc.), tipo de residencia, condiciones de pavimento de las vías, costumbres y otros factores propios de la comunidad.

Para obtener un coeficiente más acorde a la realidad de cada población, se debe elaborar encuestas sanitarias y observaciones que permitan caracterizar cada población. También puede ser definida por la empresa prestadora del servicio de alcantarillado.

⁹ Ricardo López Cualla, 390

En el presente estudio se obtuvo un coeficiente igual a 0,8 basado en la dotación de agua potable obtenida a partir de la encuesta sanitaria aplicada en la comunidad de Macas en la parroquia Quingeo, cantón Cuenca.

Coeficiente de variación de consumo (M)

El coeficiente de variación de consumo, es el valor que mayor el caudal de agua residual, ya que considera la simultaneidad de la generación de caudales. Este coeficiente varía inversamente proporcional a la población.

El caudal de agua residual de cualquier población varía a lo largo del tiempo y depende de factores como la temperatura y precipitaciones. Las variaciones de caudal son menores a las de agua potable, debido a:

- Parte del agua no llega al alcantarillado.
- El caudal de infiltración.
- El escurrimiento a lo largo de las tuberías.

El coeficiente de variación de consumo debe ser estimado mediante mediciones de campo que nos llevan a obtener los valores de K1 y K2 de la siguiente expresión:

$$M = K1 * K2 \quad \text{Ec. 3}$$

Donde:

K1: Relación entre el caudal máximo diario y el caudal medio diario

K2: Relación entre el caudal máximo horario y el caudal medio horario. ¹⁰

Cuando no se dispone de registros de medición de caudales, se puede estimar este coeficiente con relaciones empíricas como:

$$M = 5/(P^{0.2}) \quad \text{(Babbit)} \quad \text{Ec. 4}$$

$$M = 1 + \frac{14}{4+P^{0.5}} \quad \text{(Harmon)} \quad \text{Ec. 5}$$

Donde:

P: Población en miles. ¹¹

La Ec. 4 está restringida a un valor máximo de P igual a 1000 y a un valor mínimo igual a 1. Harmon no ha hecho ninguna limitación sobre los valores de la Ec. 5. ¹²

El coeficiente de variación de consumo también puede ser dado en términos del caudal medio diario (Q_{MD}) como en las fórmulas de Los Ángeles (Ec. 6) y Tchobanoglous (Ec.7).

¹⁰ Cepis, 22

¹¹ Harold Babbit, 51

¹² Harold Babbit, 51-53



$$M = \frac{3,53}{Q_{MD}^{0,0914}} \quad \text{Ec. 6}$$

$$M = \frac{3,70}{Q_{MD}^{0,0733}} \quad \text{Ec. 7}$$

La fórmula de Los Ángeles es válida para caudales en el rango de 2,8 l/s a 28300 l/s, mientras que la de Tchobanoglous lo es para el rango de 4 l/s a 5000 l/s. La Ec. 6 es adecuada cuando la contribución de aguas residuales de procedencia comercial, industrial e institucional no representa más del 25% del caudal total de agua residual. En general el valor de M debe ser mayor o igual a 1,4.¹³

En el caso de que el caudal medio no sobrepase los 4 l/s, se podrá asumir un coeficiente de variación de consumo $M=4$.¹⁴

Para el sector rural del cantón Cuenca en un estudio realizado por (Ruiz & Once, 2014) en las comunidades de Soldados y Churuguzo se obtiene un valor para el coeficiente de variación de consumo de 1,79. En el presente estudio se obtuvo un valor de 1,99 para la comunidad de Macas.

2.1.1.2 Agua Residual Industrial

Es la resultante de las descargas industriales. Este aporte de aguas residuales debe evaluarse para cada caso en particular, ya que varía de acuerdo con el tipo y el tamaño de la industria. De igual manera, deben evaluarse los procesos y tratamiento de agua, reutilización de la misma y la tecnología empleada para reducir el impacto. Por lo anterior, es necesario recurrir a la evaluación individual de consumos de agua industrial por medio de censos, encuestas y aforos.¹⁵

2.1.1.3 Agua de Infiltración (Qi)

Es producido por la entrada del agua que se encuentra en el suelo a través de:

- Juntas y conexiones defectuosas.
- Las paredes de tuberías defectuosas.
- Estructuras de los pozos de visitas.¹⁶

Las tasas de infiltración dependen principalmente de los materiales empleados, del cuidado en la construcción del sistema, tipo de suelo, altura de nivel freático, longitud de la red y/o área de servicio y de la población.

¹³ RAS 2000, D39

¹⁴ Diego León Sanabria, 28

¹⁵ Ricardo López Cualla, 391

¹⁶ Cepis 2005, 20



Para sistemas existentes, una estimación puede realizarse mediante mediciones en la entrada de la PTAR en horas cuando el consumo de agua es mínimo. En caso de que no se disponga de valores de dichas mediciones o que a su vez no sean representativas, este aporte puede establecerse en base a los valores dados por las normas del ex IEOS, que propone las siguientes expresiones para sistemas existentes en función del área de aporte:

Para: 40,5 ha < área < 5000 ha

$$Q_i = \frac{42,51 * A^{0,7}}{86,4} \quad \text{Ec. 8}$$

Para: área < 40,5 ha

$$Q_i = 0,16204 * A \quad \text{Ec. 9}$$

Donde, A: Área de aportación (ha)

Qi: Caudal de infiltración en l/s ¹⁷

Puede expresarse por metro lineal de tubería, o por su equivalente en hectáreas de área drenada, según estos dos criterios se presentan las siguientes expresiones:

- $Q_i = 0,2 - 20,28 \text{ m}^3 \text{ ha. dia}$ (Metcalf & Eddy, 1995)
- $Q_i = 10 \text{ PVC}; 20 \text{ Concreto m}^3 \text{ ha. dia}$ (Mara, 2003)
- $Q_i = 0,01 - 1 \text{ m}^3 / \text{d. mm} - \text{km}$ (Metcalf & Eddy, 1995)

Para calcular el caudal de infiltración en función de la longitud de la red de alcantarillado y del material la (CEPIS & OPS, 2005) presentan la Tabla 2-3.

	Caudales de Infiltración (l/s/km)							
	Tubo de cemento		Tubo de arcilla		Tubo de arcilla vitrificada		Tubo de P.V.C	
Unión	Cemento	Goma	Cemento	Goma	Cemento	Goma	Cemento	Goma
Nivel Freático bajo	0,5	0,2	0,5	0,1	0,2	0,1	0,1	0,05
Nivel Freático alto	0,8	0,2	0,7	0,1	0,3	0,1	0,15	0,5

Tabla 2-3 Valores de infiltración en función de la longitud y material de la tubería
Fuente: Norma Boliviana NB 688-01 de alcantarillado sanitario.

Estudios realizados en las comunidades de Soldados y Churuguzo se encuentran caudales de infiltración de 0,5 l/s/km y 0,8 l/s/km para redes de alcantarillado de PVC y HS respectivamente ¹⁸

¹⁷ Ana Belén Arboleda Rodríguez, 24

¹⁸ Johnny Ruiz & David Once, 82-98



2.1.1.4 Aguas Ilícitas (Q_I)

Caudales provenientes de conexiones erradas como conexiones clandestinas de patios son consideradas aguas ilícitas. El caudal ilícito puede ser del 5 al 10% del caudal máximo horario de agua residual.¹⁹

La cuantificación de estas aguas se las efectúa relacionándola con la población, es decir, en litros por segundo y por habitante. La norma ex-IEOS recomienda la siguiente expresión:

$$Q_I = \frac{80 \cdot P}{86400} \quad \text{Ec. 10}$$

Donde:

Q_I : Caudal de infiltración (l/s)

P: Población (habitantes)

En el sector rural en el cantón Cuenca, (Ruiz & Once, 2014) luego de realizar estudios proponen valores de 0,0044 l/s/hab y 0,0023 l/s/hab para las comunidades de Churuguzo y Soldados respectivamente.

2.1.2 Características del Agua Residual

Es importante realizar una caracterización del agua residual para establecer los volúmenes y tipos de contaminantes que transportan, con la finalidad de seleccionar los procesos de tratamiento que resultarán más eficientes. Los parámetros a analizar pueden ser clasificados como: físicos, químicos y biológicos.

En la Tabla 2-4 se presentan los contaminantes de interés en el tratamiento del agua residual según (Metcalf & Eddy, 1995).

¹⁹ Cepis 2005, 21



Contaminantes	Razón de la importancia
Sólidos en suspensión	Los sólidos en suspensión pueden dar lugar al desarrollo de depósitos de fango y de condiciones anaerobias cuando se vierte agua residual sin tratar al entorno acuático
Materia orgánica biodegradable	Compuesta principalmente por proteínas, carbohidratos, grasas animales, la materia orgánica biodegradable se mide, en la mayoría de las ocasiones, en función de la DBO y de la DQO. Si se descargan al entorno sin tratar, su estabilización biológica puede llevar al agotamiento de los recursos naturales de oxígeno y al desarrollo de condiciones sépticas.
Patógenos	Pueden transmitirse enfermedades contagiosas por medio de los organismos patógenos presentes en el agua residual
Nutrientes	Tanto el nitrógeno como el fósforo, junto con el carbono, son nutrientes esenciales para el crecimiento. Cuando se vierten el entorno acuático, estos nutrientes pueden favorecer el crecimiento de una vida acuática no deseada. Cuando se vierten al terreno en cantidades excesivas, también pueden provocar la contaminación del agua subterránea.
Materia Orgánica refractaria	Esta materia orgánica tiende a resistir los métodos convencionales de tratamiento. Ejemplos típicos son los agentes tensoactivos, los fenoles y los pesticidas agrícolas.
Metales pesados	Los metales pesados son, frecuentemente, añadidos al agua residual en el curso de ciertas actividades comerciales e industriales, y puede ser necesario eliminarlos si se pretende reutilizar el agua residual.
Sólidos inorgánicos disueltos	Los constituyentes inorgánicos tales como el calcio, sodio y los sulfatos se añaden al agua de suministro como consecuencia del uso del agua, y es posible que se deban eliminar si se va a reutilizar el agua residual.

*Tabla 2-4 Contaminantes de importancia en el tratamiento de agua residual
Fuente: Metcalf & Eddy, Ingeniería de Aguas Residuales Tratamiento, Vertido y Reutilización.*

2.1.2.1 Características Físicas

Las características físicas más importantes del agua residual son: el contenido total de sólidos, término que engloba la materia en suspensión, la materia sedimentable, la materia coloidal y la materia disuelta. Otras características físicas son: la temperatura, el color, el olor, la densidad y turbiedad.²⁰

²⁰ Metcalf & Eddy (2003), 59



2.1.2.1.1 Sólidos totales

La definición más generalizada de sólidos es la que se refiere a toda la materia sólida que permanece como residuo después de una evaporación y secado bajo una temperatura entre 103–105°C.²¹

Los sólidos se clasifican según la Sedimentación, Volatilidad y su naturaleza Química-Biológica

Según la sedimentación

- **Sólidos Suspendidos (SS):** son aquellos que son retenidos por filtros y son visibles. Se clasifican en sólidos sedimentables y coloidales.
 - **Sólidos Sedimentables:** tienen la capacidad de flotar y decantar cuando el agua está en reposo, se eliminan fácilmente mediante procesos físicos y mecánicos.
 - **Sólidos Coloidales:** No sedimentan ni flotan cuando el agua se encuentra en reposo. Para su eliminación se requieren procesos de coagulación y floculación.
- **Sólidos Disueltos:** Son aquellos que están en solución en el agua, Las técnicas de remoción se basan en cambios de temperatura, PH, efectos quemantes, etc. O por sistema de membranas, osmosis inversa, nano filtración y ultrafiltración.

Según su volatilidad

- **Sólidos Fijos:** Se mantienen en el agua después de una calcinación a 550°C±50°C, durante una hora.
- **Sólidos Volátiles:** Son aquellos que no se eliminan luego de la calcinación, se calculan restando los fijos de los totales.

Según su Naturaleza Química-Biológica

- **Sólidos orgánicos:** Generalmente están presentes en el agua residual en un porcentaje entre el 50-80% y lo constituyen; proteínas, carbohidratos y grasas, los mismos que pueden ser degradados biológicamente como químicamente.²² La DBO₅/DQO proporcionan indicadores sobre el nivel de degradación.
- **Sólidos inorgánicos:** Representan la fracción de sólidos que no pueden ser descompuestos y están en un rango entre el 20-50%.²³ Lo constituyen gravas, arcillas, arenas, metales, etc.

²¹ Catalina Domínguez, 16

²² Juliana Maita Abad, 5

²³ Juliana Maita Abad,5

La clasificación de los sólidos mencionada en los párrafos anteriores se puede ver con más detalle en la Figura 2-2.

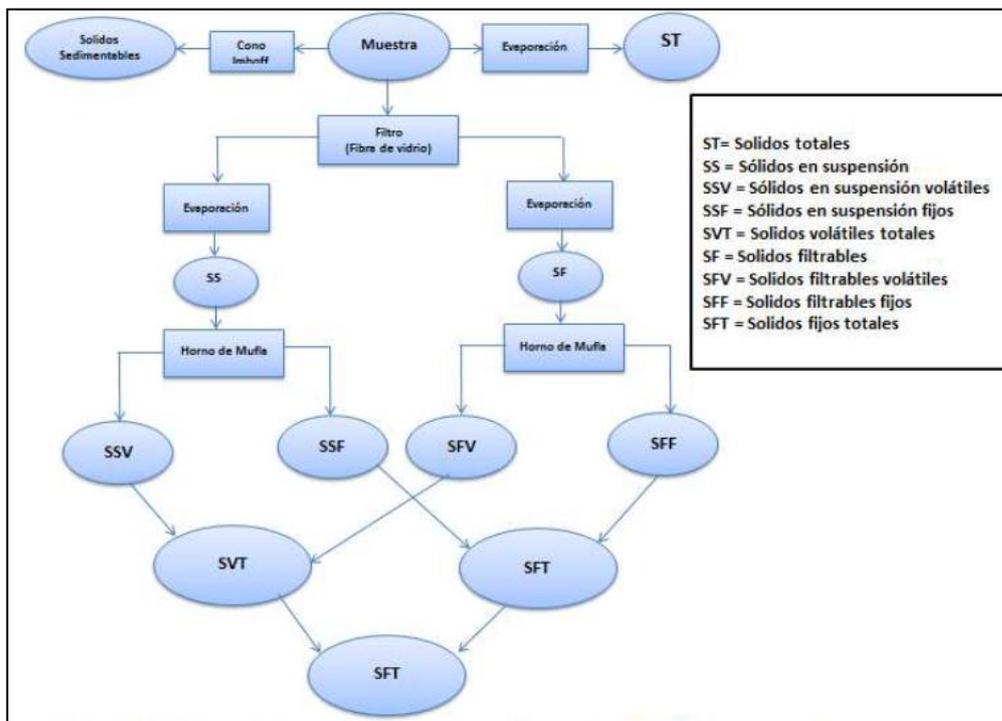


Figura 2-2 Clasificación de los sólidos

Fuente: Metcalf & Eddy. Ingeniería de Aguas Residuales Tratamiento, Vertido y Reutilización

2.1.2.1.2 Temperatura

La temperatura del agua residual es ligeramente más elevada que el agua de abastecimiento debido a la incorporación de agua caliente procedente de las casas y los diferentes usos industriales, presenta variaciones de acuerdo a las estaciones del año, influye en: la actividad microbiana, la solubilidad de los gases y la viscosidad.²⁴ La temperatura del agua es un parámetro muy importante porque afecta las reacciones químicas, las tasas de reacción y la vida acuática.²⁵

Las temperaturas óptimas para la actividad bacteriana están en el rango de 25 a 35°C. La digestión aerobia y la nitrificación se detienen cuando la temperatura alcanza los 50°C. Cuando la temperatura cae cerca de los 15°C, las bacterias productoras de metano cesan su actividad.²⁶

²⁴ Marco von Sperling, 30

²⁵ Metcalf & Eddy (2003), 54

²⁶ Metcalf & Eddy (2003), 55



Temperaturas promedio obtenidas en muestreos realizados en sector rural del cantón Cuenca oscilan entre 12 y 16 °C.²⁷

2.1.2.1.3 Color

La coloración del agua residual determina cualitativamente el tiempo de las mismas. Generalmente varía del gris claro al negro. Si el agua es reciente, suele presentar coloración gris clara; oscureciéndose a medida que pasa el tiempo, pasando a ser de color gris a negro. Al llegar a este punto de coloración, suele clasificarse el agua residual como séptica. El agua residual adopta estos colores debido a la formación de sulfuros metálicos por reacción del sulfuro liberado en condiciones anaerobias con los metales presentes en el agua residual.²⁸

2.1.2.1.4 Olor

El olor del agua residual fresca es en general inofensivo, pero una gran variedad de compuestos mal olientes son liberados cuando se produce la degradación biológica bajo condiciones anaerobias. El principal compuesto de olor indeseable es el sulfuro de hidrogeno.²⁹

2.1.2.1.5 Densidad

La densidad de las aguas residuales es definida como la masa por unidad de volumen expresado como (gr/l) o (kg/m³) en el SI. La densidad es una característica física importante debido al potencial para la formación de corrientes de densidad en tanques de sedimentación, tanques de contacto de cloro y otras unidades de tratamiento. Tanto la densidad como el peso específico dependen de la temperatura y varían en función de la concentración total de sólidos.³⁰

2.1.2.1.6 Turbiedad

Se define como la propiedad óptica de una suspensión, la cual hace que la luz se disperse o absorba en lugar de transmitirse en línea recta a través de la muestra.³¹ Es un parámetro que se emplea para indicar la calidad de las aguas vertidas o de las aguas naturales en relación con la materia coloidal y residual en suspensión.³²

²⁷ Patricio Morocho & Maria B. Arévalo, 90 – Johnny Ruiz & David Once, 82-99

²⁸ Isabel Martin García, 22

²⁹ Juliana Maita Abad, 4

³⁰ Metcalf & Eddy (2003), 56-57

³¹ Jorge Sierra, 36

³² Metcalf & Eddy (1995), 72



2.1.2.2 Características Químicas

Para el estudio de las características químicas del agua residual se consideran cuatro aspectos: Materia orgánica, medición del contenido orgánico, materia inorgánica y gases presentes en el agua residual.

2.1.2.2.1 Materia Orgánica

Comúnmente los sólidos suspendidos de las aguas residuales pueden contener un 75% de materia orgánica; los sólidos disueltos un 40%. La materia orgánica de las aguas residuales es una combinación de carbono, hidrogeno, oxígeno y nitrógeno (CHON) principalmente; con las proteínas (40-60%), los carbohidratos (25-50%) y las grasas y aceites (10%) como grupos más importantes. Concentraciones grades de materia orgánica, en aguas residuales, se miden mediante la DBO, la DQO y el COT.³³

2.1.2.2.2 Medida del Contenido Orgánico

Para concentraciones mayores a 1mg/l las técnicas empleadas son: Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO), Demanda Química de Oxígeno (DQO) y Carbono Orgánico Total (COT). Para complementar estos ensayos de laboratorio se utiliza la Demanda Teórica de Oxígeno (DTO). Para concentraciones en el rango de 10^{-12} a 10^0 mg/l se emplean métodos instrumentales como son la cromatografía de gases y la espectroscopia de masa.

Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO)

La DBO es un parámetro utilizado para determinar el nivel de contaminación tanto para aguas residuales como superficiales, se define como la cantidad de oxígeno requerido para estabilizar la materia orgánica a través de procesos bioquímicos. Por consiguiente este es un indicador indirecto del carbón orgánico biodegradable.

En términos prácticos la estabilización completa toma varios días (20 días o más). Esto corresponde a la demanda bioquímica de oxígeno ultima (DBO_u). Sin embargo, para acortar el tiempo de la prueba de laboratorio, y permitir una comparación de varios resultados, la prueba es realizada en el 5to día DBO_5 . Para aguas domesticas típicas, el consumo de oxígeno en el quinto día puede ser correlacionado con el consumo final de oxígeno DBO_u .³⁴

A pesar de tener ciertas limitaciones, este ensayo es usado para determinar la cantidad aproximada de oxígeno que se requerirá para estabilizar la materia

³³ Jairo Romero Rojas, 60

³⁴ Marco von Sperling, 36-37



orgánica presente, determinar el tamaño de las instalaciones de tratamiento de aguas residuales, medir la eficiencia de algunos procesos de tratamiento y determinar el cumplimiento de las normas de vertido de agua residual.³⁵

El ensayo de la DBO es ampliamente usado debido a que los criterios de diseño de algunos procesos de tratamiento de aguas residuales son frecuentemente expresados en términos de la DBO y, las legislaciones para la descarga de efluentes de igual manera están basadas en la DBO.³⁶

Metcalf & Eddy clasifica el agua residual domestica de acuerdo a la concentración de DBO en:

- Débil: valores menores a 160mg/l
- Media: valores entre 160mg/l y 310mg/l
- Fuerte: valores mayores a 310mg/l

Estudios realizados en el área rural del cantón Cuenca muestran que el agua que ingresa a las PTAR presenta una concentración de DBO menor a 150mg/l.³⁷

Demanda Química de Oxígeno

Es un parámetro que mide la cantidad de materia orgánica susceptible de ser oxidada por medios químicos. Este proceso es utilizado en casos en los que la materia orgánica es difícilmente biodegradable, cuando las aguas residuales presentan ciertas sustancias que pueden ser tóxicas para los microorganismos usados en la DBO. Desde el punto de vista operacional la principal ventaja del ensayo de DQO es el tiempo requerido que es de 2.5 horas comparado con los 5 días necesarios para la DBO₅.³⁸

De igual manera que en la DBO, Metcalf & Eddy clasifica el agua residual domestica según el nivel de concentración de la DQO de la siguiente manera.

- Débil: valores menores a 300mg/l
- Media: valores entre 300mg/l y 750mg/l
- Fuerte: valores mayores a 1000mg/l

Muestras de agua residual proveniente de las PTAR ubicadas en las comunidades rurales del cantón Cuenca presentan concentraciones de DQO inferiores a 250mg/l.³⁹

³⁵ Metcalf & Eddy (2003), 81

³⁶ Marco von Sperling, 38

³⁷ Galo Ordóñez – Johnny Ruiz & David Once – Patricio Morocho & María B. Arévalo.

³⁸ Metcalf & Eddy (2003), 94

³⁹ Galo Ordóñez – Johnny Ruiz & David Once – Patricio Morocho & María B. Arévalo



La relación DBO_5/DQO es un factor importante, que indica la biodegradabilidad de las aguas residuales urbanas, entendiéndose por biodegradabilidad, la característica de algunas sustancias químicas de poder ser utilizadas como sustrato por microorganismos, que las emplean para producir energía (por respiración celular), y crean otras sustancias como aminoácidos, nuevos tejidos y nuevos organismos.⁴⁰

DBO5/DQO	Biodegradabilidad del Agua Residual
0,4	Alta
0,2 - 0,4	Normal
0,2	Baja

*Tabla 2-5 Biodegradabilidad del agua residual según la relación DBO_5/DQO
Fuente: Diego Fernando León Sanabria, 2011.*

Según (Tchobanoglous, 2000) cuando esta relación es superior a 0,4 se recomienda la utilización de procesos biológicos para el tratamiento, mientras que cuando se encuentra entre 0,2-0,4 se recomienda el uso de lechos bacterianos y si esta relación es inferior a 0,2 lo más adecuado son los procesos químicos.

2.1.2.2.3 Materia Inorgánica

Dentro de la materia inorgánica se incluyen a todos los sólidos de origen generalmente mineral, como sales minerales, arcillas, lodos, arenas y gravas, y ciertos compuestos como sulfatos, carbonatos, etc., que pueden sufrir algunas transformaciones (fenómenos de óxido-reducción y otros).⁴¹

pH

Es la medida de la concentración del ion hidrógeno en el agua, expresada como el logaritmo negativo de la concentración molar de ion hidrógeno. Aguas residuales con una extrema concentración del ion hidrógeno son difíciles de tratar biológicamente, alteran la biota (flora y fauna) de las fuentes receptoras y eventualmente son fatales para los microorganismos. El pH adecuado para procesos de tratamiento y la existencia de la vida biológica esta entre 6.5 y 8.5.

⁴² El proceso de oxidación biológica normalmente tiende a reducir el pH.⁴³

Un valor promedio de pH encontrado en muestras analizadas en el sector rural del cantón Cuenca para afluentes en PTAR es 7,05⁴⁴

⁴⁰ Isabel Martin García, 25

⁴¹ Isabel Martin García, 23

⁴² Jairo Romero Rojas, 66

⁴³ Marco von Sperling, 32

⁴⁴ Patricio Morocho & María B. Arévalo, 92



Cloruros

Es un constituyente de interés en aguas residuales debido a que este puede tener un impacto en la aplicación final de reutilización del agua residual tratada. Las heces humanas en si contienen cloruros (6gr de cloruros por persona por día), razón por la cual la presencia de estos en las aguas residuales.⁴⁵

Alcalinidad

Se define como la capacidad del agua para neutralizar ácidos, como su capacidad para reaccionar con iones hidrógeno. También se define como la medida de la capacidad buffer del agua residual (resistencia a variaciones del pH).⁴⁶ La alcalinidad de las aguas residuales está provocada por la presencia de hidróxidos, carbonatos y bicarbonatos de elementos como el calcio, magnesio, sodio, potasio o el amoníaco. De entre todos ellos los más comunes son el bicarbonato de calcio y el bicarbonato de magnesio.⁴⁷ Un valor promedio para este parámetro en el área rural del cantón Cuenca es 55,75 mg(CaCO₃)/l.⁴⁸

Nitrógeno y Fósforo

Estos elementos son esenciales para el crecimiento de protistas y plantas, razón por la cual reciben el nombre de nutrientes y bioestimuladores. Cuando el contenido de nitrógeno sea insuficiente, será preciso añadirlo para hacer tratable el agua residual, y reducirlo para controlar el crecimiento de algas.⁴⁹ Valores promedio encontrados en el cantón Cuenca son 1,25mg/l y 4,5mg/l para nitrógeno y fósforo respectivamente.

2.1.2.3 Características Biológicas

Las características biológicas de las aguas residuales son de fundamental importancia en el control de enfermedades causadas por organismos patógenos de origen humano y por el rol fundamental jugado por las bacterias y otros microorganismos en la descomposición y estabilización de materia orgánica.

⁴⁵ Metcalf & Eddy (1995), 96

⁴⁶ Marco von Sperling, 32

⁴⁷ Metcalf & Eddy (1995), 97

⁴⁸ Johnny Ruiz & David Once, 87 & 103

⁴⁹ Metcalf & Eddy (1995), 97

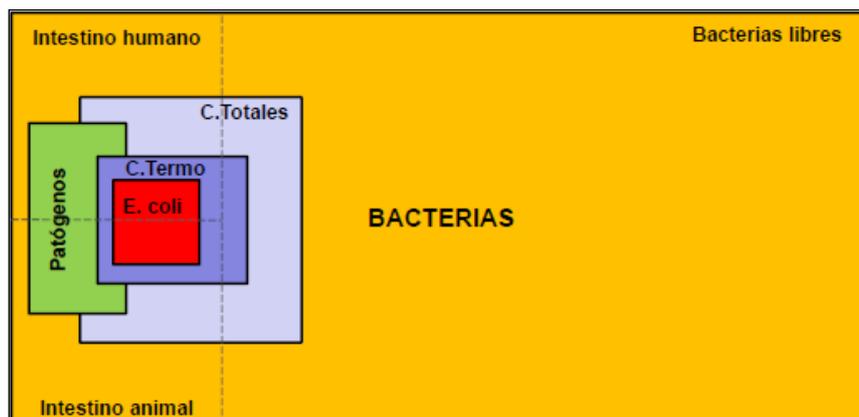


Figura 2-3 Esquema de bacterias e indicadores de contaminación fecal
Fuente: Apuntes de las clases de Tratamiento de AR dictadas por el Ing. Andrés Alvarado Martínez.

2.1.2.3.1 Organismos Patógenos

El número de patógenos presentes en el agua residual de una cierta comunidad varía sustancialmente y depende de: nivel socio-económico de la población, requerimientos de salud, región geográfica, presencia de agroindustrias y tipo de tratamiento al que dicha agua fue sometido.⁵⁰

2.1.2.3.2 Organismos Indicadores

Resulta demasiado costoso y complejo analizar cada grupo de patógenos (virus, bacterias, algas, hongos, protozoarios, etc.), porque ocurren en concentraciones muy bajas. Este obstáculo es superado a través de la búsqueda de un organismo indicador de contaminación fecal. Estos organismos son predominantemente no patógenos, pero brindan una indicación satisfactoria si el agua está contaminada por heces humanas o animales.⁵¹

Los indicadores de contaminación fecal comúnmente más usados son:

- Coliformes Totales
- Coliformes Termo tolerantes
- Escherichia Coli

Coliformes totales

Este grupo fue ampliamente usado en el pasado como un indicador y a pesar de las dificultades asociadas con la existencia de bacterias no fecales dentro de los coliformes totales continúa siendo usado en algunas áreas. No hay una relación cuantificable entre los coliformes totales y los organismos patógenos. Valores promedio de este parámetro se presentan en la Tabla 2-6.

⁵⁰ Marco von Sperling, 47

⁵¹ Marco von Sperling, 51



Coliformes termotolerantes

Este indicador está conformado por un grupo de bacterias predominantemente originadas en el tracto intestinal de humanos y animales, aunque existen en porcentajes menores bacterias termotolerantes que no son de origen fecal. Por lo tanto este indicador no garantiza la contaminación de origen fecal.

Escherichia coli

Es la principal bacteria termotolerante del grupo de coliformes fecales, estando presente en grandes cantidades en las heces de humanos y animales. Sin embargo, la detección de ésta no garantiza que la contaminación es humana o animal.⁵²

Parámetro	Promedio (NPM/100ml)
Coliformes totales	2,64E+07
Coliformes termotolerantes	1,17E+07

*Tabla 2-6 Valores promedio de coliformes en el área rural del cantón Cuenca
Fuente: Patricio Morocho & María B. Arévalo (2010)*

2.2 Tratamiento de Agua Residual

2.2.1 Objetivos del Tratamiento de Agua Residual

Partiendo del hecho de que el agua residual presenta una serie de contaminantes de diferente índole, surge la necesidad de que estos vertidos sean previamente tratados, a fin de proteger los diferentes cuerpos receptores y por ende las diversas formas de vida existentes en ellos. En el caso del agua como cuerpo receptor, el problema radica cuando se excede la capacidad de autodepuración, provocando que el ambiente se vuelva tóxico, lo que al final conlleva a la degradación de los ecosistemas acuáticos.

Además el tratamiento del agua residual es de cierta manera una conciencia moral que debemos tener, ya que tanto, aguas arriba como aguas abajo existen personas que utilizan este recurso para distintos usos.

2.2.2 Digestión Anaerobia

La digestión anaerobia es un proceso de degradación de la materia que ocurre en el tratamiento anaerobio del agua residual. Dicho proceso se caracteriza por la transformación de la materia orgánica a metano y CO₂, en ausencia de oxígeno con la interacción de bacterias. (Ver Figura 2-4)

⁵² Marco von Sperling, 52



Figura 2-4 Esquema de la degradación biológica de la Materia Orgánica
Fuente: Tratamiento Anaerobio de Aguas Residuales, Jenny A. Rodríguez

2.2.2.1 Degradación Anaerobia de la materia

Para llevar a cabo la degradación anaerobia, se requiere de la intervención de diversos grupos de bacterias facultativas, las cuales utilizan en forma secuencial los productos metabólicos generados por cada grupo. La digestión anaerobia tiene cuatro etapas metabólicas relacionadas con la producción del biogás que son:

- **Hidrólisis:** los polímeros complejos como proteínas, carbohidratos, grasas y aceites que pueden asimilar las bacterias son hidrolizados por la acción de enzimas extracelulares en productos solubles más sencillos de tamaño tal que les permita pasar a través de la pared celular de las bacterias. se lleva a cabo por las bacterias fermentativas hidrolíticas.
- **Acidogénesis:** Los compuestos sencillos y solubles producidos tales como: azúcares, ácidos grasos y alcoholes son fermentados en ácidos grasos de cadena corta (volátiles), amoníaco- H_2 , H_2S y CO_2 por las bacterias fermentativas acidogénicas.
- **Acetoénesis:** Los compuestos producidos por la acidogénesis son convertidos a acetato, hidrógeno y dióxido de carbono por la acción de las bacterias acetogénicas.
- **Metanogénesis:** Las bacterias metanogénicas convierten el acetato a metano y CO_2 , o reducen el CO_2 a metano como se observa en la Figura 2-5.⁵³

⁵³ Abraham Alvarado Arce, 6

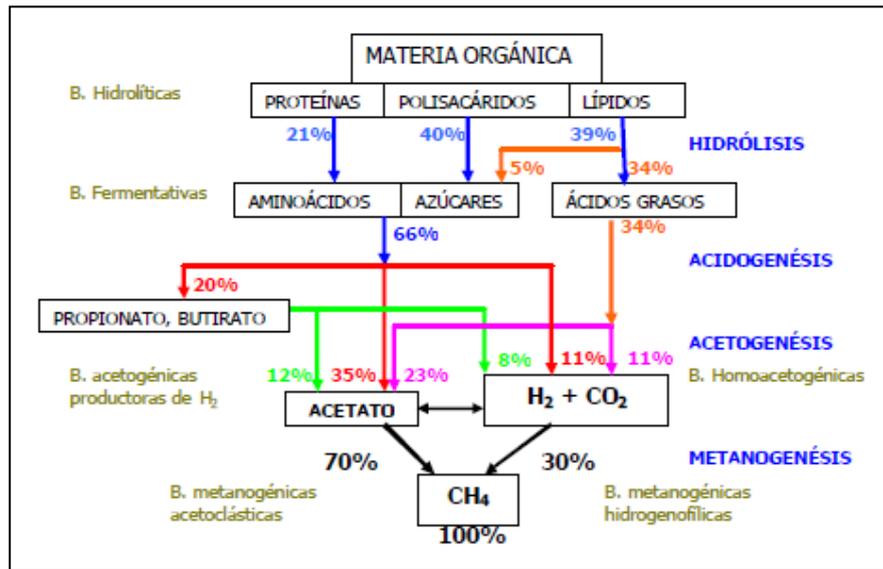


Figura 2-5. Etapas de la digestión Anaerobia
Fuente: Tratamiento Anaerobio de Aguas Residuales, Jenny A. Rodríguez

2.2.3 Componentes Empleados para el Tratamiento de Agua Residual

2.2.3.1 Rejillas

La primera operación obligada en el tratamiento de agua residual es el cribado, esta operación se realiza usando rejillas y circulando el agua a través de ellas. Sus principales objetivos son:

- Reducir los sólidos de grandes tamaños que trae consigo en suspensión el afluente de aguas residuales crudas.
- Evitar la obstrucción de los conductos
- Proteger los equipos.⁵⁴

Las rejillas, generalmente están formadas por barras de hierro, las mismas que permiten el paso de papeles, excretas y materiales finos, reteniendo componentes de mayor tamaño como piedras, palos, etc. El espaciamiento entre las barras de la rejilla, dependen del tamaño de las partículas que se desean retener y eliminar.

2.2.3.1.1 Consideraciones de Diseño

Las rejillas pueden ser fijas o móviles de acuerdo a su colocación, de acuerdo a su sección transversal pueden clasificarse en: cuadradas, rectangulares y circulares; de acuerdo al tamaño de partículas a retener en: finas (0,1 – 1,5cm),

⁵⁴ Juliana Maita Abad, 23

medianas (1,5 – 2 cm) y gruesas (2,5 – 5 cm); y de acuerdo a su forma de limpieza en manuales o mecánicas.⁵⁵

La velocidad de paso a través de las rejillas que se limpian con rastrillo a mano debe ser alrededor de 30 cm/s, mientras que las velocidades durante los periodos húmedos no deben exceder los 75 cm/s en rejillas que tienen limpieza mecánica.⁵⁶

Las rejillas que tengan que limpiarse a mano, salvo para uso de emergencia, deben colocarse con una pendiente que formen un ángulo de 30°- 45° con la horizontal, para lograr menor velocidad a través de la rejilla y hacer que los materiales se acumulen cerca de la superficie del agua residual. La rejilla solo debe estar sostenida en la base y en la parte superior, para evitar que soportes intermedios interfieran con los dientes de los instrumentos de limpieza.⁵⁷

En cuanto a la cámara de la rejilla, la anchura de la misma debe ser igual a la anchura de la rejilla, mientras que la longitud de la cámara se puede calcular según la Ec. 11 y debe ser lo bastante larga para evitar remolinos cerca de la rejilla.⁵⁸

$$l = Q / (W_s * V_s) \quad \text{Ec. 11}$$

Donde:

l: Longitud de la cámara de la rejilla

Q: Caudal máximo

W_s: Ancho de las aberturas de la rejilla

V_s: Velocidad de escurrimiento en la rejilla



Figura 2-6 Rejilla de entrada a la PTAR San Pedro
Fuente: Autores

⁵⁵ Juliana Maita Abad, 24

⁵⁶ Harold Babbit, 77

⁵⁷ Harold Babbit, 477-479

⁵⁸ Harold y Babbit, 480-481



2.2.3.1.2 Operación y Mantenimiento

Las rejillas planas en posición vertical no son muy recomendables, debido a que presentan mayor dificultad al limpiarlas y presentan acumulación de material en puntos inaccesibles. Si se coloca una rejilla en el plano horizontal, con el escurrimiento del AR, es difícil limpiar por el lado de aguas abajo. Un escurrimiento hacia aguas arriba a través de una rejilla horizontal es desfavorable, pues los materiales se acumulan en una posición inaccesible para la limpia. Las rejillas móviles se limpian con mayor facilidad en un plano vertical.⁵⁹

El piso donde se acumulan los materiales retenidos por la rejilla debe estar dotado de un drenaje, mediante el cual se devuelve el agua a la cámara de la rejilla. También se deben tomar medidas para la rápida evacuación de los materiales. Los residuos retenidos por las rejillas pueden ser quemados, enterrados, tratados por digestión, descargados en grandes masas de agua o triturados y devueltos al AR. El enterrado sólo se practica en pequeñas plantas, es necesario enterrar los desperdicios a grandes profundidades para evitar malos olores, este procedimiento no siempre da resultados satisfactorios. La incineración es un método muy satisfactorio para la eliminación de los desperdicios.⁶⁰

2.2.3.2 Fosa Séptica

2.2.3.2.1 Proceso Séptico

Es un proceso biológico natural en el que las bacterias u otras formas vivas microscópicas o sub-microscópicas en ausencia del oxígeno, reducen las sustancias orgánicas a formas poco oxidadas, disolviendo sólidos y generando gases como el anhídrido carbónico, metano y muchas veces ácido sulfhídrico en pequeñas cantidades.

La principal ventaja que posee el proceso séptico, es la cantidad reducida de lodos que se debe manejar en comparación con otros procesos como la sedimentación simple y el tratamiento químico. El lodo producido en una fosa séptica puede ser 25 a 30% o incluso 40%, menor en peso, y 75 a 80% menor en volumen, que el lodo de un tanque de sedimentación simple. Otra ventaja del proceso es el bajo costo y la reducción en el nivel de atención que requiere.⁶¹

⁵⁹ Harold Babbit, 481

⁶⁰ Harold Babbit, 481

⁶¹ Harold Babbit, 551

2.2.3.2.2 Definición

Es un tanque horizontal de escurrimiento continuo de un solo piso, a través del cual se deja fluir el agua residual lentamente, para permitir que la materia sedimentable se precipite hasta el fondo, donde queda retenida hasta que se establece la descomposición anaerobia, con el resultado de que una parte de la materia orgánica en suspensión pasa de la forma sólida a la líquida o gaseosa, y se reduce la cantidad de lodo que es necesario eliminar. El objetivo de la fosa séptica es retener el lodo durante un periodo de tiempo tal, que pueda tener lugar la licuefacción parcial del lodo y, de este modo, se reduzcan a un mínimo las dificultades de su evacuación.⁶²

2.2.3.2.3 Funcionamiento

Estos dispositivos se encuentran compartimentados, siendo la disposición más común la de dos compartimentos dispuestos en serie (ver Figura 2-7). En el primero se produce la sedimentación, digestión y almacenamiento de los sólidos en suspensión del agua residual. En el segundo compartimento las partículas más ligeras encuentran condiciones de sedimentación más favorables. Los lodos retenidos en los fondos de los distintos compartimentos, experimentan reacciones de degradación anaerobias, reduciendo su volumen, lo que permite que la fosa funcione durante largos periodos de tiempo sin necesidad de purga de lodos.⁶³ El proceso de descomposición de la materia sedimentable y la presencia de aceites y grasas da origen a la formación de una capa sobrenadante de natas que se ubica en la parte superior del tanque. La velocidad de formación de esta capa depende de la cantidad de grasas que contenga el agua residual a tratar.

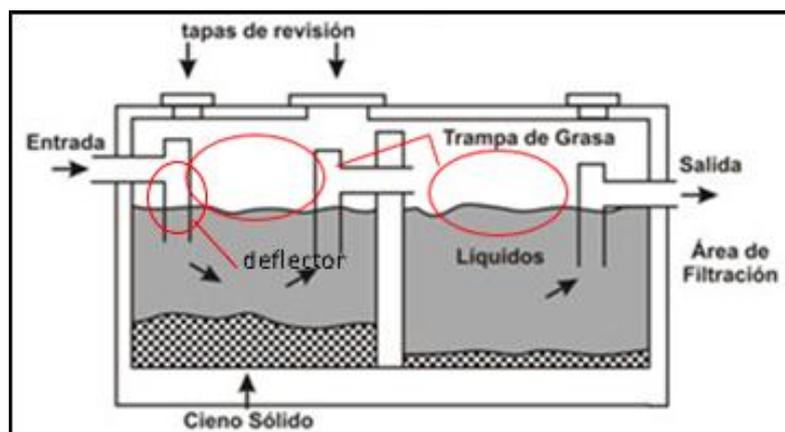


Figura 2-7 Esquema general de una fosa séptica con dos compartimentos
Fuente: PTAR para pequeños núcleos de población, Isabel Martin García

⁶² Harold Babbitt , 552

⁶³ Isabel Martin García, 62

Pozos de revisión son necesarios para remover los lodos acumulados y el sobrenadante. Una compuerta de inspección de entrada y salida son necesarios para la limpieza.⁶⁴

2.2.3.2.4 Operación y Mantenimiento

Arranque

Antes de poner en funcionamiento la fosa séptica, esta debe ser llenada con agua y si fuera posible con lodo proveniente de otra fosa, a fin de acelerar el desarrollo de los microorganismos anaerobios. Es recomendable que la puesta en funcionamiento se realice en los meses de mayor temperatura para facilitar el desarrollo de los microorganismos.⁶⁵

Inspección y Evaluación

Al elaborar una inspección se debe tener en cuenta el tiempo de ventilación del tanque para evitar asfixia y nunca debe encenderse un fósforo o cigarrillo cuando se abre el tanque. Se debe limpiar el tanque antes que se acumule lodos y natas obstaculizando el campo de infiltración.

La fosa se limpiará cuando el fondo de la capa de nata o lodos se encuentre a unos 8 cm por encima de la parte más baja del deflector, o cuando la misma se encuentre a 30 cm por debajo del dispositivo de salida. La presencia de turbiedad en el afluente es un indicador de que la nata o los lodos han sobrepasado los límites y están afectando el correcto funcionamiento del tanque. La caja de distribución debe ser inspeccionada cada 3 o 6 meses para advertir la presencia de sedimentos que pudieran afectar la distribución del agua residual.⁶⁶

Limpieza

A mayor uso de la fosa, menor será el intervalo de limpieza. Se recomienda limpiarlo una vez por año. Para facilitar el retiro de la nata, poco antes del retiro de lodo, se esparce en su superficie cal hidratada y luego se procede a mezclarlo. Esto inducirá a que gran parte de la espuma se precipite e integre al lodo facilitando su retiro. Una vez retirado todo el lodo, el tanque no debe ser lavado o desinfectado sino más bien se debe dejar una pequeña cantidad de lodo para facilitar el proceso de hidrólisis de la nueva agua residual. Los lodos extraídos deben ser dispuestos en un lecho de secado para su tratamiento o deben ser enterrados.

La trampa de grasas debe ser limpiada cada 15 días o mensualmente y consistirá en el retiro del material flotante y del material sedimentable, La

⁶⁴ Andrés Alvarado Martínez PhD.

⁶⁵ CEPIS & OPS, 20,21

⁶⁶ CEPIS & OPS, 21,22

limpieza debe realizarse en horas cuando la temperatura del aire y AR alcanzan sus valores más bajos, lo que facilita el retiro del material graso al estar solidificado.⁶⁷

2.2.3.2.5 Diseño de Tanque Séptico

Las fórmulas y consideraciones de diseño que se presentan a continuación se obtuvieron de (CEPIS & OPS, 2005).

Periodo de retención hidráulico (días)

$$PR = 1,5 - 0,3 * \log(P * q) \quad \text{Ec. 12}$$

Donde:

P: Población servida

q: Caudal de aporte unitario de aguas residuales, l/habitante*día.

El tiempo mínimo de retención hidráulico será de 6 horas.⁶⁸

Volumen requerido para la sedimentación (m³)

$$Vs = 10^{-3} * (P * q) * PR \quad \text{Ec. 13}$$

Volumen de digestión y almacenamiento de lodos (Vd)

$$Vd = 0.07 * P * N \quad \text{Ec. 14}$$

Donde:

N: Intervalo deseado en años, entre operaciones sucesivas de remoción de lodos

Volumen de lodos producidos (V_l)

La cantidad de lodos producido por habitante y por año, depende de la temperatura ambiental y de la descarga de residuos de la cocina. Los valores a considerar son:

- Clima cálido 40 l/hab*año
- Clima frío 50 l/hab*año

En caso de descargas de lavaderos y otros aparatos sanitarios, a los valores anteriores se le adiciona el valor de 20 l/hab*año

Volumen de natas (V_n)

Como valor se considera un volumen mínimo de 0,7m³ de natas en la fosa séptica.

⁶⁷ CEPIS & OPS, 22-24

⁶⁸ Norma Técnica I.S. 020 Tanques Sépticos, Artículo 5

Consideraciones de diseño

Para el diseño de la fosa séptica se deben tener en cuenta las siguientes consideraciones:

- Cuando el tanque séptico tenga dos compartimentos o más, el primer compartimento deberá tener un volumen entre 50-60% y los subsiguientes compartimentos entre 50-40% del volumen del tanque.
- Entre el nivel superior de las natas y el nivel inferior de la losa de cubierta deberá quedar un espacio libre de 0,3m, como mínimo.
- Si el tanque séptico tienen un ancho W , la longitud del primer compartimento debe ser $2W$ y la del segundo W .
- El fondo del tanque tendrá una pendiente de 2% orientada al punto de ingreso de los líquidos
- Prever dispositivos de entrada y salida, para fangos y grasas.
- Prever dispositivos de ventilación, que permitan la salida de los gases producidos en la digestión.
- La presencia de grandes cantidades de grasa en las AR requiere de la construcción de trampas de grasa para mejorar el funcionamiento del tanque séptico.⁶⁹ (Ver la Figura 2-8)

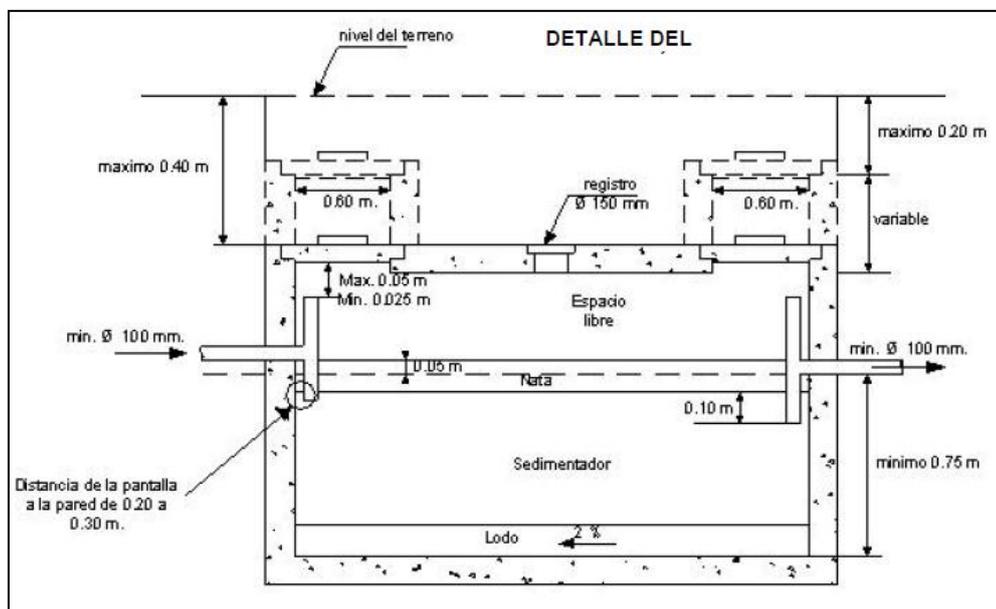


Figura 2-8 Detalles constructivos de una fosa séptica de un compartimento
Fuente: Guías para el diseño de tecnologías de Alcantarillado, OPS/CEPIS/05.169

2.2.3.3 Filtros Anaerobios

Los filtros anaerobios constituyen un equipo de eliminación de materia orgánica disuelta con la ayuda de microorganismos anaerobios que se encuentran

⁶⁹ CEPIS & OPS, 7-10

adheridos sobre la superficie de un material de relleno inerte. El crecimiento bacteriano que se da principalmente en los vacíos que quedan entre los elementos que conforman el relleno. El material inerte a emplearse debe ser el que se adapte mejor a las condiciones locales en cuanto a disponibilidad y costos, ya que la función es la misma.⁷⁰

La configuración de los filtros anaerobios puede ser de flujo ascendente o flujo descendente. En filtros de flujo ascendente, el lecho filtrante está necesariamente sumergido. Los filtros de flujo descendente pueden trabajar ya sea sumergido o no sumergido. Son usualmente cubiertos, pero pueden implementarse de forma descubierta, cuando no existe inconveniente por la liberación de malos olores.

2.2.3.3.1 Filtro Anaerobio de Flujo Ascendente (FAFA)

El FAFA está constituido por un tanque, relleno con un medio sólido usado como soporte para el crecimiento biológico anaerobio (ver Figura 2-9). El agua residual es puesta en contacto con el crecimiento bacteriano adherido al medio y como las bacterias son retenidas sobre el medio y no salen en el efluente, es posible obtener tiempos de retención celular del orden de cien días con tiempos de retención hidráulica cortos.⁷¹

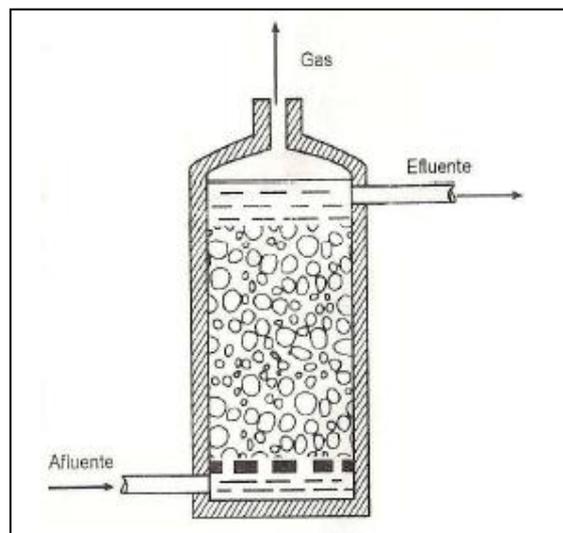


Figura 2-9 Filtro Anaerobio de Flujo Ascendente
Fuente: PTAR para pequeños núcleos de población, Isabel Martin García

El proceso no utiliza recirculación ni calentamiento y produce una cantidad mínima de lodo. El filtro anaerobio usa como medio de soporte de crecimiento piedras, anillos de plástico o bioanillos plásticos, colocados al azar. La mayor

⁷⁰ Carmen Orozco, 43

⁷¹ Yolima Batero Correa, 12

parte de la biomasa se acumula en los vacíos intersticiales existentes en el medio. Debido a que el medio permanece sumergido en el agua residual, existe una alta concentración de biomasa. El proceso funciona correctamente a bajas temperaturas, pero para lograr un óptimo funcionamiento las temperaturas deben ser mayores a 25°C. La alcalinidad del residuo debe ser la suficiente para mantener un pH mayor a 6,5 en la zona de lodos.

Los FAFA son poco sensibles a las variaciones de carga hidráulica y a la operación discontinua, pues el medio retiene los sólidos y la biomasa formada en él.

Estudios realizados en Brasil, indican que estos filtros logran remociones de DBO del 80%, con lechos de piedra de 4 a 7 mm y altura de 1,20m. Otros estudios recientes con residuos de DQO igual a 12000mg/l, carga orgánica de 4 kg DQO/m³ día, tiempo de retención hidráulica de 1 día, edad de los lodos de 56 días y temperatura de 20 a 25°C, indicaron remociones del 88% de DQO.⁷²

Un FAFA se compone de tres zonas:

- **Zona de entrada:** existen dos tipos de configuración; la primera sin falso fondo, donde todo el volumen del reactor es ocupado por el lecho filtrante (se debe tener cuidado para evitar taponamientos) y la segunda con falso fondo en la que la distribución del AR se realiza por medio de una tubería para evitar zonas muertas dentro del reactor.
- **Zona empacada:** Parte del filtro en la cual se encuentra el medio filtrante y se presenta el crecimiento de los microorganismos con la consiguiente remoción de contaminantes orgánicos. En el medio filtrante se desarrollan los organismos biológicos y al mismo tiempo retiene la biomasa en suspensión, generando altos tiempos de retención celular. Dentro de los materiales más usados para la construcción del medio encontramos: Piedra triturada angulosa o redondeada (4-7cm), materiales cerámicos, vidrios, ladrillos, poliésteres, poliuretano.
- **Zona de Salida:** Cumple la función de recibir el efluente del filtro, evacuarlo y garantizar una correcta y homogénea circulación del mismo a través de todo el sistema.⁷³

Consideraciones de Diseño

Las consideraciones de diseño para filtros anaerobios⁷⁴ son:

- Tiempo de retención hidráulica: tiempo promedio de residencia del líquido en el filtro.

⁷² Yolima Batero Correa, 13

⁷³ Yolima Batero Correa, 17-19

⁷⁴ Carlos Chernicharo, 76-78



- Temperatura: Filtros anaerobios pueden trabajar satisfactoriamente en rangos de temperatura de 25 a 38°C
- Altura del lecho filtrante: Para muchas aplicaciones se recomienda una altura entre 0,8–3.0 m. Un valor usual aproximado es de 1,5 m.
- Tasa de carga hidráulica: Hace referencia al volumen de agua residual diario por unidad de área. Se han observado efluentes de buena calidad con tasas de carga hidráulica de 6 a 15 m³/m²d.
- Tasa de carga orgánica: Se refiere a la carga orgánica aplicada por unidad de volumen en el lecho filtrante.

Para determinar el volumen del filtro anaerobio se propone la siguiente ecuación:

$$V = 1,60 * P * C * T^{75} \quad \text{Ec. 15}$$

Donde:

V: Volumen del filtro anaerobio en litros

P: Población servida

T: Tiempo de retención hidráulico en días

C: Caudal de agua residual (l/día)

Para el cálculo del tiempo de retención hidráulico se presenta la Tabla 2-7.

Contribución diaria (l)	Tiempo de retención (días)	Tiempo de retención (horas)
Hasta 1500	1.00	24
De 1501 a 3000	0.92	22
De 3001 a 4500	0.83	20
De 4501 a 6000	0.75	18
De 6001 a 7500	0.67	16
De 7501 a 9000	0.58	14
Más de 9000	0.50	12

Tabla 2-7 Tiempos de retención.

Fuente: RAS 2000

Una fórmula para el cálculo del periodo de retención se presenta en (Chernicharo, 2007), como una relación entre el volumen del tanque y el caudal de agua residual, tal como se observa en la Ec. 16:

$$T = V/Q \quad \text{Ec. 16}$$

2.2.3.3.2 Factores de desempeño

Factores Físicos

Los filtros anaerobios usualmente se presentan, ya sea en forma cilíndrica o rectangular. Los diámetros (o anchos) de los tanques varían de 6 a 26 m, y la altura de 3 a 13 m aproximadamente. Los volúmenes varían de 100 a 10000

⁷⁵ RAS 2000,



m³. El área superficial promedio para estos medios filtrantes se encuentra alrededor de 100 m². El lecho filtrante se diseña para que ocupe entre el 50 – 70% de la profundidad total del tanque. Algunos lechos filtrantes son más eficientes que otros en la retención de biomasa, la elección final dependerá de las condiciones locales, consideraciones económicas y factores de operación como la configuración del filtro (forma, volumen, material del lecho, altura del lecho, etc.).⁷⁶

Factores de rendimiento

El tiempo de retención hidráulica es el factor con mayor efecto sobre la remoción de DQO y DBO. Factores como la concentración del afluente y el área superficial no son determinantes en el desempeño del filtro, siendo de mayor importancia el tamaño de poros y la geometría del medio filtrante, ya que a mayor cantidad de poros, mayor volumen de biomasa; y si el medio filtrante es redondeado existe mayor probabilidad que la biomasa se desprenda de la superficie del medio.⁷⁷

Factores hidráulicos

Los factores hidráulicos que intervienen en el proceso son la velocidad de flujo ascendente y las variaciones en el caudal. En pruebas a escala real la velocidad de flujo ascendente y la velocidad de recirculación son usualmente 2m/hora, pero durante la etapa de arranque se recomienda no exceder los 0,4 m/hora para evitar el arrastre de la biomasa.⁷⁸

Otros factores

Otros factores como la temperatura, el pH y la concentración de nutrientes deben ser considerados.

2.2.3.3.3 Operación y Mantenimiento

Los parámetros de importancia que deben ser verificados durante la fase operacional del sistema son:

- Caudales afluentes
- Características física, químicas y microbiológicas del agua residual afluente
- Eficiencia y problemas operacionales de las unidades preliminares de tratamiento
- Producción y características del material retenido en las pantallas y cámaras de lodos.⁷⁹

⁷⁶ Carlos Chernicharo, 71-72

⁷⁷ Carlos Chernicharo, 72

⁷⁸ Carlos Chernicharo, 73

⁷⁹ Carlos Chernicharo, 117

3 CARACTERIZACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

La caracterización del área de estudio comprende la descripción del área donde se va a evaluar las PTAR, para ello se obtuvo información proveniente de Sistema Nacional de Información (SNI), Instituto Nacional de Estadística y Censo (INEC), Empresa Eléctrica Regional Centrosur, Empresa de Telecomunicaciones, Agua Potable, Alcantarillado y saneamiento de Cuenca (ETAPA EP) y del Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal de Cuenca.

Para complementar la caracterización del área de estudio se aplicó una encuesta sanitaria con el objetivo de estimar la cantidad de población que se encuentra servida por el sistema de alcantarillado, así como también para conocer las condiciones de vida de la población que limitan o motivan el consumo de agua potable y por ende la producción de agua residual doméstica.

El modelo de encuesta aplicado se presenta en el ANEXO 1, éste se estructuró de manera que sea de fácil comprensión para la población y permita determinar con facilidad el caudal de agua residual que llega al alcantarillado.

3.1 Información General sobre el Cantón Cuenca

Cuenca es uno de los 15 cantones pertenecientes a la Provincia del Azuay, se ubica en la Región Centro Sur (zona 6) de la República del Ecuador. Está constituido por 15 parroquias urbanas y 21 parroquias rurales que conforman un área total de 331.664 hectáreas, distribuidas en: 312.880 hectáreas en el área rural, 12.013 hectáreas en un área de influencia peri-urbana y 6.771 hectáreas en el área urbana.⁸⁰ (Ver Figura 3-1)

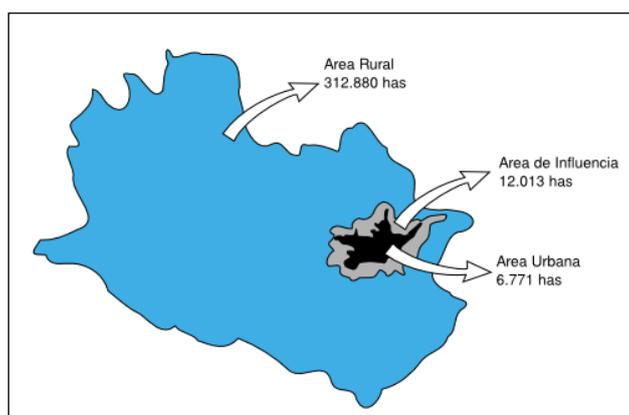


Figura 3-1. División del territorio del Cantón Cuenca.
Fuente: Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial del Cantón Cuenca

⁸⁰ GAD Municipal de Cuenca

Políticamente, el cantón cuenca está distribuido como se indica en la Figura 3-2. Los datos que se muestran en la Tabla 3-1 corresponden al último Censo de Población y Vivienda realizado en el año 2010.

Número	Parroquia	Población (hab)	Superficie (km2)	Densidad Poblacional (hab/km2)
1	Molleturo	7166	976,70	7,34
2	Chaucha	1297	313,31	4,14
3	Sayausí	8392	365,75	22,94
4	Chiquintad	4826	92,90	51,95
5	Checa	2741	62,81	43,64
6	San Joaquín	7455	189,17	39,41
7	Baños	16851	326,71	51,58
8	Sinincay	15859	24,66	643,11
9	Octavio Cordero Palacios	2271	20,50	110,78
10	Sidcay	3964	17,08	232,08
11	Llacao	5342	17,84	299,44
12	Ricaurte	19361	14,00	1382,93
13	Parroquias Urbanas	331888	70,59	4701,63
14	Paccha	6467	25,71	251,54
15	Nulti	4324	31,08	139,12
16	Turi	8964	26,82	334,23
17	El Valle	24314	43,05	564,79
18	Santa Ana	5366	44,47	120,67
19	Tarqui	10490	137,87	76,09
20	Victoria del Portete	5251	202,07	25,99
21	Cumbe	5546	70,84	78,29
22	Quingeo	7450	116,59	63,90

Tabla 3-1 Parroquias del cantón Cuenca con su respectiva densidad poblacional
Fuente: INEC (Censo Poblacional 2010)

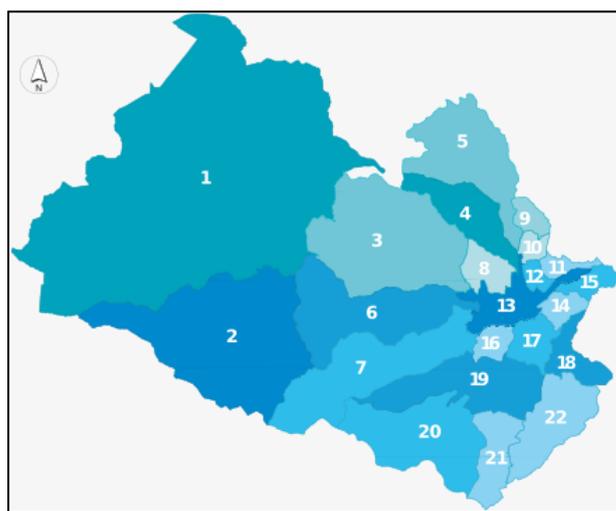


Figura 3-2 Distribución política del cantón Cuenca
Fuente: GAD Municipal Cuenca

3.2 Caracterización del Área de Influencia de la PTAR Macas

La PTAR de nombre Macas sirve a la comunidad del mismo nombre, perteneciente a la parroquia Quingeo.

3.2.1 Información de la Parroquia Quingeo

3.2.1.1 Ubicación

La parroquia Quingeo está ubicada al Sureste del cantón Cuenca como se observa en la Figura 3-2 (división # 22), su cabecera parroquial se encuentra a 27 km de distancia de la ciudad de Cuenca. La parroquia Quingeo limita al norte con las parroquias El Valle y Santa Ana del cantón Cuenca, al sur con las parroquias San José de Raranga y Jima del cantón Sígsig, al este con las parroquias de San Bartolomé y Ludo del cantón Sígsig, y al oeste con las parroquias Cumbe y Tarqui del cantón Cuenca.

Quingeo se encuentra dividido en 28 comunidades, una de ellas es Macas, lugar donde se encuentra construida la PTAR a evaluar. La ubicación de la comunidad de Macas en un marco territorial parroquial se puede apreciar en la Figura 3-3.

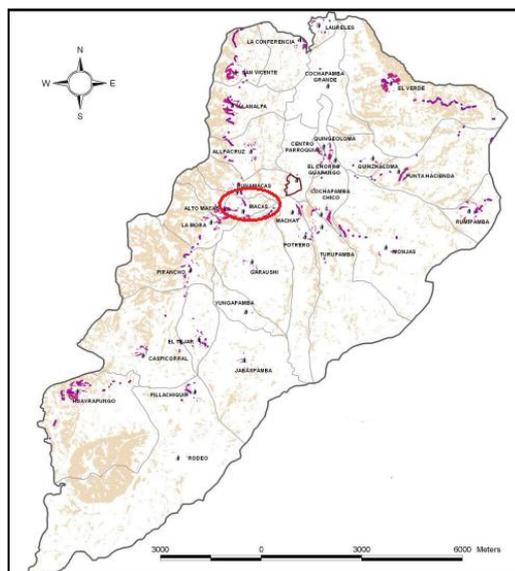


Figura 3-3 División comunitaria de la parroquia Quingeo
Fuente: Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial de la parroquia Quingeo

3.2.1.2 Clima

Si nos remitimos a las condiciones de humedad (fundamentalmente lluvias), la comunidad Macas se encuentra en la zona con un clima subhúmedo tal como se indica en la Figura 3-4. Esta clasificación de clima tiene en cuenta solo la

precipitación y más no la temperatura, siendo esta mayor a la del clima seco e inferior a la del clima húmedo.⁸¹

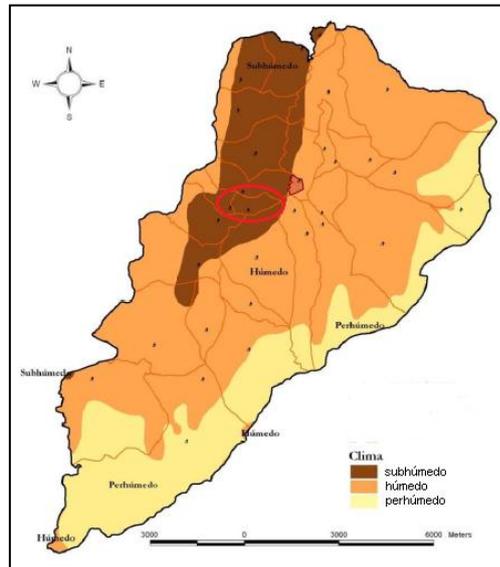


Figura 3-4 Mapa del clima de la parroquia Quingeo
Fuente: Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial de la parroquia Quingeo

3.2.1.3 Precipitación

Según el Plan de Desarrollo y Ordenamiento de la Parroquia Quingeo, esta parroquia posee un rango de precipitaciones medias anuales entre 600mm y 900mm. La PTAR está localizada en una zona de alta precipitación media anual como se puede observar en la Figura 3-5.⁸²

⁸¹ Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial de la parroquia Quingeo

⁸² Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial de la parroquia Quingeo

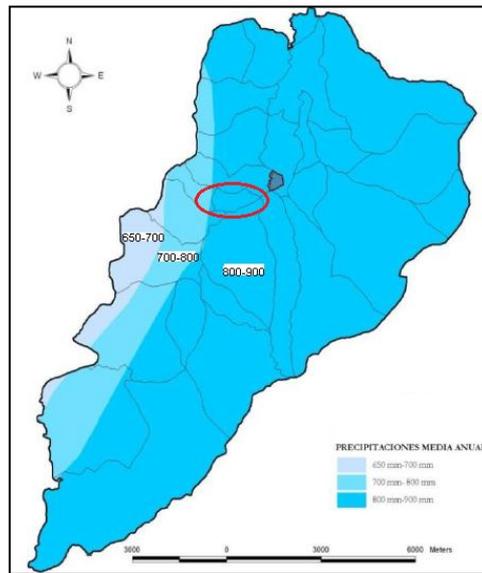


Figura 3-5 Mapa de precipitación promedio anual de la parroquia Quingeo
Fuente: Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial de la parroquia Quingeo

3.2.1.4 Temperatura

Como se puede observar en la Figura 3-6, la comunidad donde está emplazada la PTAR se encuentra localizada en la zona donde la temperatura media anual varía de 11°C hasta 18°C.

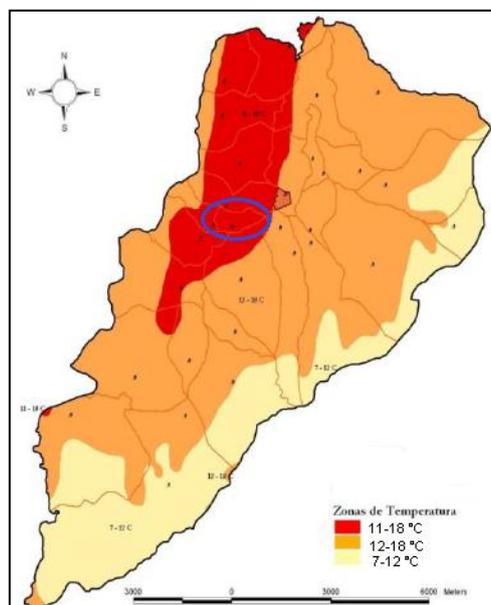


Figura 3-6 Mapa de temperatura media anual de la parroquia Quingeo
Fuente: Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial de la parroquia Quingeo

3.2.1.5 Topografía

La comunidad de Macas se encuentra en una zona cuyas cotas oscilan entre los 2640 y 2867 m.s.n.m. (ver Figura 3-7), que en relación a la parroquia, está asentada en la parte más baja de la misma.

El relieve montañoso está constituido por litología volcánica y efusiva sedimentaria como lutitas, calizas y volcanoclastos provenientes de la formación Yunguilla, arcillas, areniscas y lavas originarias de la formación Biblián y andesitas, riolitas y piroclastos correspondientes volcánicos Pisayambo. La PTAR a evaluar se encuentra influenciada principalmente por la litología de la formación Biblián.⁸³

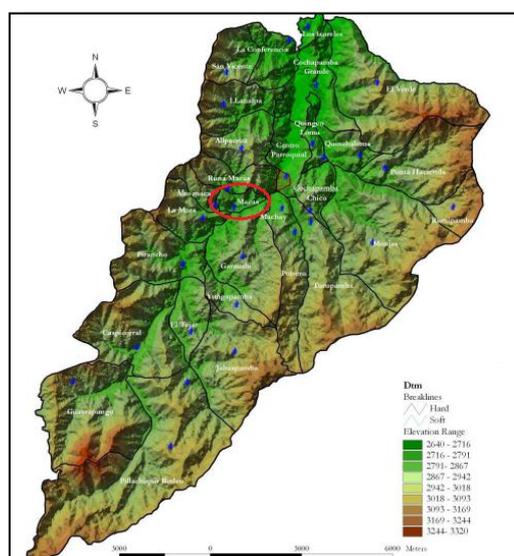


Figura 3-7 Mapa altimétrico de la parroquia Quingeo
Fuente: Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial de la parroquia Quingeo

3.2.1.6 Hidrografía

La microcuenca del río Quingeo alto, una de las cinco que posee la parroquia atraviesa toda la parroquia, y la comunidad Macas está dentro de su área de influencia, posee una longitud de 25,16 km y cubre el 98,56% del área total de la parroquia. (Ver la Figura 3-8).⁸⁴

⁸³ PDOT de la Parroquia Quingeo, 21-22

⁸⁴ PDOT de la Parroquia Quingeo, 17

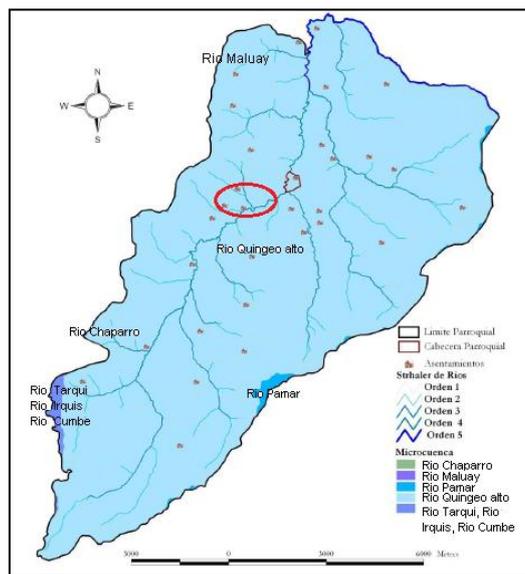


Figura 3-8 Mapa Hidrográfico de la parroquia Quingeo
Fuente: Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial de la parroquia Quingeo

3.2.2 Información del Área de Influencia de la PTAR

El área de influencia de la PTAR Macas está definida por el alcance de la red de alcantarillado que se construyó para la comunidad en el año 2009. Ésta área de influencia se muestra en la Figura 3-9, la misma que comprende un total de 23 viviendas, de las cuales 15 se encuentran habitadas y 8 se encuentran deshabitadas, de las viviendas deshabitadas 3 son visitadas por los propietarios una vez por semana, mientras que de las viviendas habitadas una se destina al Centro de Salud de la comunidad. (Ver Gráfico 3-1).



Figura 3-9 Área de influencia de la PTAR Macas
Fuente: ETAPA EP



Gráfico 3-1 Distribución de las viviendas en el área de influencia de la PTAR
Elaboración: Autores

3.2.2.1 Población

Tamaño y estructura por edades

Según la encuesta sanitaria aplicada el 22 de noviembre del 2014, la población que está dentro del área de cobertura de la PTAR Macas corresponde al 0,5% del total de la población de la parroquia Quingeo, con una población de 36 habitantes permanentes y 16 ocasionales. La distribución por grupos de edades de la población encuestada se presenta en la Tabla 3-2, en la misma se observa que un alto porcentaje de la población (36%) lo conforman personas de la tercera edad.

Grupos de edad	# habitantes	%
0-18 años	7	20
18-65 años	16	44
65-100 años	13	36
Total	36	100

Tabla 3-2 Distribución de la población por grupo de edades, Macas
Elaboración: Autores

Tamaño del hogar

En el área de estudio se observó que el 73% de los hogares poseen entre 1 y 3 habitantes, mientras que el restante 27% se lo distribuyen entre los hogares con 5 y 8 habitantes. Ver Tabla 3-3.

Tamaño del hogar (hab)	# Viviendas	% Viviendas	% Acumulado
1	3	27	27
2	3	27	55
3	2	18	73
4	0	0	73
5	1	9	82
6	0	0	82
7	0	0	82
8	2	18	100
Total	11	100	

Tabla 3-3 Tamaño del hogar de las viviendas de la comunidad Macas
Elaboración: Autores

3.2.2.2 Vivienda

Uso de la residencia

Según la encuesta elaborada, en Macas se observa que el 100% de las edificaciones existentes están destinadas para la vivienda, con la particularidad de dos viviendas que destinan un pequeño espacio de la casa para la venta de abarrotos. Por otra parte existe un Centro de Salud que brinda servicio en un edificio que es propiedad del Estado ecuatoriano.

Características físicas de la vivienda

El 64% de las viviendas encuestadas se encuentran construidas ya sea de bloque o ladrillo, mientras que el 36% restante se encuentran construidas de adobe.

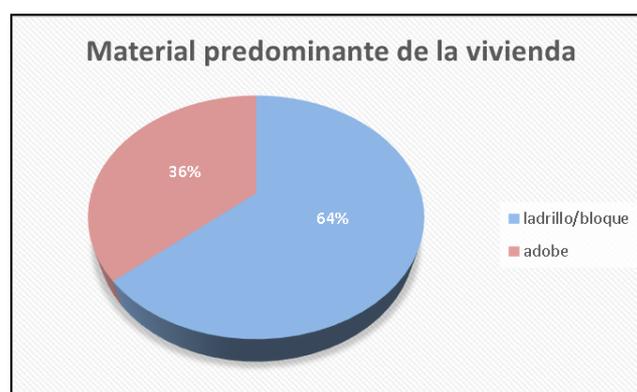


Gráfico 3-2 Material predominante de la vivienda, Macas
Elaboración: Autores

Elementos sanitarios en las viviendas

La presencia de dispositivos como servicios higiénicos, lavabos, duchas, fregadero de platos y tanques de lavar aumentan la producción de agua residual que llega a la planta, siempre y cuando estos dispositivos se encuentren conectados a la red de alcantarillado. La mayor cantidad de elementos presentes en las viviendas son los servicios higiénicos y los lavabos



con 18 y 15 unidades en 11 viviendas encuestadas, mientras que el tanque de lavar y el fregadero de platos son los elementos con menores unidades (8 unidades en 11 viviendas) ver Tabla 3-4, la poca presencia de estos elementos se debe a que gran cantidad de la población (80%) procede a lavar la ropa en el río y aquellos que los poseen no lo tienen conectado a la red de alcantarillado.

Número de elementos por vivienda	Número de viviendas que poseen									
	Servicios higiénicos		Lavabo		Ducha		Fregadero de platos		Tanque de lavar	
	Si	No	Si	No	Si	No	Si	No	Si	No
1	7		6		8		8		8	
2	2	0	1	2	1	2	0	3	0	3
3	1		1		0		0		0	
4	1		1		0		0		0	
Total	18		15		10		8		8	

Tabla 3-4 Elementos sanitarios presentes en las viviendas, Macas
Elaboración: Autores

3.2.2.3 Servicios Públicos

Medios de Transporte

El tráfico vehicular se conforma por una mínima cantidad de vehículos pesados y vehículos livianos, los habitantes que no poseen medios de transporte propio lo hacen a través de buses inter-parroquiales de la cooperativa “Transportes Milagro” que parten del mercado “27 de Febrero”, ubicado en el sector de la Virgen de Bronce de la ciudad de Cuenca, los mismos que realizan tres turnos diarios: en la mañana (6:30), al medio día (12:30) y en la tarde (17:30).

Vialidad

La vía que conecta la ciudad de Cuenca con la parroquia Quingeo consta de tres tramos de vías; una primera intercantonal Cuenca-Sígsig de 16km, el segundo tramo lo conforma la vía interparroquial Santa Ana-Quingeo de 9,6km y finalmente el tercer tramo lo constituye la vía intercomunitaria Quingeo-Macas de 1,8km. Los tres tramos unidos poseen una longitud aproximada de 27km y un ancho aproximado de 6m de calzada, los dos primeros tramos se encuentran asfaltados en un 98% pero con una superficie de rodadura en malas condiciones en varios tramos de longitud corta, mientras que la capa de rodadura del tercer tramo es lastre. La comunidad en cuestión no posee una distribución vial por manzanas por lo que las viviendas de la comunidad se encuentran localizadas en los bordes de la vía.

Educación

Macas cuenta con una institución educativa fiscal mixta llamada “Juan Ñíguez Vintimilla” ubicada en el centro de la comunidad, posee un total de 93

estudiantes distribuidos 1ro a 9no año de educación básica y además 5 maestros.

Medios de Comunicación

La comunidad en estudio posee red de línea telefónica proporcionada por ETAPA EP.

Energía Eléctrica

El suministro de energía eléctrica es proporcionado por la Empresa Eléctrica Centrosur, toda la comunidad dispone de alumbrado.

Disposición de Desechos Sólidos

Los desechos sólidos son recolectados por la empresa municipal de aseo de Cuenca (EMAC EP), los días de recolección son lunes y jueves y a su vez los desechos son depositados en el relleno sanitario de Pichacay.

Atención Médica

La comunidad Macas cuenta con un Centro de Salud, el mismo que brinda servicio desde las 8:00am hasta las 4:30pm, en los campos de medicina general y odontología, que en su conjunto está constituido por tres personas. Cabe recalcar que existe una afluencia aproximada de 30 personas al día para ser atendidos.

3.2.2.4 Sistema de Abastecimiento de Agua

Desde el año 2013, el abastecimiento de agua potable a la comunidad de Macas está a cargo de ETAPA.

Conectados al sistema

El 100% (11) de las viviendas conectadas al sistema de alcantarillado se encuentran conectadas al sistema de abastecimiento. Además, 3 viviendas tienen un segundo sistema de abastecimiento proveniente de Pillachiquir, la misma que se distribuye por tubería a presión normal, flujo constante y sin costo.

Conformidad con el servicio

A pesar de que el agua de abastecimiento es apta para el consumo humano, tan solo el 27% de la comunidad servida considera que la calidad del agua es buena mientras que el 73% sobrante la define como regular. De igual manera el 91% del total considera que la cantidad de agua brindada satisface sus necesidades, el 9% restante afirma que el volumen proporcionado es insuficiente. Finalmente el 100% de usuarios se encuentran conforme con la continuidad del servicio ya sea en época de invierno o verano. (Ver Gráfico 3-3).

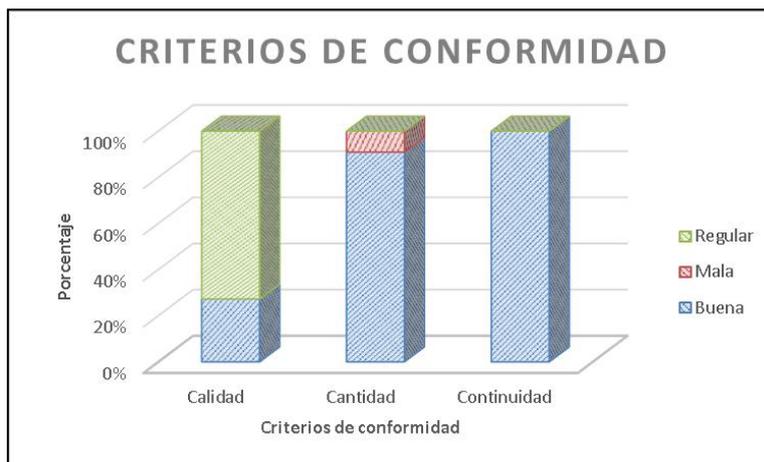


Gráfico 3-3 Criterios de conformidad con el sistema de abastecimiento de agua, Macas
Elaboración: Autores

El cálculo de la dotación de la dotación de agua potable se detalla en la sección 5.1.2.1.

3.2.2.5 Sistema de Alcantarillado

El sistema de alcantarillado de la comunidad Macas tiene una longitud aproximada de 500m, con tuberías de hormigón simple (HS) con un diámetro de 200mm, las pendientes varían de acuerdo a la topografía de la zona y pozos de revisión están ubicados en la parte media de la vía principal.

Conectados a la Red de Alcantarillado

En Macas, el 73% de las viviendas encuestadas se encuentran conectadas a la red de alcantarillado, mientras que el 27% (4 viviendas) no se encuentran conectadas a la red (ver Gráfico 3-4). De estas 4 viviendas que no se encuentran conectadas a la red, una posee pozo séptico, una posee letrina y las dos restantes no poseen ningún dispositivo. En conclusión, la cobertura del alcantarillado en función de la población ubicada en el área de influencia de la planta es del 83%.

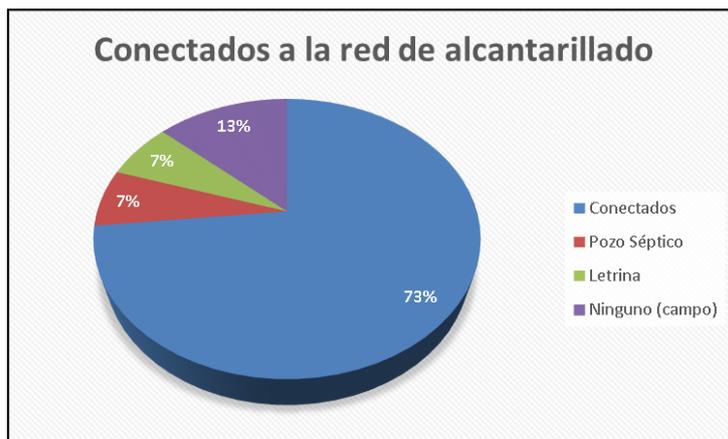


Gráfico 3-4 Viviendas conectadas a la red de Alcantarillado, Macas
Elaboración: Autores

Conexiones ilícitas a la red de Alcantarillado

Se observó si las viviendas conectadas al alcantarillado poseen canales de cubierta y/o troneras de desagüe en el patio, con el fin de registrar alguna conexión ilícita a la red, obteniéndose como resultado un 0% correspondiente a aguas ilícitas.

3.2.2.6 Tratamiento de Agua Residual

Con el fin de evitar la descarga directa del agua residual y por ende la contaminación del Río Pillachiquir, se construyó la PTAR Macas, la misma que se encuentra conformada por una fosa séptica seguida de un filtro anaerobio de flujo ascendente (FAFA) estructurados en un sistema que se detalla en la sección 5.1.

3.3 Caracterización del Área de Influencia de la PTAR San Pedro

La PTAR de nombre San Pedro sirve a la comunidad del mismo nombre perteneciente a la parroquia Santa Ana.

3.3.1 Información de la Parroquia Santa Ana

3.3.1.1 Ubicación

La parroquia Santa Ana está ubicada a 18 Km al este de la ciudad de Cuenca, se encuentra delimitada al norte con Paccha y Zhidmad (Gualaceo), al sur con Quingeo y San Bartolomé (Gualaceo), al este con Zhidmad del cantón Gualaceo y al oeste con El Valle. Santa Ana se encuentra dividida en 4 zonas que abarcan a las 21 comunidades que conforman la parroquia, con una extensión media por comunidad de 225,35ha. La comunidad San Pedro, lugar

donde se encuentra emplazada la PTAR, está ubicada al sur de la parroquia como se puede ver en la Figura 3-10.

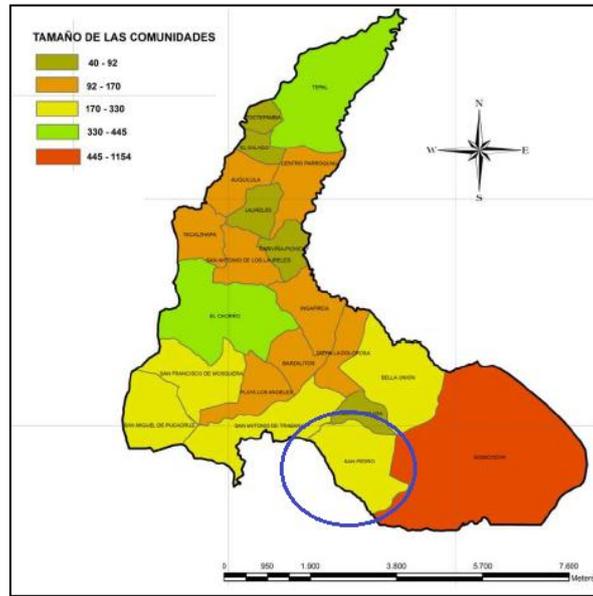


Figura 3-10 División comunitaria de la parroquia Santa Ana
Fuente: Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial de la parroquia Santa Ana

3.3.1.2 Clima

En el PDOT de la parroquia Santa Ana se identifica que la parroquia en toda su extensión posee un clima Ecuatorial Mesotérmico Semi-húmedo. Este clima es característico de la zona interandina a excepción de los valles abrigados y zonas con alturas mayores a los 3.000 – 3.200 m.s.n.m. Ver Figura 3-11.

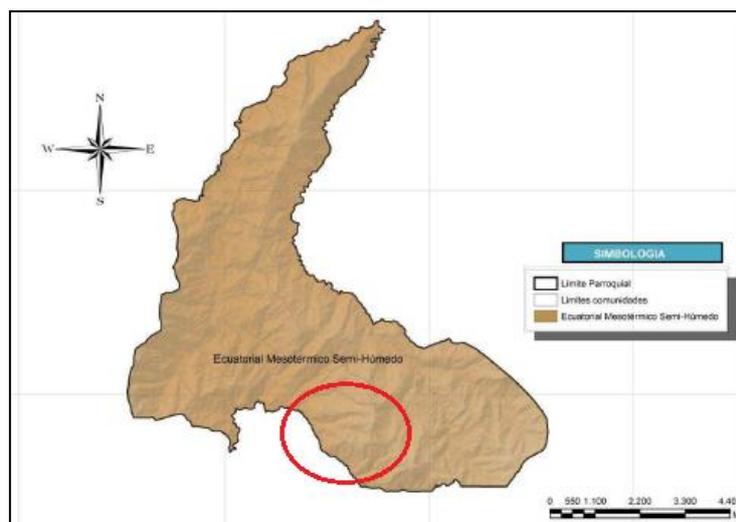


Figura 3-11 Mapa del clima de la parroquia Santa Ana
Fuente: Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial de la parroquia Santa Ana

3.3.1.3 Precipitación

Según información comprendida entre los años 1998 y 2009. La comunidad San Pedro presenta una precipitación anual entre los 800 y 900mm tal como se puede observar en la Figura 3-12.

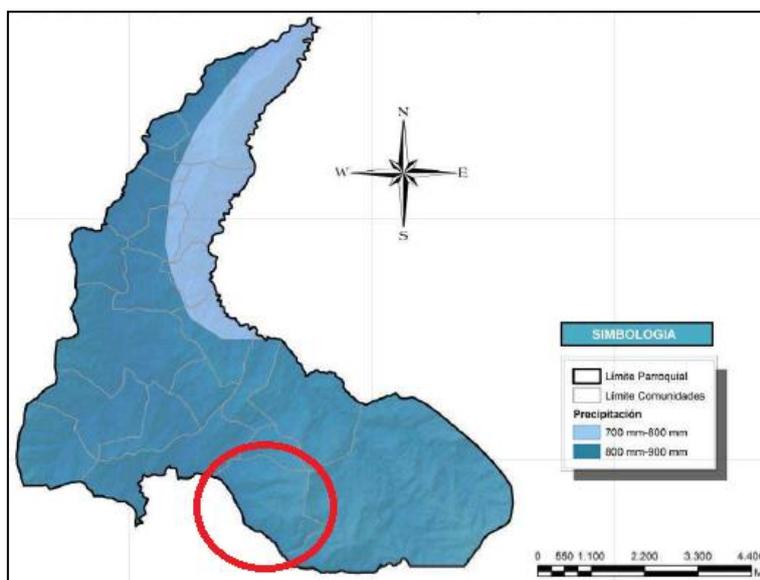


Figura 3-12 Mapa de precipitación media anual de la parroquia Santa Ana
Fuente: Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial de la parroquia Santa Ana

Considerando la precipitación media mensual de la parroquia se determina que los meses más secos son agosto y julio con 26mm y 34mm respectivamente y el periodo lluvioso corresponde a los meses de marzo y abril con 110 mm. Ver Gráfico 3-5.

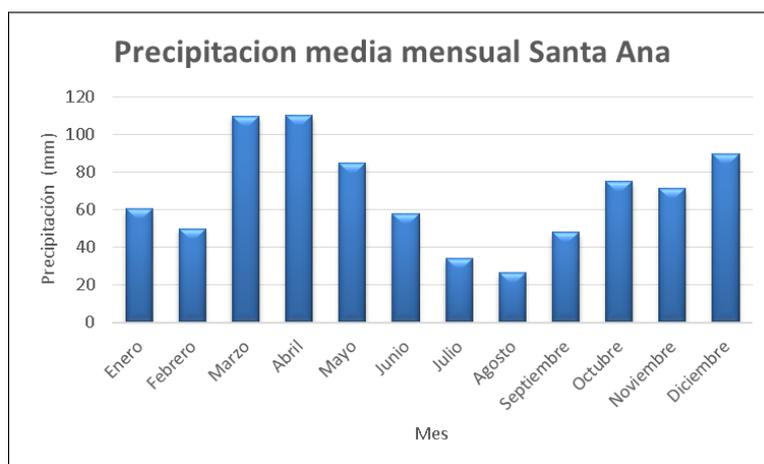


Gráfico 3-5 Precipitación media mensual de la parroquia Santa Ana
Fuente: Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial de la parroquia Santa Ana

3.3.1.4 Temperatura

Santa Ana no cuenta con registros de datos correspondientes a temperatura. En el PDOT de la parroquia se ha realizado una estimación de los posibles valores de temperatura mediante una relación temperatura-altura con la Estación Ucubamba, la misma que cuenta con registros de ésta variable.

A continuación en la Tabla 3-5 se presenta un cuadro con las posibles variaciones de las temperaturas medias para un 95% de probabilidad de ocurrencia.

Probabilidad	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
95%	De	13,3	13	13,1	13,3	13,1	12,3	11,6	11,7	12,5	13	13,2
	A	15,7	15,8	15,7	15,2	15,2	14,5	14	14,3	14,8	15,3	15,8

Tabla 3-5 Variación de temperatura de la parroquia Santa Ana
Fuente: ETAPA EP

La comunidad de San Pedro se encuentra ubicada en una zona en la que la temperatura media anual oscila entre los 20 y 22 °C. Ver Figura 3-13.

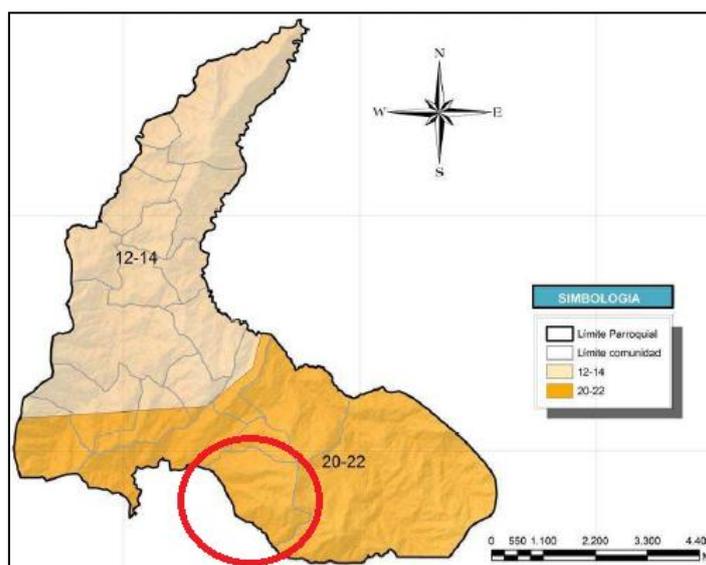


Figura 3-13 Mapa de temperatura de la parroquia Santa Ana
Fuente: Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial de la parroquia Santa Ana

3.3.1.5 Topografía

La comunidad de San Pedro es una de las comunidades que se encuentra parcialmente asentada entre los 2900m.s.n.m. y 3100m.s.n.m., misma que corresponde a los rangos más altos de la parroquia tal como se puede observar en la Figura 3-14.

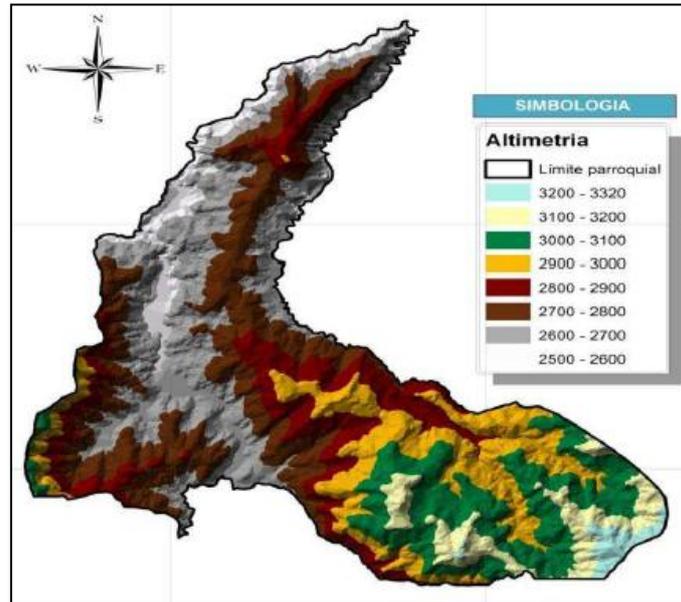


Figura 3-14 Mapa altimétrico de la parroquia Santa Ana
Fuente: Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial de la parroquia Santa Ana

La geología de la parroquia Santa Ana se puede observar en la Figura 3-15. La comunidad de San Pedro cuenta con rocas de edad Cuaternaria, las mismas que son depósitos continentales pertenecientes al Pleistoceno.⁸⁵

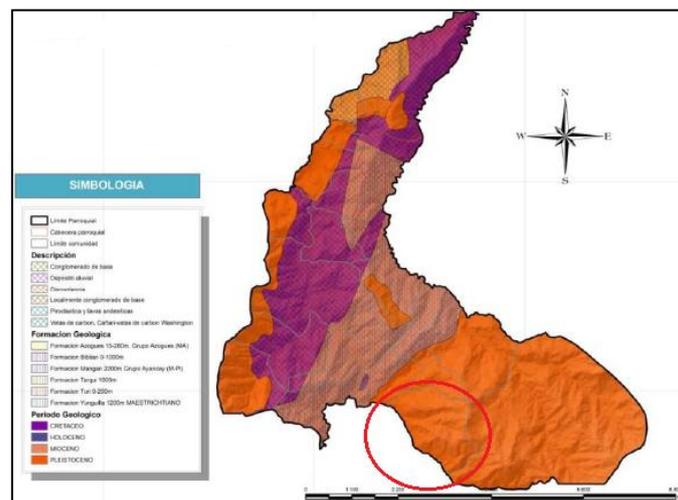


Figura 3-15 Mapa geológico de la parroquia Santa Ana
Fuente: Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial de la parroquia Santa Ana

3.3.1.6 Hidrografía

La microcuenca del Río Quingeo con una superficie de 2269,60 ha abarca a varias comunidades en la que consta San Pedro como se muestra en la Figura 3-16.

⁸⁵ PDOT de la parroquia Santa Ana (Medio Físico), 49- 51

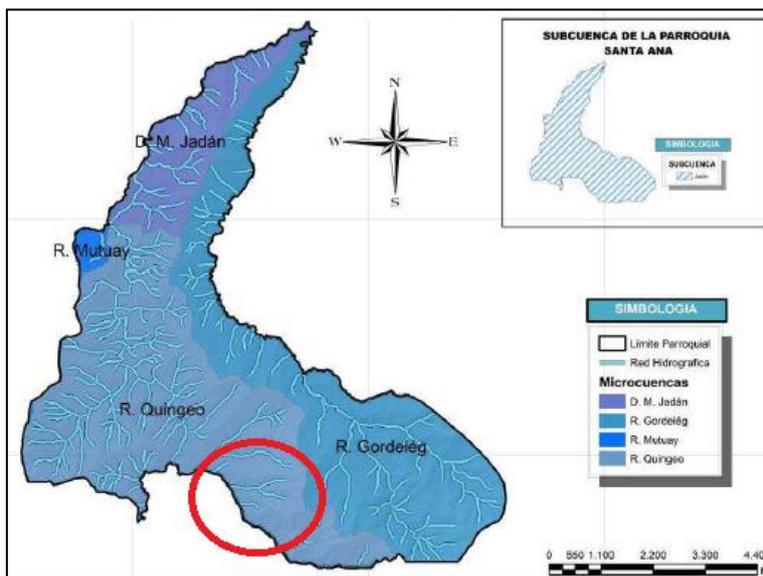


Figura 3-16 Mapa hidrográfico de la parroquia Santa Ana
Fuente: Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial de la parroquia Santa Ana

3.3.2 Información del Área de influencia de la PTAR

El área de influencia de la PTAR San Pedro está definida por el trazado de la red de alcantarillado elaborado por ETAPA EP en el año 2007, esta área de influencia (66,2 ha) se presenta en la Figura 3-17.

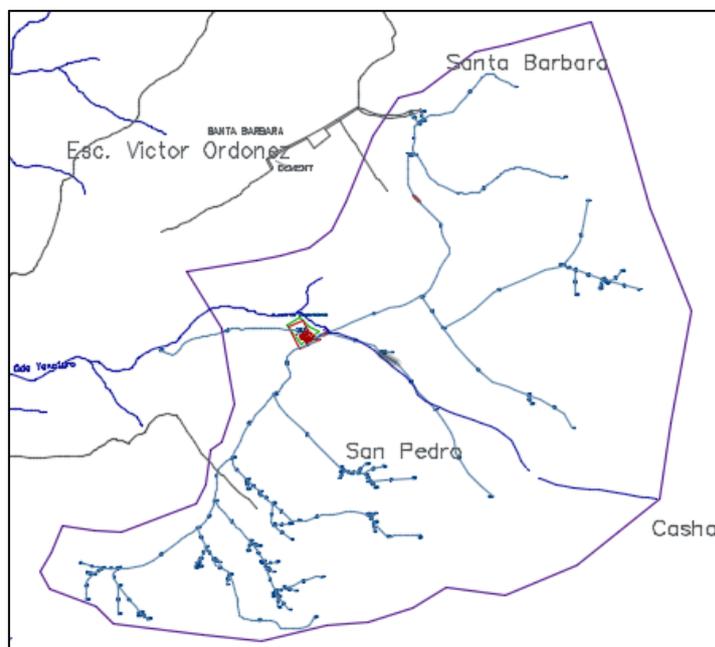


Figura 3-17 Área de influencia de la PTAR San Pedro
Fuente: ETAPA EP

El área de cobertura lo conforman un total de 111 viviendas, de las cuales 75 (68%) están habitadas, 26 (23%) deshabitadas y 10 (9%) se encuentran en

construcción. De las viviendas habitadas el 47% (32 viviendas) no se encuentran conectadas a la red de alcantarillado. (Ver Gráfico 3-6).

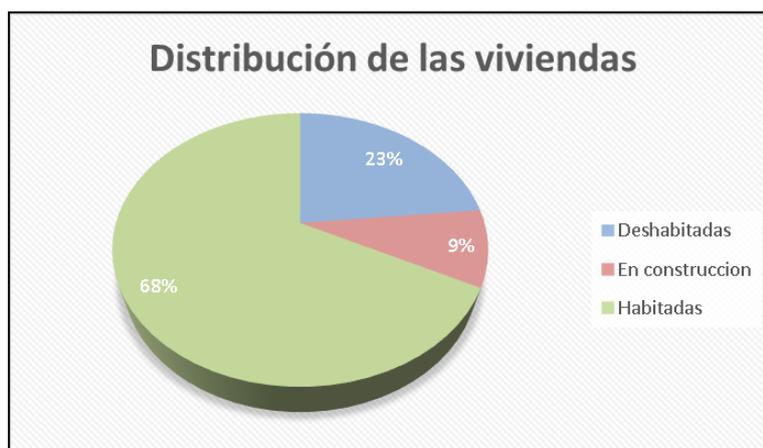


Gráfico 3-6 Distribución de las viviendas en el área de influencia de la PTAR
Elaboración: Autores

3.3.2.1 Población

Tamaño y estructura por edades

De acuerdo con la encuesta sanitaria aplicada los días 24, 25, 26 de noviembre y el 2 de diciembre del 2014. La población beneficiada por la PTAR San Pedro no es netamente de la comunidad que lleva el mismo nombre sino que además existen viviendas pertenecientes a la comunidad de Santa Bárbara que se encuentran conectadas al alcantarillado que se dirige a la PTAR en mención. El número de habitantes servidos por la PTAR San Pedro son aproximadamente 195 de carácter permanente, lo que corresponde al 3,6% del total de la población de la parroquia Santa Ana, además se cuenta con 18 habitantes ocasionales. Ésta población se encuentra distribuida en un total de 40 viviendas. La distribución por grupos de edades de la población encuestada se presenta en la Tabla 3-6.

Grupos de edades	Habitantes	%
0-18 años	87	44.62
18-65 años	98	50.26
65-100 años	10	5.13
Total	195	100

Tabla 3-6 Distribución de la población por grupo de edades, San Pedro
Elaboración: Autores

Tamaño del hogar

Con la ayuda de la encuesta aplicada se obtuvo que 58% de los hogares poseen entre 2 y 4 habitantes, un 17% viviendas que tienen entre 5 y 6 personas, el 15% de las viviendas poseen entre 7 y 8 habitantes, y el restante 10% tienen 9 y 10 habitantes en la misma proporción. (Ver Tabla 3-7)



Tamaño del hogar	Permanentes	% Viviendas	% Acumulado
1	1	3	3
2	4	10	13
3	6	15	28
4	12	30	58
5	4	10	68
6	3	8	75
7	4	10	85
8	2	5	90
9	2	5	95
10	2	5	100

Tabla 3-7 Tamaño del hogar de las viviendas de la comunidad San Pedro
Elaboración: Autores

3.3.2.2 Vivienda

Uso de la residencia

Dentro del área de cobertura de la PTAR San Pedro no existe viviendas destinadas a uso comercial, industrial u otros, todas las viviendas son netamente residenciales y una de estas destina la planta baja a la venta de abarros.

Características físicas de la vivienda

El 95% de las viviendas encuestadas se encuentran construidas ya sea de bloque o ladrillo, mientras que el restante 5% son de adobe. Existe aproximadamente unas 30 viviendas de adobe pero se encuentran deshabitadas o no se encuentran conectadas al sistema de alcantarillado, razón por lo cual no tienen influencia en el porcentaje expuesto.

Elementos sanitarios en las viviendas

Aunque existe una disposición por parte de quienes brindan el servicio de alcantarillado de conectar al sistema de alcantarillado solo las aguas provenientes de los servicios higiénicos, se pudo constatar mediante la encuesta sanitaria y en otros casos fotos que no existe tal cumplimiento, pero este incumplimiento se da en un porcentaje ínfimo. Los datos se pueden ver en la Tabla 3-8.

Número de elementos por vivienda	Número de viviendas que poseen									
	Servicios higiénicos		Lavabo		Ducha		Fregadero de platos		Tanque de lavar	
	Si	No	Si	No	Si	No	Si	No	Si	No
1	26		16		30		27		28	
2	13	0	10	13	2	8	0	13	0	12
3	1		1		0		0		0	
Total	55		39		34		27		28	

Tabla 3-8 Elementos sanitarios presentes en las viviendas, PTAR San Pedro
Elaboración: Autores



Como se puede observar en la Tabla 3-8 el dispositivo con mayor presencia es el servicio higiénico con 55 unidades, los otros dispositivos se encuentran en cantidades considerables pero no tienen influencia debido a que ETAPA EP prohibió la conexión de estos dispositivos a la red de alcantarillado.

3.3.2.3 Servicios Públicos

Medios de Transporte

Las cooperativas de buses “27 de febrero” y “Transportes Progreso” son las encargadas de realizar los viajes a las comunidades de San Pedro y Santa Bárbara. El mercado “27 de febrero” de la ciudad de Cuenca es el punto de salida de los viajes y los horarios se detallan a continuación:

- En la mañana a las 6:30
- Al medio día desde las 10:00 hasta las 13:00 (cada media hora)
- En la tarde a las 17:30

Vialidad

La vía que conecta la ciudad de Cuenca con la parroquia Santa consiste de dos tramos de vías: una primera intercantonal Cuenca-Sígsig de 18km, el segundo tramo lo conforma la vía intercomunitaria La Unión-San Pedro de 1,5km. Los tramos unidos suman una longitud aproximada de 20km y tienen un ancho aproximado de 6m de calzada, el primero asfaltado en su totalidad pero con una superficie de rodadura en malas condiciones en varios tramos, mientras que el segundo tramo se encuentra lastrado. San Pedro posee una vía que rodea toda la comunidad por lo que no todas las viviendas se encuentran en las proximidades de la vía.

Educación

La institución educativa fiscal mixta “José Víctor Ordoñez” se encuentra edificada en la comunidad de Santa Bárbara y acoge a los estudiantes de dicha comunidad y de las comunidades aledañas como San Pedro y La Unión. Cabe recalcar que la escuela se encuentra fuera del área de cobertura de la PTAR en estudio.

Medios de Comunicación

San Pedro y Santa Bárbara cuentan con servicio de telefonía fija brindada por ETAPA EP, de igual manera existe cobertura del servicio de las telefonías móviles en ciertos sectores de la comunidad y señal de las estaciones de radio.

Energía Eléctrica

El suministro de energía eléctrica es proporcionado por la Empresa Eléctrica Centrosur, la comunidad dispone de alumbrado público en toda la extensión de la vía.



Disposición de Desechos Sólidos

Los desechos sólidos son recolectados por la empresa municipal de aseo de Cuenca (EMAC EP), que realiza los recorridos los días lunes y jueves, los mismos que tienen como destino final el relleno sanitario de Pichacay.

3.3.2.4 Sistema de Abastecimiento de Agua

En 1978 se inicia la construcción del sistema de abastecimiento con el apoyo de ETAPA EP y CARE INTERNACIONAL, los mismos que se culminan dos años más tarde. En 1990 se realiza una ampliación, a las cuales se suman tres fuentes de agua: Cuncay, Quillosisa y Yanazarar. En el 2004 se entrega el control de los 6 sistemas independientes abastecidos por 32 fuentes hídricas a CODESA, que hasta la actualidad administra un caudal de 10,7 l/s, con el apoyo económico y soporte técnico brindado por ETAPA EP.

San Pedro se abastece de la planta de La Bella Unión, la misma que posee una capacidad de 6 l/s y brinda agua potabilizada al 75% del total de usuarios de CODESA.

Conectados al sistema

El 100% de las viviendas encuestadas poseen instalación domiciliaria de agua. Además, 4 viviendas tienen un segundo sistema de abastecimiento proveniente de Yanaturo y/o Churuguzo, la misma que se distribuye por tubería a presión normal, flujo constante, sin costo y de igual manera es utilizada para las actividades domésticas.

Conformidad con el servicio

A pesar del mejoramiento de la calidad del agua por parte de la empresa CODESA, existe un porcentaje inferior a la mitad (48%) de usuarios que consideran q la calidad del agua es buena, la cantidad de usuarios que consideran al agua como regular es 45% y el porcentaje restante 7% consideran que el agua de la cual se abastecen es de mala calidad. En el aspecto de cantidad de agua, el 63% de usuarios consideran que el volumen de agua es suficiente y el 37% consideran que el volumen proporcionado es insuficiente. El 63% de afiliados al servicio de agua cuenta con una continuidad en el servicio mientras que el 37% restante dispone del servicio solamente durante el día, ya sea de 7:00 am a 5:00 pm o de 7:00 am hasta 7:00 pm. (Ver Gráfico 3-7)

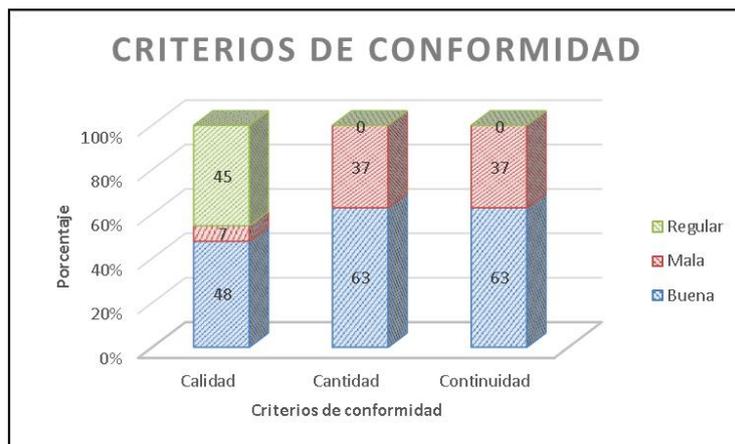


Gráfico 3-7 Criterios de conformidad con el sistema de abastecimiento de agua
Elaboración: Autores

3.3.2.5 Sistema de Alcantarillado

El sistema de alcantarillado que tiene como destino final la PTAR San Pedro, tiene una longitud aproximada de 5300m. Tubería de PVC de 110mm es utilizada para las conexiones domiciliarias, mientras que para las líneas de conducción la tubería de PVC es de 160mm. Las pendientes varían considerablemente ya que la diferencia de cotas entre el extremo más elevado de la red y la PTAR es de aproximadamente 100m. Los pozos de revisión están ubicados de acuerdo al trazado de la red, las tapas se encuentran elevadas unos 30cm del suelo con excepción de los pozos que se ubican en las vías.

Conectados a la Red de Alcantarillado

El 57% de las viviendas encuestadas (40 viviendas) están conectadas al sistema de alcantarillado, el 43% restante de viviendas está distribuido de la siguiente manera: 27% que corresponde a 19 viviendas poseen pozo séptico, 10% (7 viviendas) realizan sus necesidades en el campo y el 6% (4 viviendas) ocupan el servicio higiénico de viviendas aledañas. (Ver Gráfico 3-8). La cobertura de la red de alcantarillado en función de la población es del 72% (195 habitantes)

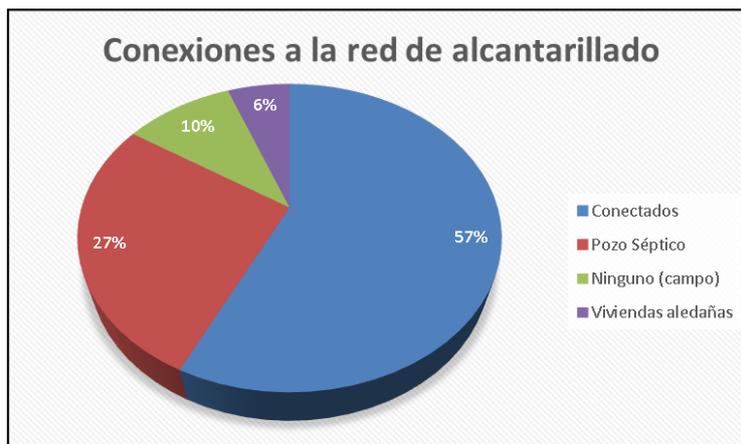


Gráfico 3-8 Viviendas conectadas a la red de Alcantarillado, PTAR San Pedro
Elaboración: Autores

Conexiones ilícitas a la red de Alcantarillado

Se observó si las viviendas encuestadas poseen canales de cubierta y/o troneras de desagüe en el patio, con el fin de registrar alguna conexión ilícita a la red de alcantarillado, obteniéndose como resultado que el 68% (27 vivienda) no poseen canales de cubierta, el 32% (13 viviendas) restante posee canales de cubierta y de éstas últimas, solamente 2 están conectadas a la red de alcantarillado. Además se observó que ninguna de las viviendas posee troneras en el patio.

3.3.2.6 Tratamiento de Agua Residual

Con el fin de evitar la descarga directa del agua residual y la posterior contaminación de la Quebrada Yanaturo, ETAPA EP procedió a construir la PTAR San Pedro, la misma que se encuentra conformada por una fosa séptica seguida de un filtro anaerobio de flujo ascendente (FAFA) estructurados en sistemas separados. En la sección 5.2 se realiza una descripción más completa del sistema a evaluar.

4 MATERIALES Y METODOS

4.1 Levantamientos Topográficos de las PTAR

Se llevó a cabo un levantamiento planimétrico y un levantamiento taquimétrico con el fin de realizar una evaluación física de la PTAR y obtener el perfil hidráulico del flujo.

4.1.1 Levantamiento Planimétrico

El levantamiento planimétrico se elaboró mediante el método de abanico, colocando el equipo en una estación desde la cual se puedan observar todos los puntos necesarios para completar el levantamiento. Para llevar a cabo el levantamiento se utilizaron los siguientes equipos y herramientas:

- Estación total ruide rts-822r3
- Prisma
- Trípode
- Cinta (50m)
- Estacas
- Martillo

4.1.2 Levantamiento Taquimétrico

El levantamiento taquimétrico es un procedimiento de baja precisión que se utiliza cuando la medición con cinta presenta dificultades. Para llevar a cabo el levantamiento se utilizaron los siguientes equipos y herramientas.

- Nivel de ingeniero
- Trípode
- Mira y nivel de mira
- Cinta (50m)
- Estacas
- Martillo

4.2 Metodología del Muestreo

El objetivo principal por el que se emprendió un muestreo en las PTAR es el de verificar si los sistemas de depuración están cumpliendo con las especificaciones que permitan preservar la calidad del agua, lo que significa que las cargas vertidas a los cuerpos receptores estén dentro del margen establecido a fin de no interferir en los diferentes usos aguas abajo.



Para obtener información cuantitativa que describa con exactitud las características del agua, es decir, el tipo y concentración de las sustancias, se realizó la respectiva toma de muestras y sus correspondientes análisis de laboratorio.

La metodología que se desarrolló para evaluar la PTAR estuvo dividida en 3 fases:

Obtención de Curva de Caudales: Con el propósito de identificar las horas en las cuales el caudal es máximo y también para la obtención de muestras compuestas.

Muestreo: Con la finalidad de conocer las características tanto del afluente como de los efluentes de cada uno de los componentes que conforman la PTAR.

Análisis de Muestras: Con la meta de cuantificar las características del agua muestreada y determinar la eficiencia del sistema de tratamiento.

4.2.1 Proceso de Monitoreo

4.2.1.1 Obtención de Curva de Caudales

Para obtener la curva de caudales se optó por el método de medición volumétrica manual, debido a que tiene la ventaja de ser el más sencillo, confiable y sobre todo aplicable debido al bajo caudal de ingreso a la planta.

El procedimiento seguido consiste en tomar en un recipiente graduado un volumen de muestra y medir el tiempo transcurrido desde que se introduce el recipiente a la descarga, hasta que se retira de ella; El caudal se obtiene mediante la relación del volumen obtenido y el tiempo transcurrido. (Ver Ec. 17)

$$Q = V/t \qquad \text{Ec. 17.}$$

Este procedimiento se realizó cada hora durante las 24 horas de un día.

4.2.1.2 Muestreo

Muestreo Puntual

Se utiliza para determinar las características del agua en un determinado momento. Una muestra puntual solo puede proporcionar información acerca de las sustancias y de la composición del agua residual en el momento del muestreo. Las muestras puntuales no pueden proporcionar información sobre niveles de contaminación o la eficiencia real de un sistema de tratamiento de aguas residuales.

Para la evaluación de plantas de tratamiento de aguas residuales, cuando este tipo de muestreo se lo realiza dejando pasar el tiempo de retención hidráulico



de las estructuras a evaluar, se puede obtener una eficiencia relativa del tratamiento. Esta evaluación debe ser complementada con un muestreo compuesto.

Muestreo Compuesto

Es una combinación de muestras puntuales tomadas en el mismo sitio durante diferentes tiempos. Es muy importante para observar concentraciones promedio, cargas o eficiencia promedio de una planta de tratamiento de aguas residuales.

El volumen debe ser superior a 2L y se deben tomar porciones individuales de la muestra en envases separados conforme sea el intervalo de muestreo. Para obtener la muestra final se extrae el volumen requerido de cada muestra puntual según la siguiente ecuación:

$$V_i = \frac{Q_i * V}{Q_p * n}$$

Donde:

V_i : Volumen de cada muestra puntual.

V : Volumen requerido de la muestra compuesta.

Q_p : Caudal promedio durante la jornada de muestreo.

Q_i : Caudal instantáneo durante la toma de cada muestra puntual.

n : Número de muestras puntuales tomadas

Requisitos para las muestras

- Los envases deben estar limpios, libres de contaminación y debidamente rotulados para asegurar la representatividad e integridad de la muestra.
- Para la toma de la muestra, si es posible, se llena el frasco directamente del vertedero o tubería, de no ser posible, se recoge la muestra en un balde y luego se traspasa al recipiente correspondiente.
- Una vez obtenida la muestra se coloca en un recipiente aislante con hielo de tal manera que la muestra logre una temperatura de 4°C con el fin de retardar al máximo los cambios químicos y biológicos.

Consideraciones de muestreo

- La recolección de la muestra para el análisis bacteriológico se realizará en dos frascos esterilizados de 100 ml. Los mismos que no requieren ser homogeneizados como se recomienda en las normativas de toma y preservación de muestras.
- La muestra que sirvió para el análisis físico y químico se recolectó en un recipiente plástico de 2 l, considerando que para este proceso el recipiente debe ser homogeneizado, es decir, enjuagado de dos a tres veces con el agua a ser recolectada.



4.2.1.3 Análisis de Muestras

El análisis de las muestras se llevó a cabo en el laboratorio de sanitaria de la Universidad de Cuenca, así como también en los laboratorios de ETAPA EP en ubicados en Ucubamba.

Parámetros a analizar: Según (Metcalf & Eddy, 1995) & (Dirección de Agua Potable y Saneamiento Basico, 2000), los parámetros a analizar en el agua residual domestica son los siguientes:

Parámetro	Unidad
PH	
Alcalinidad	mg/l, CaCO ₃
Cloruros	mg/l, CaCO ₃
Nitratos	
Nitrógeno Amoniacal	mg/l
Fósforo Reactivo	mg/l
DBO ₅	mg/l
DQO	mg/l
Solidos Suspendidos	mg/l
Solidos Sedimentables	mg/l
Solidos Totales	mg/l
Coliformes Totales	NMP/100ml
Coliformes Termotolerantes	NMP/100ml

Tabla 4-1 Parámetros considerados para el análisis de las muestras

4.2.2 Balance de Masas

Se procedió a utilizar este principio con la finalidad de estimar el caudal de agua residual y el caudal de infiltración, ya que el afluente resulta de la combinación de agua residual doméstica y agua de infiltración. Este caudal se obtiene de la siguiente ecuación:

$$Q_1C_1 + Q_2C_2 = Q_T C_T \quad \text{Ec. 18}$$

Dónde:

Q_1 : Caudal de agua residual domestica

C_1 : Carga contaminante típica de un agua residual domestica

Q_2 : Caudal de agua de infiltración

C_2 : Carga contaminante típica de un agua poco contaminada

Q_T : Caudal del afluente

C_T : Carga contaminante del afluente

El caudal del agua de infiltración se obtuvo mediante la curva de caudales, en horas en las que el consumo doméstico es nulo, con excepción de las pérdidas generadas que son constantes durante todo el día.

Los coeficientes C_1 y C_2 se obtienen de la Tabla 4-2.

Tipo de Agua	DBO (mg/l)	DQO (mg/l)
Agua Potable	0,75 - 1,15	< 10
Agua poco contaminada	5-50	20 - 200
Agua potable negra municipal	100 - 400	250 - 1000
Residuos Industriales	500 - 1000	1000- 15000

Tabla 4-2 Concentraciones típicas de DBO y DQO para diferentes tipos de agua
Fuente: Ninoschtka Freire Moran (2011)

4.3 PTAR Macas

4.3.1 Medición de Caudal

La medición del caudal se realizó el día lunes 23 de Febrero del 2015 desde las 00:00 h hasta las 24:00 h.

4.3.2 Puntos de Muestreo

El muestreo se realizó el día lunes 2 de marzo del 2015. El mismo consistió una muestra compuesta tanto a la entrada (punto de muestreo 1) como a la salida (punto de muestreo 2) de la PTAR. (Ver Figura 4-1)



Figura 4-1 Puntos de muestreo de la PTAR Macas
Elaboración: Autores

4.4 PTAR San Pedro

4.4.1 Medición de Caudal

La medición del caudal se realizó el día martes 13 de Enero del 2015 desde las 00:00 h hasta las 24:00 h.

4.4.2 Puntos de Muestreo

El primer muestreo se realizó el día jueves 22 de enero del 2015, el segundo muestreo los días jueves 19 y viernes 20 de febrero del mismo año. Las muestras puntuales se tomaron en los siguientes puntos:

- Entrada a la PTAR (punto de muestreo 1)
- Salida de la Fosa Séptica (punto de muestreo 2)
- Salida del filtro anaerobio (punto de muestreo 3). Ver Figura 4-2



Figura 4-2 Puntos de muestreo de la PTAR San Pedro
Fuente: ETAPA EP

El primer muestreo se realizó en las tres horas de máxima producción de agua residual (3 picos) obtenidas mediante la curva de caudales, las mismas que son: 7:00 am, 11:00 am y 4:00 pm. El segundo muestreo consistió en un seguimiento a la muestra de las 7:00 am con el fin de obtener una eficiencia relativa de las estructuras que componen el sistema de tratamiento. Las muestreos en los puntos 2 y 3 se tomaron luego de esperar los respectivos tiempos de retención teóricos de la fosa séptica y el filtro anaerobio.

5 RESULTADOS Y DISCUSION

5.1 PTAR Macas

5.1.1 Evaluación de la Infraestructura de la PTAR

El acceso a esta PTAR se realiza por la vía que comunica las comunidades de Quingeo y Macas descrita en la sección 0. La PTAR se encuentra ubicada al borde izquierdo de esta vía por lo que el acceso con vehículos pequeños y vehículos grandes para mantenimiento se lo realiza con gran facilidad, está asentada en un terreno con un área de 195,5m² con un cerramiento de tubos metálicos y malla galvanizada en la parte frontal y postes de cemento con alambre de púa en el resto del perímetro. (Ver Figura 5-1)

LA PTAR consta con un sistema de tratamiento primario (fosa séptica) complementado por un tratamiento secundario (filtro anaerobio), construidos en una sola estructura.



Figura 5-1 Infraestructura de la PTAR
Elaboración: Autores

5.1.1.1 Funcionamiento

El agua ingresa para ser tratada a través del pozo P1 hacia el pozo P2 (ver Figura 5-2) y posteriormente ingresa hacia la fosa séptica por una tubería de PVC de $\varnothing 200\text{mm}$ a una altura de 1,90m del fondo de la fosa séptica, a continuación pasa hacia el filtro anaerobio a través de una tubería de $\varnothing 160\text{mm}$ a una altura de 1,73m medida desde el fondo y entra al filtro anaerobio

alcanzando un calado de 1,40m. Posteriormente el agua sale del filtro anaerobio por una tubería de $\varnothing 200\text{mm}$ a una altura de 1,20m del fondo hacia el río Pillachiquir.

Cabe recalcar que si se desea realizar mantenimiento a la PTAR, se debe cerrar la válvula en el pozo P2 y también abrir la válvula ubicada en el pozo P3 que activa el bypass y permite una descarga directa del agua al río Pillachiquir.

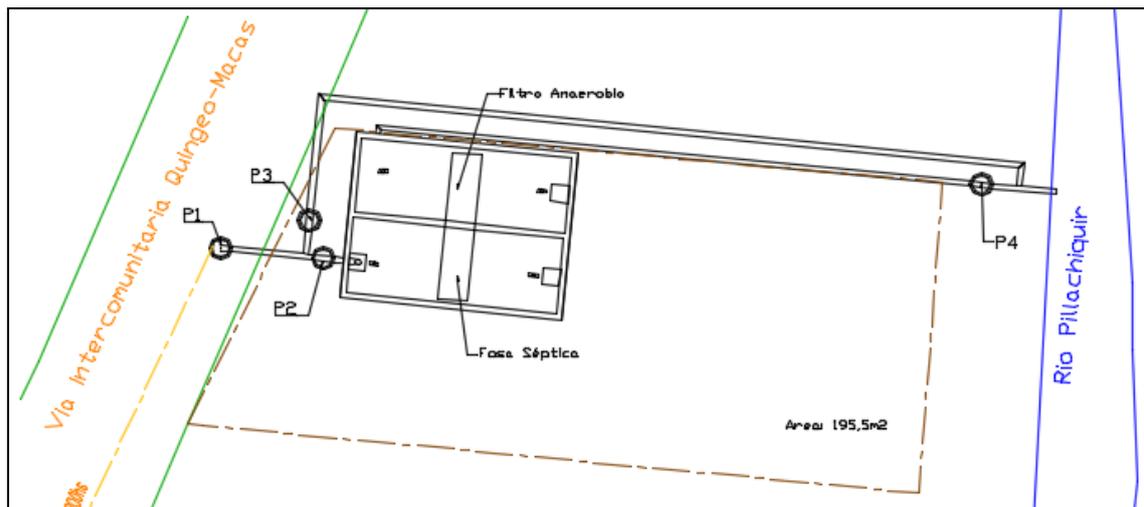


Figura 5-2 Esquema de funcionamiento de la PTAR Macas
Elaboración: Autores

5.1.1.2 Descripción de las Estructuras

Pozos

Los pozos existentes son circulares con diámetros de 60cm.

P1: Pozo de cambio de dirección del flujo que permite el ingreso a la planta.

P2: Pozo de control para el ingreso del flujo a la fosa séptica mediante el accionamiento de una válvula.

P3: Pozo de control para la activación del bypass mediante el accionamiento de una válvula.

P4: Pozo de control que permite la descarga del agua proveniente del filtro anaerobio hacia el río.

Fosa séptica

Esta estructura rectangular tiene 7,15m de largo, 2,55m de ancho y 2,30m de profundidad. El agua ingresa por una tubería de PVC de $\varnothing 200\text{mm}$ a una altura de 1,90m. La fosa está dividida en dos compartimentos: el primero de 5,00m de largo, el segundo compartimento de 2,00m de largo. Estos compartimentos están separados por una pared de concreto de 0,15m de espesor y 2,00m de altura con una ventana de 0,30m de altura por 1,85m de largo a 1,20m del

fondo de la fosa. El agua sale de la fosa hacia el filtro anaerobio por una tubería de 160mm ubicada a una altura de 1,73m del fondo. (Ver Figura 5-3).

Filtro anaerobio

El filtro anaerobio está compuesto de tres compartimentos de 2,55m de ancho, 2,30m de profundidad y longitud variable: El primer compartimento de 1,00m de largo que recoge el agua proveniente de la fosa séptica y pasa al segundo por medio de una pared de 2,10m de altura y perforada con agujeros de 2,5cm de diámetro cada 0,25m. El segundo compartimento tiene una longitud de 4,90m y el agua lo atraviesa a través del lecho filtrante de piedra y grava redondeada en donde el agua asciende hasta una altura de 1,33m para pasar al tercer compartimento Finalmente el agua llega al tercer compartimento de 1,30m de altura y un metro de largo que recolecta el agua proveniente del filtro para finalmente salir del filtro anaerobio por una tubería de PVC de \varnothing 200mm a 1,20m del fondo y desembocar en el río Pillachiquir. Esta estructura se puede apreciar en la Figura 5-3.

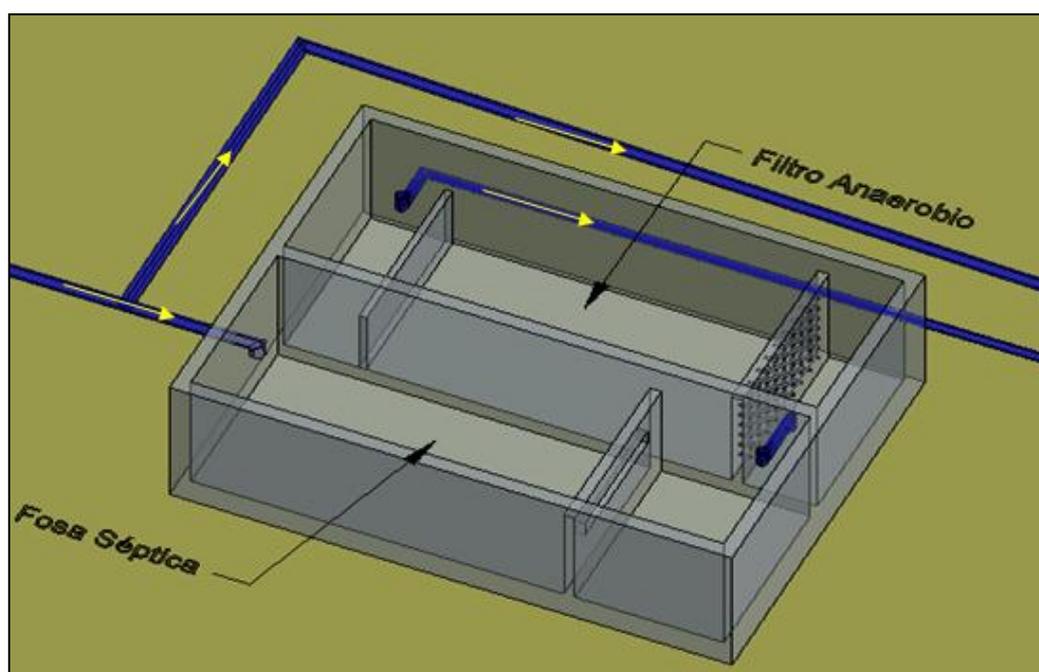


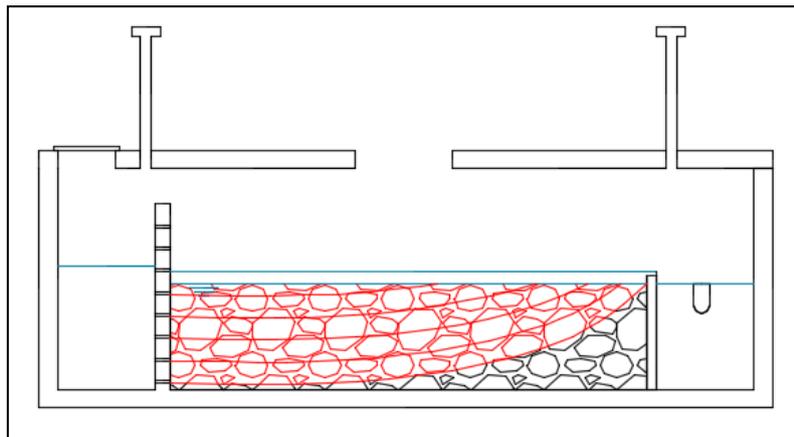
Figura 5-3 Vista interna de la fosa séptica y filtro anaerobio de la PTAR Macas
Elaboración: Autores

Observaciones

- A pesar que la empresa ETAPA EP tenía conocimiento de la evaluación que se realizaba a esta planta, procedió a realizar una limpieza completa de las estructuras desde el 6 de enero de 2015 hasta el 10 de febrero del mismo año, desechando los lodos de la fosa séptica y la biomasa del

filtro anaerobio. Sin embargo fue una oportunidad para observar a detalle la disposición interna de las estructuras

- Se observó que el flujo en el filtro anaerobio no es de tipo ascendente, sino una combinación entre flujo ascendente y longitudinal, por lo que no se utiliza el 100% del lecho filtrante para el tratamiento anaerobio. Esto repercute en el tiempo de retención hidráulico, disminuyendo en proporción al volumen de lecho no utilizado y por ende una disminución en la efectividad del tratamiento. (Ver Figura 5-4)



*Figura 5-4 Esquema de las líneas de flujo en el filtro anaerobio
Elaboración: Autores*

- El sistema de tratamiento no posee una estructura de tratamiento preliminar (rejilla).
- Las tuberías de entrada, conexión de las estructuras y salida no son las recomendadas en el diseño, es decir, la planta contiene codos a 90° en lugar de deflectores.
- Para el arranque luego de la etapa de mantenimiento no se tomaron en cuenta las consideraciones de operación y mantenimiento como: la incorporación de lodos y biomasa provenientes de otra planta de tratamiento.
- El filtro anaerobio no posee un falso fondo, lo que generó que el mismo se obstruya por una falta de mantenimiento.
- El lecho filtrante ocupa el 48% de la profundidad del tanque y no está dentro de las consideraciones para un buen desempeño, ya que el requerimiento mínimo es del 50% como se menciona en la sección 2.2.3.3.2.
- La velocidad de ascenso (0,27m/h) cumple con lo recomendado para evitar un arrastre de la biomasa.



5.1.2 Obtención de Variables Necesarias para el Funcionamiento de la PTAR

A pesar de que la PTAR Macas es relativamente nueva ya que fue construida hace aproximadamente 6 años, no existe información acerca de los parámetros de diseño de la planta, razón por la cual se procedió a estimar un valor referencial de caudal teórico que ingresa a la planta y también el caudal real mediante un aforo.

5.1.2.1 Caudal Teórico

Para estimar el caudal teórico se debe considerar los siguientes parámetros:

- Población servida por la red de alcantarillado (P)
- Dotación de Agua Potable (q)
- Coeficiente de Retorno (R)
- Coeficiente de Mayoración (M)
- Caudal de Infiltración (Qi)
- Caudales especiales (Qe)

Población (P)

El número de personas que están dentro del área de influencia de la PTAR Macas es 36.

Dotación de agua potable (q)

Para obtener un valor lo más aproximado posible a la realidad se planteó en la encuesta sanitaria preguntas que nos ayudaron a conseguir detalles de los hábitos y el nivel de vida de la población, además con el clima que posee la comunidad se obtuvieron los siguientes resultados que se muestran en la Tabla 5-1:

Contribución	Actividades	Dotación	Unidad	Dotación L/hab/día
Uso Doméstico	Descarga del inodoro	24	L/hab/día	24
	Uso de ducha	15	L/hab/día	14,3
	Lavado de dientes	2	L/hab/día	2
	Lavado de manos y cara	5	L/hab/día	5
	Bebida	2	L/hab/día	2
	Preparación de alimentos	6	L/hab/día	6
	Lavado de platos	5	L/hab/día	2
	Lavado de ropa	0	L/hab/día	0
	Limpieza del hogar	5	L/fam/día	1,5
	Perdidas eventuales	2	L/hab/día	2
Dotación Promedio (L/hab*día)				58,8

Tabla 5-1 Cálculo de la dotación de agua para la comunidad Macas



Elaboración: Autores

- Descarga del inodoro: teniendo en cuenta la antigüedad de las viviendas y por ende de los retretes, y además a una observación del mismo colocado en el centro de salud y en una vivienda, el volumen aproximado es de 12 litros, entonces se optó por un valor de 24 litros/hab/día, ya que una persona acude al baño un promedio de 2 veces al día. Este valor adoptado se encuentra dentro del rango que sugiere la CEPIS.
- Uso de ducha: según la encuesta aplicada, la población tiene el hábito de bañarse dos veces por semana, por un tiempo promedio de 5 minutos.

Caudal (l/min)	Tiempo (min)	# días	Dotación diaria ducha (l/hab*día)
10	5	2	14,3

*Tabla 5-2 Cálculo de la dotación diaria para la ducha
Elaboración: Autores*

Obtenemos un valor de 14,3 l/hab*día.

- Lavado de dientes: los habitantes de Macas acostumbran a lavarse los dientes 3 veces al día y para ello recogen el agua en un vaso, por lo tanto el caudal utilizado para esta actividad es de 2 l/día por habitante.
- Lavado de manos y cara: la CEPIS recomienda un valor entre 3 y 10 l/hab/día, según los hábitos observados en la encuesta, la dotación para esta actividad es de 5 l/hab/día.
- Bebida: considerando principalmente el clima frío de la comunidad y la encuesta aplicada indica que la población consume en promedio 2 l/día.
- Lavado de ropa: se considera un valor nulo ya que el 100% de la población acostumbra a lavar la ropa en el río por la cercanía que existe.
- Pérdidas eventuales: se ha optado por tomar el valor recomendado por la CEPIS de 2 l/hab*día.

Factor de retorno (R)

Para la obtención de este parámetro se realizó un análisis de los datos de la encuesta sanitaria, considerando el volumen de agua de consumido y los elementos que se encuentran conectados a la red de alcantarillado, los resultados obtenidos se presentan en la Tabla 5-3.



Actividad	Dotación (l/hab/día)	Consumo agua potable		Conectados a la red	
		Habitantes	Volumen utilizado (l)	Habitantes	Volumen enviado a la red (l)
Descarga del inodoro	24	36	864	36	864
Lavado de dientes, manos	7	36	252	31	217
Uso de ducha	14,3	36	514,8	31	443,3
Bebida	2	36	72	0	0
Preparación de alimentos	6	36	216	0	0
Lavado de platos	2	36	72	9	18
Limpieza del hogar	1,5	36	54	0	0
Perdidas	2	36	72	36	72
Total	58,8		2116,8		1614,3
	%				75

Tabla 5-3 Elementos sanitarios conectados a la red de alcantarillado
Elaboración: Autores

El volumen de agua utilizado en la preparación de alimentos y que regresa a la red de alcantarillado es nulo, ya que ésta agua está destinada para el consumo de animales.

Se obtiene un coeficiente de retorno de 0,8.

Coeficiente de variación de consumo (M)

Debido a que no se dispone de un registro anual de caudales, el valor utilizado para el coeficiente de variación diario $K_1=1,3$ que es el empleado para los estudios en Cuenca. El coeficiente de variación horario (K_2) se calculó mediante la curva de caudal obtenida en dicha planta.

$$K_2 = \text{caudal max} / \text{caudal medio}$$

CAUDALES	UNIDAD (l/s)
Caudal Máximo	0,1906
Caudal Medio	0,1247
K2	1,53

Tabla 5-4 Cálculo del coeficiente de variación horario
Elaboración: Autores

$$M = K_1 * K_2$$

$$M = 1,3 * 1,53$$

El coeficiente de variación de consumo obtenido es: $M=1,99$

Caudal de aguas ilícitas (QI)



Con la ayuda de la encuesta sanitaria se pudo observar que no existen conexiones erradas ni clandestinas, es por ello que el caudal correspondiente a aguas ilícitas se considera nulo.

CAUDALES ESPECIALES (Q_e)

Escuela

En la encuesta aplicada al director de la escuela se informó que toda la población de la escuela consume un volumen de agua de 500 l. al día provenientes de un tanque de reserva.

$$Q = \frac{500l}{86400s} = 0,0057l/s$$

Centro de Salud

En la encuesta aplicada en el centro de salud, el personal en cargo informó que se consume un promedio de 4 l/paciente con una afluencia de 30 pacientes al día.

Institución	Dotación	Unidad	Numero	Caudal (l/s)
Centro de Salud	4	l/paciente	30	0,0014

Tabla 5-5 Cálculo del caudal del centro de salud

Elaboración: Autores

El caudal institucional total es igual a:

$$Q_e = 0,0057 + 0,014 = 0,0071 \text{ l/s}$$

Por lo tanto el caudal teórico de agua residual doméstica es:

$$Q_{dAR} = (P * q * R * M) + Q_e$$

$$Q_{dAR} = \left(36\text{hab} * 58,8 \frac{\text{litros}}{\text{hab} * \text{día}} * \frac{1\text{día}}{86400s} * 0,75 * 1,99 \right) + 0,0071$$

$$Q_{dAR} = 0,0437 \text{ l/s}$$

5.1.2.2 Caudal Real

El caudal real que ingresa a la planta se obtuvo mediante un aforo utilizando el método volumétrico. Cabe recalcar que se realizó dos mediciones de caudal cada hora y se procedió a promediar, este procedimiento se repitió durante 24 horas y mediante un promedio se obtuvo el valor del caudal medio diario. Ver Tabla 5-6.



Hora	Volumen (ml)	Tiempo (s)	Caudal (l/s)
0	610,0	7,39	0,0826
1	550,0	6,29	0,0874
2	550,0	6,29	0,0874
3	387,5	4,25	0,0913
4	370,0	3,52	0,1053
5	502,5	4,37	0,1148
6	502,5	4,88	0,1031
7	510,0	2,91	0,1757
8	450,0	2,89	0,1562
9	442,5	3,88	0,1144
10	450,0	2,74	0,1645
11	547,5	3,95	0,1383
12	416,0	4,30	0,0967
13	480,0	3,12	0,1538
14	543,5	2,87	0,1906
15	450,0	3,54	0,1278
16	465,0	3,22	0,1444
17	570,0	3,96	0,1439
18	515,0	3,28	0,1572
19	650,0	3,89	0,1674
20	465,0	3,75	0,1241
21	357,5	3,43	0,1044
22	360,0	4,44	0,0812
23	327,5	4,06	0,0808

Tabla 5-6 Parámetros obtenidos para el cálculo del caudal de la PTAR Macas
Elaboración: Autores

Los valores de caudal máximo horario, caudal mínimo horario y el caudal medio diario se presenta en la siguiente tabla:

CAUDALES	UNIDAD (l/s)
Caudal Máximo	0,1906
Caudal Medio	0,1247
Caudal Mínimo	0,0808

Tabla 5-7 Caudal máximo, medio y mínimo considerando infiltración
Elaboración: Autores

La variación del caudal a lo largo del día que ingresa a la planta al igual que el caudal máximo, medio y mínimo se pueden ver en el Gráfico 5-1, se generan tres picos (07:00, 14:00 y 19:00) que corresponden a las horas comunes de desayuno, almuerzo y merienda respectivamente, así como también un cuarto pico que se produce a las 10:00 de la mañana que representa el consumo producido en la escuela ya que a esa hora es el receso de las labores.

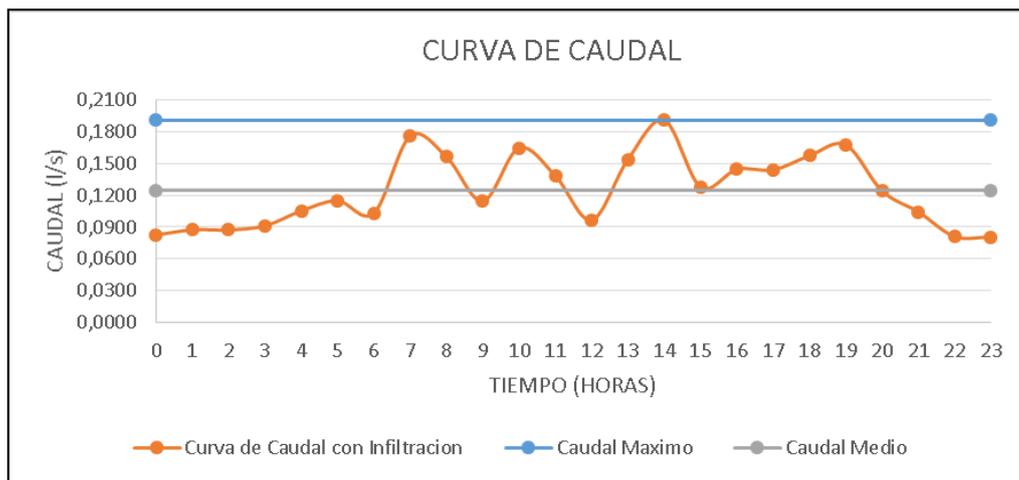


Gráfico 5-1 Curva de caudal, caudal máximo y caudal medio de la PTAR Macas considerando infiltración.
Elaboración: Autores

Caudal de infiltración

Para la obtención del caudal de infiltración teórico se consideraron parámetros como los que se observan en la Tabla 5-8.

	En función de:			
	Área (ha)	Long y diámetro tubería (mm-km)	Área drenada (ha)	Mat. Tubería PVC (m ³ /ha/día)
	11,14	100	11,14	10
Autor	IEOS	Metcalf & Eddy 1995		Mara 2003
Qi (l/s)	2,659	0,012	0,026	1,289

Tabla 5-8 Caudal de infiltración teórico
Elaboración: Autores

Para obtener el valor real del caudal de infiltración, se procedió a tomar el valor en el que el caudal tiende a estabilizarse, sobreentendiéndose que a esas horas no existe consumo de agua con excepción de las pérdidas que permanecen constantes durante todo el día.

En la siguiente tabla se presentan los valores en donde el caudal tiende a estabilizarse.

Hora	Volumen (ml)	Tiempo (s)	Caudal (l/s)
22	360,0	4,44	0,0812
23	327,5	4,06	0,0808
0	610,0	7,39	0,0826
1	550,0	6,29	0,0874
2	550,0	6,29	0,0874
Qest (l/s)			0,0808

Tabla 5-9 Cálculo del Caudal de Infiltración
Elaboración: Autores

Para obtener el caudal real de infiltración se procedió a restar el caudal por concepto de pérdidas del caudal estabilizado presentado en la tabla anterior. El caudal generado por pérdidas es de 2l/hab/día que corresponde a 0.00083l/s.

$$Q_i = 0.0808 - 0.00083$$

$$Q_i = 0.081/s$$

En conclusión, la PTAR Macas tiene un caudal de infiltración de 0.16l/s/km que se debe principalmente al alto nivel freático existente en el área de cobertura de la red de alcantarillado.

Caudal producido en los domicilios e instituciones

En la siguiente gráfica se observa la curva de caudal producido exclusivamente en los domicilios, es decir no se considera el caudal de infiltración.

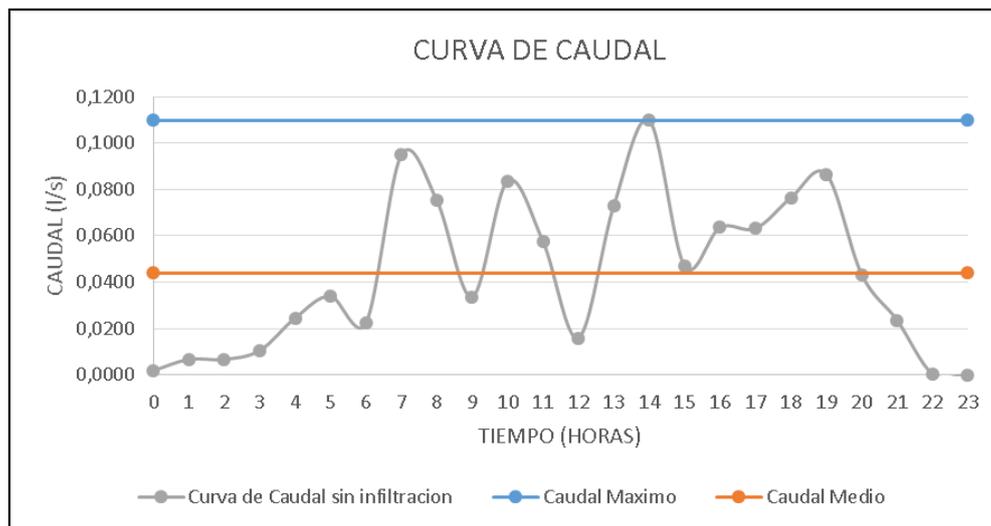


Gráfico 5-2 Curva de caudal, caudal máximo y caudal medio de la PTAR Macas sin considerar infiltración. Elaboración: Autores

En base en la encuesta aplicada se puede observar que la comunidad de Macas inicia sus actividades aproximadamente a las 04:00 horas, evidenciándose aquello con el consumo de agua. Mientras que partir de las 19:00 horas el consumo comienza a disminuir hasta que se vuelve nulo aproximadamente a las 22:00 horas.

A continuación se presentan los valores de caudal máximo horario y medio diario sin considerar el aporte de las aguas de infiltración.

CAUDALES	UNIDAD (l/s)
Caudal Máximo	0,1106
Caudal Medio	0,0448

Tabla 5-10 Caudal máximo y medio de la PTAR Macas sin considerar infiltración. Elaboración: Autores



El caudal de agua residual teórico (0,0437 l/s) difiere en un 2% del caudal real (0,0448 l/s). Con esto se puede concluir que la dotación de agua calculada en base a la encuesta es la real.

En conclusión, el agua que ingresa a la PTAR Macas está conformada de la siguiente manera:

- El 36% (3,868m³/día) es agua que proviene del uso doméstico de las 11 viviendas, centro educativo y centro de salud.
- El 64% (6,908m³/día) es agua de infiltración que ingresa al sistema.

TIPO	VOLUMEN		%
	l/s	m3/día	
Agua Residual	0,0448	3,868	36
Agua de Infiltración	0,0800	6,908	64
Total	0,1247	10,776	100

Tabla 5-11 Distribución del caudal que ingresa a la PTAR Macas

Elaboración: Autores

5.1.3 Evaluación del Sistema de Tratamiento de la PTAR

A pesar que los técnicos de ETAPA EP tenían conocimiento de la evaluación que se realizaba a la PTAR Macas, procedieron a realizar una rehabilitación de la misma, por lo que al momento de realizar la toma de muestras, el sistema de tratamiento tenía sólo 5 días de haber iniciado con el funcionamiento.

Para evaluar el sistema de tratamiento de agua residual que posee la comunidad Macas, se procedió a realizar un muestreo compuesto debido a que la curva de caudal obtenida (Gráfico 5-1) presenta variaciones considerables a lo largo del día.

Las muestras se tomaron tanto a la entrada, como a la salida de la planta teniendo en cuenta las consideraciones de la sección 4.2.1.2. Estas se analizaron en el laboratorio de ETAPA EP (ver ANEXO 2).

Los valores de cada parámetro obtenidos en el análisis se presentan en la Tabla 5-12.

Parámetros	Unidad	Ubicación de la muestra		Máximo Permitido (Tulas)	Observ.
		Entrada de la PTAR	Salida de la PTAR		
Cloruros	mg/l	10,76	12,91	1000	Cumple
N. Nitratos	mg/l	0,620	0,090	10	Cumple
N. Amoniacal	mg/l	10,61	8,38	15	Cumple
DBO5	mg/l	35	22	100	Cumple
DQO	mg/l	100	57	250	Cumple
Sólidos Totales	mg/l	281	303	1600	Cumple
Sólidos Suspendidos	mg/l	61	15	100	Cumple
Sólidos Sedimentables	ml/l	0,5	0	1	Cumple
Coliformes Totales	NPM/100ml	9,2E+06	1,6E+06	Remoción > al 99,9%	No Cumple
Coliformes Termotolerantes	NPM/100ml	9,2E+06	1,6E+06	Remoción > al 99,9%	No Cumple
PH		7,13	7,32	5-9	Cumple
Alcalinidad total	mg/l, CaCO3	87,78	83,79		

Tabla 5-12 Valores obtenidos en el muestreo de la PTAR Macas

Elaboración: Autores

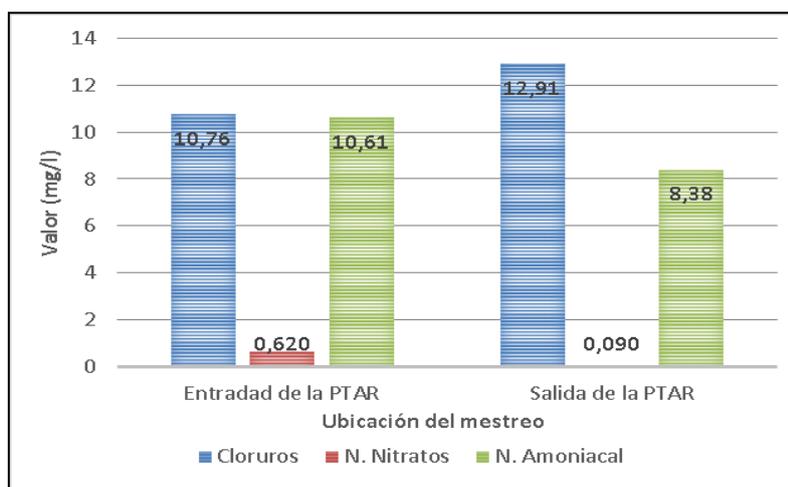


Gráfico 5-3 Valores obtenidos en el muestreo de la PTAR Macas (1/4)

Elaboración: Autores

- Como se observa en la Tabla 5-12 la concentración inicial de cloruros se encuentra muy por debajo del máximo permitido para los afluentes según el TULAS (ANEXO 7). Por otra parte, no existe remoción de este parámetro sino que al contrario presenta un aumento de 2,15 mg/l que es probable que sea por un contacto con agua de mayor concentración que previamente ingresó a la planta ya que el proceso de tratamiento no incorpora cloruros.

- Por su parte la cantidad de nitrógeno amoniacal como se puede ver en la Tabla 5-12 y en el Gráfico 5-3 ha disminuido debido a que se ha convertido en nitrito y posteriormente en nitrato.

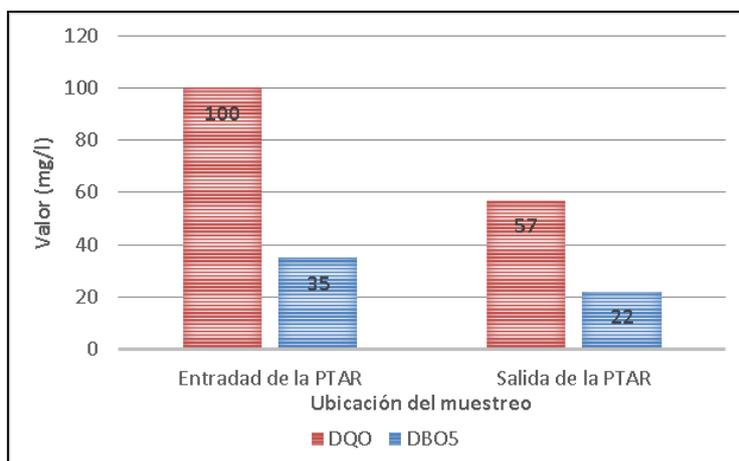


Gráfico 5-4 Valores obtenidos en el muestreo de la PTAR Macas (2/4)
Elaboración: Autores

- Como ya se mencionó el agua residual cruda que ingresa a la PTAR Macas se define como débil debido a su baja concentración, ya que el 65% del agua que llega a la planta es de infiltración. En el Gráfico 5-4 se puede observar que la DBO₅ presenta una reducción de 13mg/l, que corresponde a un 37%.
- A pesar de que el agua residual cruda es diluida y cumple para una descarga sin previo tratamiento, se observa que la DQO tiene una disminución de 43mg/l, que corresponde a un 43%, porcentaje que resulta bajo para el tratamiento utilizado.
- Los valores de la DBO y DQO del efluente son 22mg/l y 57mg/l respectivamente, los mismos que se encuentran dentro de los límites establecidos por el TULAS.
- Como se observa en la Tabla 5-13 y comparando con la Tabla 2-5 el agua residual que ingresa a la PTAR se encuentra en un rango de biodegradabilidad normal la cual la hace óptima para un tratamiento con lecho bacteriano según (Tchobanoglous, 2000).

Ubicación	Entrada de la PTAR
Relación DBO5/DQO	0,35

Tabla 5-13 Relación DBO5/DQO, Muestra compuesta - Macas
Elaboración: Autores

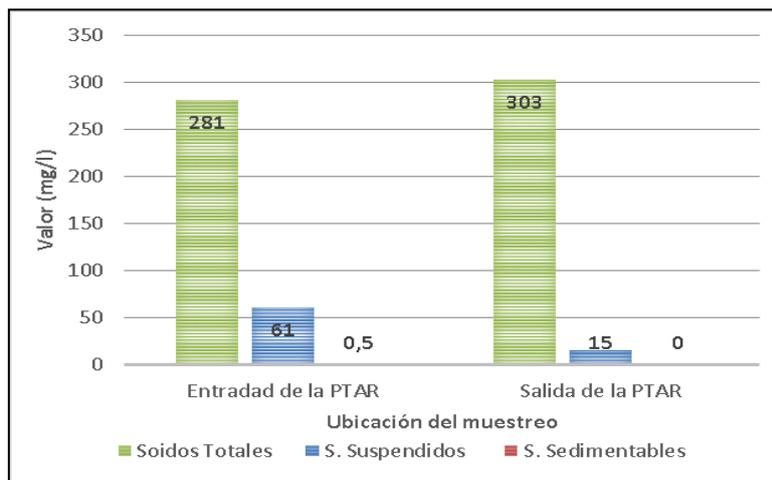


Gráfico 5-5 Valores obtenidos en el muestreo de la PTAR Macas (3/4)
Elaboración: Autores

- En lo que se refiere a los sólidos, se puede observar en el Gráfico 5-5 que el volumen de sólidos que ingresa a la planta es bajo debido a que es un agua muy diluida. Existe un aumento de 22mg/l en el efluente con respecto al afluente correspondiente a los sólidos disueltos que es debido al contacto con un agua de mayor concentración que ingreso a la planta antes de realizar el muestreo.
- En cuanto a los sólidos suspendidos y sólidos sedimentables, la remoción por parte de la planta es del 75% (46mg/l) y 100% respectivamente, (Ver Gráfico 5-5).

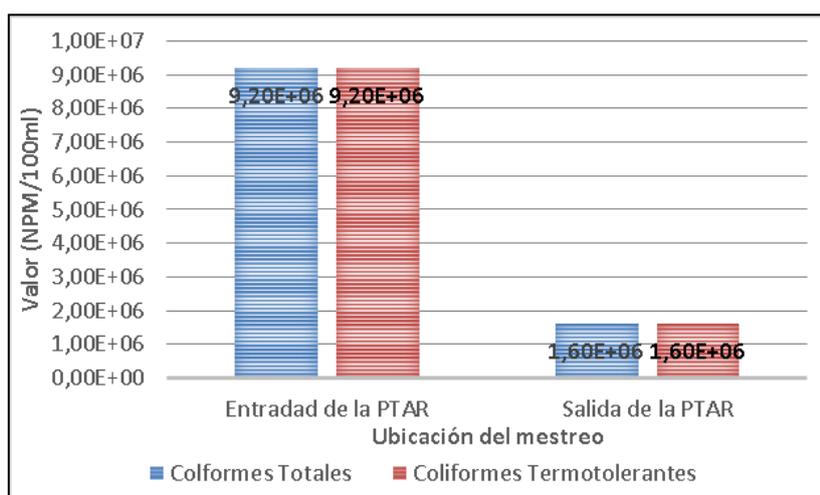


Gráfico 5-6 Valores obtenidos en el muestreo de la PTAR Macas (4/4)
Elaboración: Autores

- En lo que respecta a los coliformes, el sistema de tratamiento utilizado presenta una remoción de 7,60E+06 NPM/100ml equivalente al 83%, el mismo que no cumple con lo establecido por el TULAS. Es probable que

este porcentaje de remoción deficiente sea por no considerar las especificaciones de arranque de la planta.

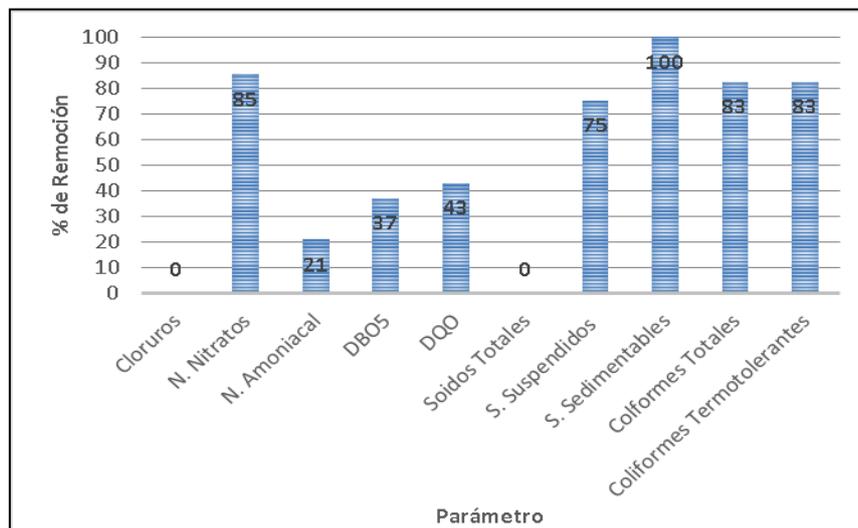


Gráfico 5-7 Porcentaje de remoción de la PTAR Macas
Elaboración: Autores

En conclusión, los resultados obtenidos corresponden a un análisis de tratamiento de una planta con un tiempo de funcionamiento de una semana y sobre todo con falencias en la puesta en funcionamiento. El sistema de tratamiento utilizado para la depuración del agua residual que llega a la PTAR Macas no presenta una remoción de cloruros, 85% (0,53mg/l) en Nitratos, 21% (2,23mg/l) para N. Amoniacaal, 37% (13mg/l) de la DBO, 43% (43mg/l) para la DQO, 75% en sólidos suspendidos, 100% de sólidos sedimentables, 83% para coliformes totales y E. coli. Con estos porcentajes de remoción y los valores de cada parámetro a la salida de la PTAR que se observan en el Gráfico 5-7.

Aunque la PTAR Macas prácticamente ha empezado con su funcionamiento ya presenta remoción en algunos de los parámetros analizados. Esto se debe al proceso de depuración que realizan las estructuras, especialmente la fosa séptica. Esta remoción sería mayor si se hubiera conservado un volumen de lodos con un lecho bacteriano en funcionamiento lo cual es lo recomendado.

Balance de masas

Con el fin de verificar la carga contaminante que ingresa a la PTAR se elaboró un balance de masas utilizando las concentraciones típicas de agua residual recomendadas en la Tabla 4-2.

➤ DBO₅

Q1: Caudal de agua residual doméstica (0,0448l/s)

C1: Concentración típica de agua residual doméstica débil (100mg/l).

Q2: Caudal de infiltración (0,0800l/s).

C2: Concentración típica de una agua de infiltración débil (5mg/l).

QT: Caudal del afluente (0,1247l/s).

CT: Concentración del afluente (35mg/l).

$$Q_1 C_1 + Q_2 C_2 = Q_T C_T$$

$$0,0448 \text{ l/s} * 100 \text{ mg/l} + 0,0800 \text{ l/s} * 5 \text{ mg/l} = 0,1247 \text{ l/s} * 35 \text{ mg/l}$$

$$4,88 \text{ mg/s} \approx 4,37 \text{ mg/s}$$

Existe una diferencia del 10% entre los resultados totales por lo que se puede observar que las concentraciones teóricas proporcionadas al agua residual doméstica y al agua de infiltración son cercanas a las reales.

➤ DQO

Q1: Caudal de agua residual doméstica (0,0448l/s)

C1: Concentración típica de agua residual doméstica débil (250mg/l).

Q2: Caudal de infiltración (0,0800l/s).

C2: Concentración típica de una agua de infiltración débil (20mg/l).

QT: Caudal del afluente (0,1247l/s).

CT: Concentración del afluente (100mg/l).

$$Q_1 C_1 + Q_2 C_2 = Q_T C_T$$

$$0,0448 \text{ l/s} * 250 \text{ mg/l} + 0,0800 \text{ l/s} * 20 \text{ mg/l} = 0,1247 \text{ l/s} * 100 \text{ mg/l}$$

$$12,82 \text{ mg/s} \approx 12,47 \text{ mg/s}$$

Se presenta una diferencia del 3% entre los resultados obtenidos por lo que observar que las concentraciones teóricas proporcionadas al agua residual doméstica y al agua de infiltración son semejantes a las reales.

5.1.4 Problemas encontrados en la PTAR Macas

Los problemas encontrados en la PTAR Macas son:

- Existen puntos de acceso de agua de precipitación a la red de alcantarillado, lo que implica un exceso de caudal de ingreso a la planta y esto tiene como consecuencia una menor eficiencia en el tratamiento debido a los factores de carga hidráulica. (ver ANEXO 3)
- La PTAR no dispone de un sistema de tratamiento preliminar que retenga materiales de gran tamaño como piedras pequeñas y papeles que son enviados por el sanitario. (ver ANEXO 3)

- El sistema no dispone de una estructura de vaciado de lodos y tampoco de un sistema de tratamiento de los mismos.

5.2 PTAR San Pedro

5.2.1 Evaluación de la Infraestructura de la PTAR

Para el acceso a la PTAR San Pedro existe una vía de 4m de ancho con una capa de rodadura de lastre, ésta es una ramificación de la vía que comunica la comunidad de San Pedro con la comunidad Santa Bárbara.

La PTAR está compuesta por un cerramiento de piedra y malla que rodea un área de 1224,8m². Ésta PTAR posee: un sistema preliminar (rejilla de entrada), un sistema primario (fosa séptica) y un sistema secundario (filtro anaerobio), para tratar los residuos provenientes de la fosa séptica existe un lecho de secado de lodos. Cada uno de las estructuras antes mencionadas se pueden apreciar en la Figura 5-5.



Figura 5-5 Infraestructura de la PTAR San Pedro
Elaboración: Autores

5.2.1.1 Funcionamiento

La PTAR inicia en el pozo P2, partir de este pozo existen tres posibles líneas de conducción que dependen de las estructuras que se encuentren activas o a su vez en mantenimiento, estas líneas se describen a continuación:

Línea de conducción 1: Este funcionamiento se produce cuando la PTAR se encuentra trabajando en condiciones normales, el flujo que llega al pozo P2 pasa por una tubería de 160mm hacia la cámara de la rejilla (CR) de 1,70 m de longitud. Luego pasa por la fosa séptica y a continuación a una cámara subterránea (CS) donde existe un bypass en caso de mantenimiento del filtro anaerobio, después de ingresar al filtro anaerobio sale por la parte superior del

mismo hacia el pozo P3 y luego hacia el pozo P4 para finalmente terminar en el pozo P9 y desembocar en la quebrada Yanaturo

Línea de conducción 2 (bypass 1): Se activa cuando se desea realizar mantenimiento a la fosa séptica o mantenimiento general. El agua proveniente del pozo P2 llega a la cámara de la rejilla y pasa al pozo P5 a través de un vertedero de 50cm de ancho, luego es conducida al pozo P6, después al pozo P8 y posteriormente al pozo P9 y finalmente desembocar en la quebrada Yanaturo.

Línea de conducción 3 (bypass 2): Esta línea de conducción se activa cuando se procede a dar mantenimiento al filtro anaerobio. El flujo lleva el mismo trayecto que la línea de conducción 1 hasta llegar a la cámara subterránea, donde mediante la apertura de una válvula el agua residual pasa al pozo P7, luego al pozo P8 y finalmente al pozo P9 para luego desembocar en la quebrada antes mencionada.

Los funcionamientos descritos anteriormente se pueden observar con mayor detalle en la Figura 5-6.

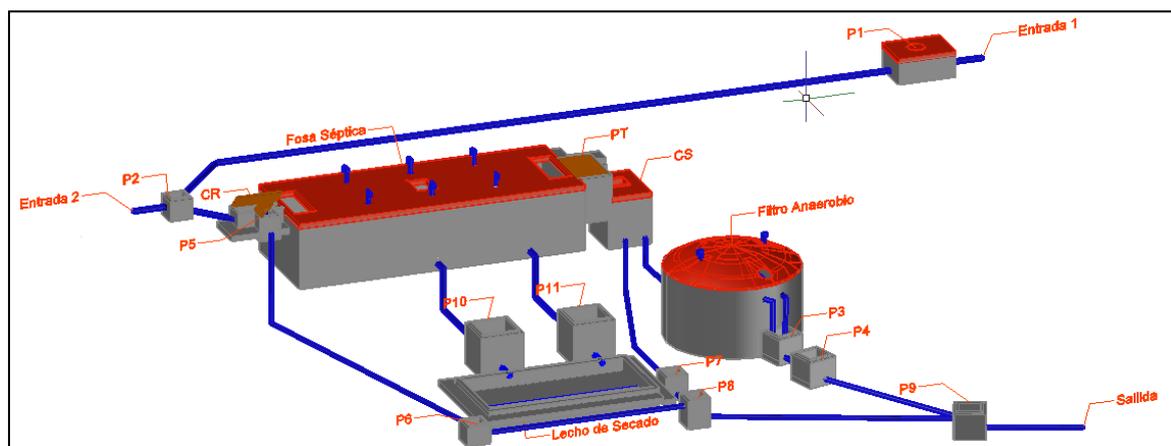


Figura 5-6 Esquema de funcionamiento PTAR San Pedro
Elaboración: Autores

5.2.1.2 Descripción de las Estructuras

POZOS

Todos los pozos presentan dimensiones exteriores de 90x90cm y dimensiones interiores de 60x60 con excepción de los pozos P3 y P4 cuyas dimensiones exteriores en interiores son 110X110 y 80x80 respectivamente.

CR: Cámara de la rejilla, conecta el pozo P2 con la fosa séptica.

P1: Pozo de ingreso de agua residual proveniente del suroeste del área de influencia.



P2: Pozo de conexión del agua residual proveniente del suroeste y noreste del área de influencia.

P3: Pozo de conexión del flujo del filtro anaerobio con el pozo P4.

P4: Pozo de paso que permite el cambio dirección del filtro anaerobio con el pozo P9

P5: Pozo de conexión de la cámara de la rejilla (CR) con el bypass de entrada hacia el pozo P6.

P6: Pozo de cambio de dirección del bypass de la cámara de la rejilla, conecta el pozo P5 con el pozo P7.

P7: Pozo de conexión del bypass de la cámara subterránea, además recibe el agua proveniente del lecho de secado de lodos.

P8: Pozo de conexión entre los pozos P6 y P7.

P9: Pozo de conexión entre los pozos P4 y P8, para dar paso a la descarga del agua tratada al efluente.

P10 y P11: Pozos donde se encuentran las válvulas para el paso de los lodos de la fosa hacia el lecho de secado.

PT: Pozo de transición de la fosa séptica hacia la cámara subterránea.

CS: Cámara subterránea donde se encuentran las válvulas para dirigir el flujo hacia el filtro anaerobio o hacia el pozo P7.

Cámara de la rejilla (CR)

Esta estructura se encuentra a la entrada de la PTAR y constituye el tratamiento preliminar. Tiene 1,70m de largo, 0,6m de ancho y 0,55m de profundidad (dimensiones internas). Posee una estructura que hace las veces de un dissipador de energía, tiene una forma rectangular de 25X10X20cm con un agujero en la parte inferior de 10X5 cm. También tiene una rejilla de metal con barrotes de 2,5X50X0,3cm espaciados 4cm entre sí, la rejilla posee una inclinación aproximada de 36° con respecto a la horizontal.

Observaciones:

- El espaciamiento entre las barras de la rejilla se encuentra dentro de lo establecido en las consideraciones de diseño para retener partículas gruesas.
- La rejilla existente es de limpieza manual con una inclinación que cumple las consideraciones de diseño expuestas en el marco teórico.
- Se cumple que el ancho de la cámara de la rejilla es igual al ancho de la rejilla, y la longitud real de la cámara excede en 1.50m a la longitud teórica mínima (0,30m).
- La velocidad del flujo a través de la rejilla es de 1,7cm/s, lo que cumple con la consideración de diseño donde menciona que debe ser menor a 30cm/s.

- No se dispone de una estructura para la disposición de los materiales retenidos por la rejilla.

Además de las funciones mencionadas, la cámara de la rejilla posee un vertedero de 50cm de ancho a 20cm del fondo y dos tuberías de PVC de 110mm para desviar el flujo en caso de mantenimiento de la fosa séptica o si el caudal de ingreso supera el caudal de diseño. En la Figura 5-7 se presenta un esquema de esta estructura.

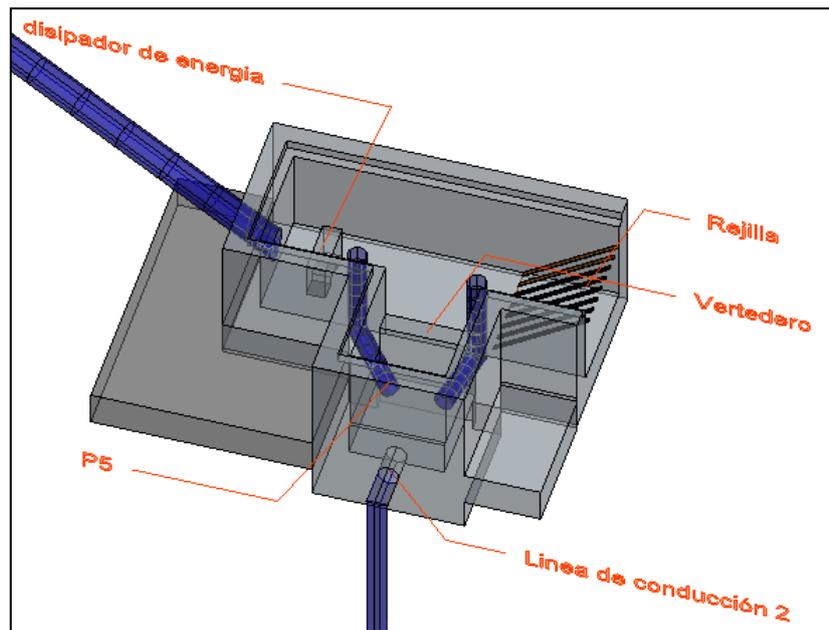


Figura 5-7 Esquema de la cámara de sedimentación PTAR San Pedro
Elaboración: Autores

Fosa séptica

La fosa séptica tiene dimensiones internas de 11,2m de largo, 3,9m de ancho y 2,3m de profundidad con paredes y cubierta de 0,2m de espesor. El agua ingresa por una tubería de $\varnothing 160\text{mm}$ a una altura de 1,9m medida desde el fondo de la fosa. La fosa está dividida en dos compartimentos separados por una pared de 10cm de espesor, el primer compartimento ocupa las dos terceras partes y cumple una función de sedimentador y trampa de grasas ya que retiene la mayoría de las partículas suspendidas en el agua y las natas producidas por el agua residual en reposo. El segundo compartimento complementa el proceso de sedimentación cuando el agua pasa a través de dos tuberías de $\varnothing 110\text{mm}$ a una altura de 1,7m para finalmente salir de la fosa séptica por una tubería de $\varnothing 110\text{mm}$ a una altura de 1,6m medida desde el fondo. Cada compartimento posee una tubería de 160mm en el fondo por medio de la cual se pueden extraer el exceso de lodos producidos y dar mantenimiento a la fosa séptica. El esquemas de la fosa séptica se puede apreciar con mayor detalle en la Figura 5-8.

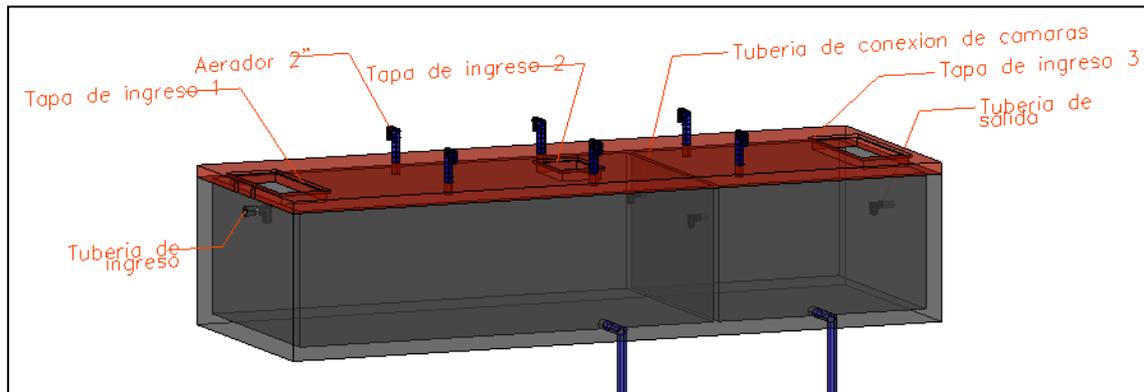


Figura 5-8 Esquema de la fosa séptica PTAR San Pedro
Elaboración: Autores

Observaciones

- Las tuberías de entrada, conexión de las estructuras y salida no son las recomendadas, es decir, la planta contiene codos a 90° en lugar de deflectores.
- Las tapas de acceso son muy pesadas, lo que implica que para realizar un mantenimiento se necesita un mínimo de 3 personas.

Pozo de transición (PT)

Es una estructura de 1,15m de longitud, 2,05 de ancho y 1,60m de profundidad que está ubicada a continuación de la fosa séptica. El agua ingresa por una tubería de \varnothing 110mm a una altura de 0,70m del fondo y sale por una tubería de PVC de \varnothing 110mm hacia una cámara subterránea.

Observaciones

- Esta estructura no está debidamente cubierta y permite el ingreso de hojas de eucalipto en la tubería que conduce el agua hacia el filtro anaerobio.

Cámara subterránea (CS)

Esta estructura de sección transversal 1,65X1,45m y 1,80m de profundidad tiene una tapa de acceso de 68X68cm y en el interior cuenta con una tubería de 110mm que se bifurca en dos líneas de conducción que llevan hacia el filtro anaerobio y el pozo P7, cada bifurcación posee una válvula de paso para dirigir el flujo hacia donde se desee. (Ver Figura 5-9)

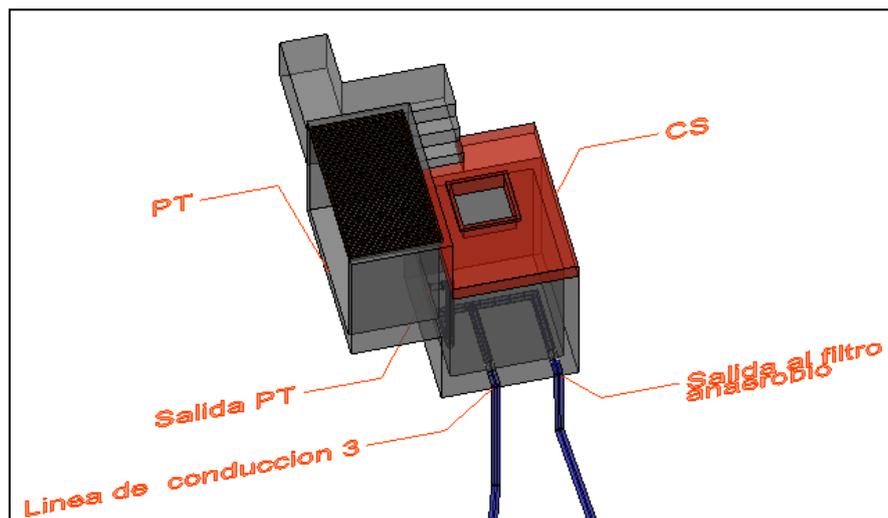


Figura 5-9 Esquema del pozo de transición (PT) y cámara subterránea (CS) PTAR San Pedro
Elaboración: Autores

Lecho de secado de lodos

El lecho de secado tiene 6,60m de longitud, 3,30m de ancho y 0,8m de profundidad, está rodeado por un bordillo de 0,15m de espesor y una vereda de 0,65m. Los lodos ingresan por dos tuberías de 160mm que pasan por los pozos de paso P10 y P11 donde se encuentran las válvulas de apertura y cierre. Los lodos provenientes de la fosa se depositan en este lecho con la finalidad de que el agua que contienen estos escurra por el filtro y pase mediante una tubería de 100mm al pozo P7 y posteriormente se descargue en el cuerpo receptor. El Lecho filtrante se puede apreciar con más detalle en la Figura 5-10.

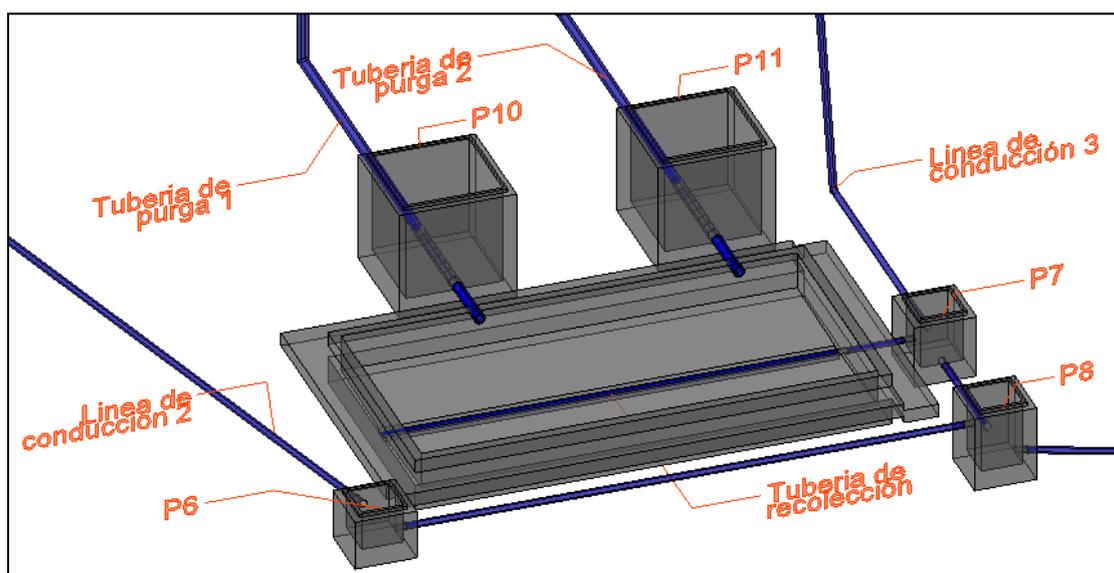


Figura 5-10 Esquema del lecho de secado de lodos PTAR San Pedro
Elaboración: Autores

Filtro anaerobio

El filtro anaerobio es de forma cilíndrica con un diámetro de 5m, una altura de 2,65m y una pared de 0,15m de espesor; está cubierto por una cúpula de 0,70m de alto y 0,10m de espesor. El agua ingresa a través de una tubería perforada de 100mm a lo largo del diámetro de la estructura y asciende por el lecho filtrante de piedra y grava triturada hasta una altura de 2,50m en donde ingresa por dos tuberías perforadas de 100mm y es conducida hacia el pozo P3 y posteriormente al P4. En el pozo P3 se localiza una válvula mediante la cual se permite que el agua ascienda por el lecho filtrante o pase directamente por la tubería hacia el pozo 4. Ver el esquemas de la estructura en la Figura 5-11.

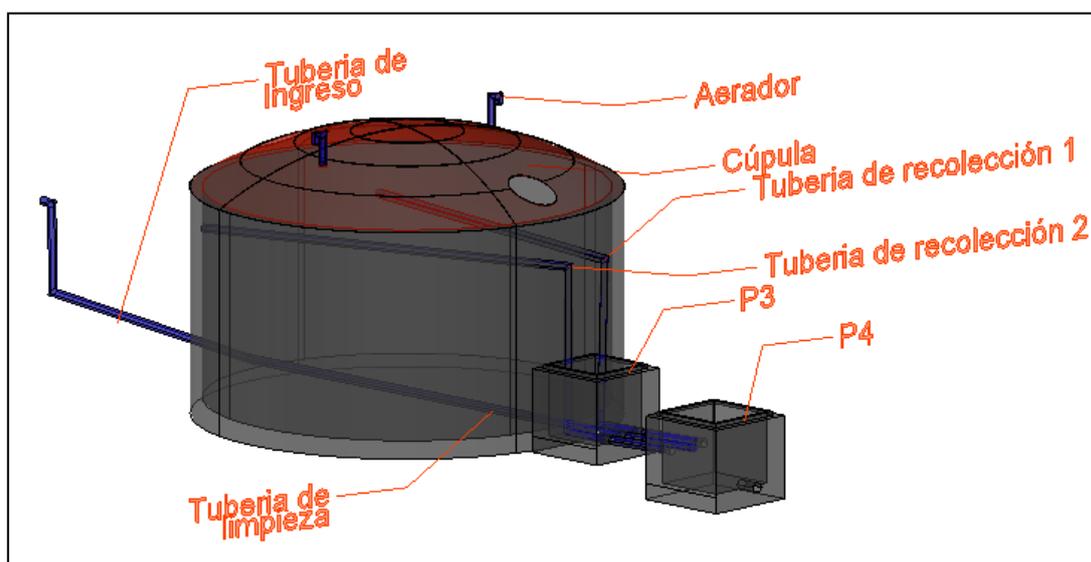


Figura 5-11 Esquema del filtro anaerobio PTAR San Pedro
Elaboración: Autores

Observaciones

- El lecho filtrante ocupa el 70% de la profundidad del tanque y está dentro de las consideraciones para un buen desempeño, ya que el requerimiento tiene un rango entre el 50% y 70%.
- La velocidad de ascenso (0,32m/h) cumple con lo recomendado para evitar un arrastre de la biomasa.

5.2.2 Obtención de Variables Necesarias para el Funcionamiento de la PTAR

Debido a que no se dispone de información correspondiente a los parámetros de diseño de la planta, se optó por estimar el caudal teórico mediante la encuesta sanitaria aplicada a las personas beneficiadas por la planta en



mención y el caudal real que ingresa a la planta a través de aforos cada hora por un período de 24 horas.

5.2.2.1 Caudal Teórico

La encuesta sanitaria mostró una acentuada tendencia de todos los usuarios que poseen el servicio de alcantarillado y es que tienen conectado a la red solo las aguas que provienen del servicio higiénico. Esto es debido a que al momento de adquirir el derecho de alcantarillado existió una advertencia por parte de la empresa ETAPA de que no se pueden conectar a la red ningún otro elemento que no sea servicio higiénico.

Por lo tanto el caudal que llega a la planta de tratamiento en forma teórica es:

- Caudal producido al utilizar los servicios higiénicos
- Caudal de infiltración

Caudal producido al utilizar los servicios higiénicos (Qsh)

El avance de la tecnología ha permitido que los retretes sean más ecológicos y disminuyan considerablemente el volumen requerido para una descarga. Pero en el caso de San Pedro las viviendas no cuentan con inodoros de última tecnología y consumen más agua, además de que a medida que un inodoro tiene más años de uso mayor es su consumo de agua por concepto de fugas. La Secretaria de Medio Ambiente y Recursos Naturales menciona que los inodoros con más de 10 años de antigüedad tienen depósitos grandes que consumen de 11 a 20 litros de agua por descarga. Por lo que, considerando el estado de las viviendas y sobre todo la antigüedad de las mismas y por ende el de sus inodoros observados en la encuesta, el valor promedio por descarga es de 14 litros de agua.

Según la encuesta aplicada, la población tiene el hábito de recurrir al servicio higiénico un promedio de 2 veces al día, lo que nos da un consumo de 28 litros de agua por persona al día, valor que está dentro de los límites expuesto por la CEPIS la misma que sugiere entre 10-30 litros/hab*día en lo que a demanda de agua para utilizar en el inodoro se refiere.

Por lo expuesto, el caudal teórico producido en los domicilios y que llega al alcantarillado sanitario es:

$$Q_{sh} = 28 \frac{\text{litros}}{\text{habitante} * \text{día}} * 195 \text{ habitantes}$$

$$Q_{sh} = 28 \frac{\text{litros}}{\text{habitante} * \text{día}} * 195 \text{ habitantes} * \frac{1 \text{ día}}{86400 \text{ seg}}$$

$$Q_{sh} = 0,0632 \text{ l/s}$$

Por lo tanto el caudal teórico que ingresa a la PTAR es:

$$Q_{dAR} = Q_{sh} \quad \text{Ec. 19}$$

$$Q_{dAR} = 0,0632 \text{ l/s}$$

5.2.2.2 Caudal Real

El caudal real que ingresa a la planta se obtuvo mediante un aforo utilizando el método volumétrico, ya que las condiciones de la planta no ameritaban emplear otro método. Cabe recalcar que se realizó dos mediciones de caudal cada hora y se procedió a promediar para obtener el valor del caudal medio diario. Ver Tabla 5-14

Hora	Volumen (l)	Tiempo (s)	Q (l/s)
0	2	38.2	0.052
1	2	37.0	0.054
2	2	37.7	0.053
3	2	37.2	0.054
4	2	38.5	0.052
5	2	38.8	0.052
6	2	18.8	0.106
7	2	11.2	0.179
8	2	12.5	0.160
9	2	15.0	0.133
10	2	14.6	0.137
11	2	5.7	0.351
12	2	6.0	0.333
13	2	12.8	0.156
14	2	16.0	0.125
15	2	19.2	0.104
16	2	13.9	0.144
17	2	17.3	0.116
18	2	25.8	0.078
19	2	21.0	0.095
20	2	18.7	0.107
21	2	25.2	0.079
22	2	31.0	0.065
23	2	35.0	0.057

Tabla 5-14 Parámetros obtenidos para el cálculo del caudal de la PTAR San Pedro
Elaboración: Autores

Los valores de caudal máximo horario, caudal mínimo horario y el caudal medio diario se presenta en la siguiente tabla:

CAUDALES	UNIDAD (l/s)
Caudal Máximo	0,351
Caudal Medio	0,118
Caudal Mínimo	0,052

Tabla 5-15 Caudal máximo, medio y mínimo de la PTAR San Pedro
Elaboración: Autores

La variación del caudal a lo largo del día que ingresa a la planta al igual que el caudal máximo, medio y mínimo se pueden ver en el Gráfico 5-8:

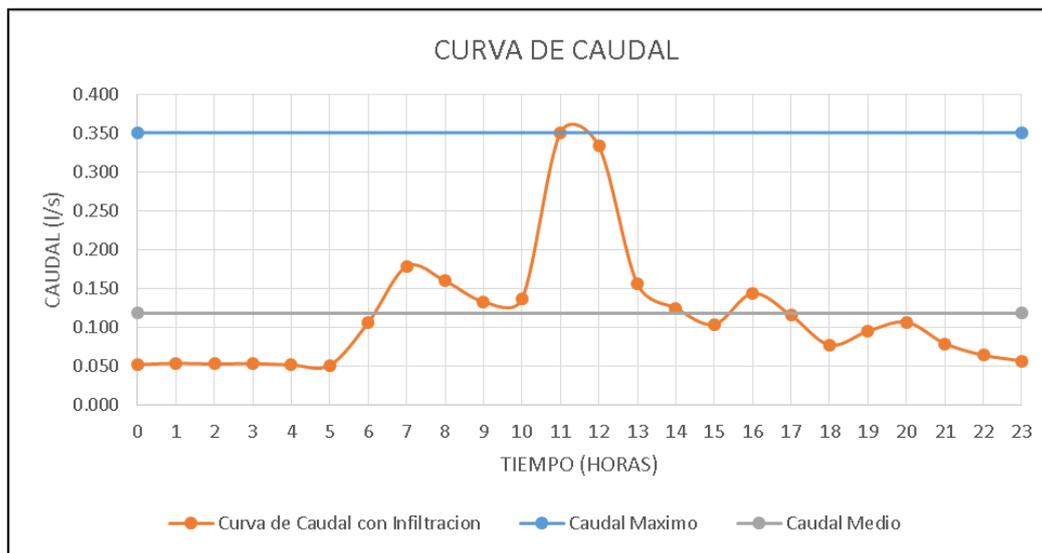


Gráfico 5-8 Curva de caudal, caudal máximo y caudal medio de la PTAR San Pedro considerando infiltración. Elaboración: Autores

Se puede ver claramente en la gráfica que se generan tres picos con valores mayores al caudal medio diario, estos se producen a las 07:00, 11:00 y 16:00 y a su vez representan la hora de mayor producción de agua residual y más específicamente agua proveniente de los servicios higiénicos. El pico generado a las 20:00 horas es de magnitud inferior a los anteriores debido a que el 38% de las viviendas conectadas a la PTAR ya no dispone de servicio de agua potable a partir de las 18:00 horas.

Caudal de infiltración

El caudal de infiltración teórico se calculó en función de varios parámetros, como se observa en la Tabla 5-16.

	En función de:			
	Área (ha)	Long y diámetro tubería (mm-km)	Área drenada (ha)	Mat. Tubería PVC (m ³ /ha/día)
	66,2	780	0,153	10
Autor	Ex IEOS	Metcalf & Eddy 1995		Mara 2003
Qi (l/s)	9,259	0,090	0,153	7,662

Tabla 5-16 Caudal de infiltración teórico. Elaboración: Autores

Para estimar el valor del caudal de infiltración real, el mismo que está inmiscuido dentro de la curva de caudal obtenida (ver Gráfico 5-8), se procedió a tomar el valor en el que el caudal tiende a estabilizarse, sobreentendiéndose

que a esas horas el consumo doméstico es nulo, el mismo que se da a partir de las 23:00 horas hasta las 05:00 horas.

Hora	Volumen (l)	Tiempo (s)	Q (l/s)
23:00	2	35,0	0,057
0:00	2	38,2	0,052
1:00	2	37,0	0,054
2:00	2	37,7	0,053
3:00	2	37,2	0,053
4:00	2	38,5	0,051
5:00	2	38,8	0,051
Qi			0,051

Tabla 5-17 Calculo del caudal de infiltración
Elaboración: Autores

En conclusión, la PTAR San Pedro tiene un caudal de infiltración de 0.096l/s/km que se debe al clima semi-húmedo de la zona.

Caudal producido al utilizar los servicios higiénicos

En la siguiente gráfica se observa la curva de caudal producido en los domicilios por los servicios higiénicos, sin considerar el caudal de infiltración.

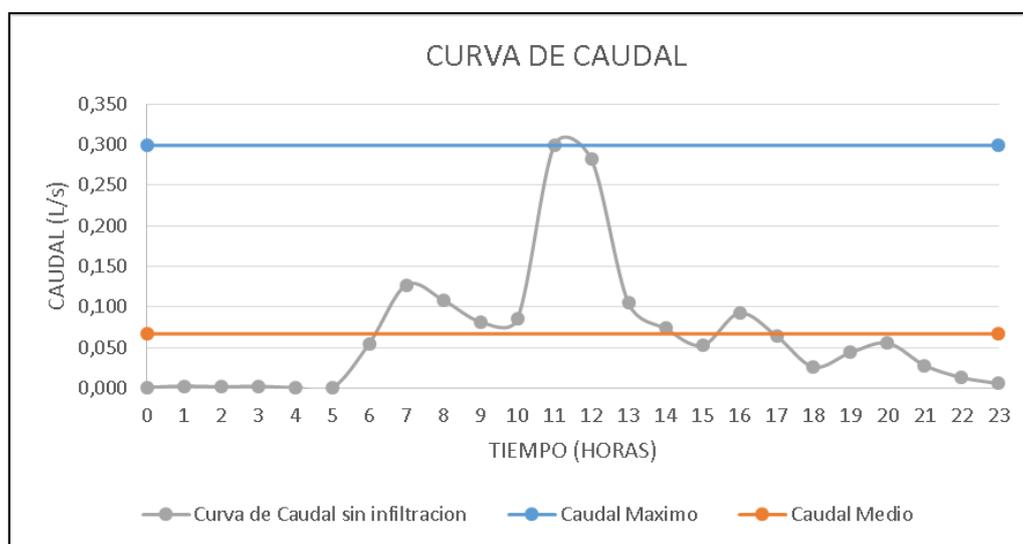


Gráfico 5-9 Curva de caudal, caudal máximo y caudal medio de la PTAR San Pedro sin considerar infiltración.
Elaboración: Autores

En la presenta tabla se muestra los valores del caudal máximo horario y el medio diario sin considerar el aporte de aguas de infiltración.

CAUDALES	UNIDAD (l/s)
Caudal Máximo	0,299
Caudal Medio	0,067

Tabla 5-18 Caudal máximo y medio sin considerar infiltración
Elaboración: Autores



El caudal de agua residual teórico (0,0632 l/s) difiere en un 5% del caudal real (0,067 l/s).

En conclusión, el agua que ingresa a la PTAR San Pedro está conformada de la siguiente manera:

- El 56% (5,777m³/día) es agua que proviene del uso doméstico de las 40 viviendas.
- El 44% (4,454m³/día) es agua de infiltración que ingresa a la red.

TIPO	VOLUMEN		%
	l/s	m3/día	
Agua Residual Domestica	0,067	5,777	56
Agua de Infiltración	0,052	4,454	44
Total	0,118	10,231	100

Tabla 5-19 Distribución del caudal que ingresa a la PTAR San Pedro

Elaboración: Autores

5.2.3 Evaluación del Sistema de Tratamiento de la PTAR

Luego de conocer las horas de mayor producción de agua residual, se procedió a realizar un muestreo en los tres picos, en cada pico el muestreo se realizó en tres lugares estratégicos mencionados en la sección 4.4.2.

Las muestras se analizaron en el laboratorio de Sanitaria de la Universidad de Cuenca y se presentan los resultados en el ANEXO 4.

Entrada de la planta

Los valores de los parámetros obtenidos en los tres picos se presentan en la Tabla 5-20.

Parámetros	Unidad	7:00 am	11:00 am	4:00 pm
Cloruros	mg/l	260	46,4	39,5
N. Nitratos	mg/l	0,453	0,637	0,485
N. Amoniacal	mg/l	95,09	26,2	25,8
Fosforo Reactivo	mg/l	50	23,5	8,2
DBO5	mg/l	990	285	68,5
DQO	mg/l	1832,64	720	140
S. Suspendidos	mg/l	198	119	35
S. Sedimentable	ml/l	16	10	0
Solidos Totales	mg/l	2281	617	339
Coliformes Totales	NPM/100ml	4,00E+10	1,10E+09	1,20E+08
E. Coli	NPM/100ml	1,70E+09	1,10E+09	6,30E+07
PH		9,22	8,28	8,23
Alcalinidad total	mg/l, CaCO3	806	251,2	209

Tabla 5-20 Valores obtenidos en el primer muestreo a la entrada de la PTAR San Pedro

Elaboración: Autores

Salida de la fosa séptica

Los valores de los parámetros obtenidos en los tres picos se presentan en la Tabla 5-21.

Parámetros	Unidad	7:00 am	11:00 am	4:00 pm
Cloruros	mg/l	69,6	65,3	59,1
N. Nitratos	mg/l	0,187	0,205	0,156
N. Amoniacal	mg/l	67,83	65,83	58,52
Fosforo Reactivo	mg/l	13	12,9	13,2
DBO5	mg/l	46	44,25	48
DQO	mg/l	131,47	354,6	108
S. Suspendidos	mg/l	73	37	19
S. Sedimentable	ml/l	0,6	0,6	0
Sólidos Totales	mg/l	428	377	351
Coliformes Totales	NPM/100ml	6,10E+07	8,10E+06	1,70E+06
E. Coli	NPM/100ml	2,00E+06	5,00E+04	9,30E+05
PH		7,53	7,44	7,6
Alcalinidad total	mg/l, CaCO3	402,2	402,8	408,4

Tabla 5-21 Valores obtenidos en el primer muestreo a la salida de la fosa séptica.
Elaboración: Autores

Salida de la planta

Los valores de los parámetros obtenidos en los tres picos se presentan en la Tabla 5-22.

Parámetro	Unidad	7:00 AM	11:00 AM	4:00 PM
Cloruros	mg/l	71,4	62,5	63,6
N. Nitratos	mg/l	0,18	0,191	0,225
N. Amoniacal	mg/l	77,14	30,59	3,24
Fosforo Reactivo	mg/l	13,4	13,9	14,4
DBO5	mg/l	16	18	22
DQO	mg/l	83,66	84	80
S. Suspendidos	mg/l	27	28	9
S. Sedimentable	ml/l	0	0	0
Sólidos Totales	mg/l	380	367	94
Coliformes Totales	NPM/100ml	6,10E+07	6,10E+06	1,10E+06
E. Coli	NPM/100ml	4,00E+06	2,00E+05	3,30E+05
PH		7,95	7,88	8,01
Alcalinidad total	mg/l, CaCO3	481,2	472,6	494,6

Tabla 5-22 Valores obtenidos en el primer muestreo a la salida de la PTAR
Elaboración: Autores

Al analizar el filtro anaerobio se puede ver que existe una reducción en cuanto al contenido de materia orgánica, que en este caso está medido con la DBO₅.

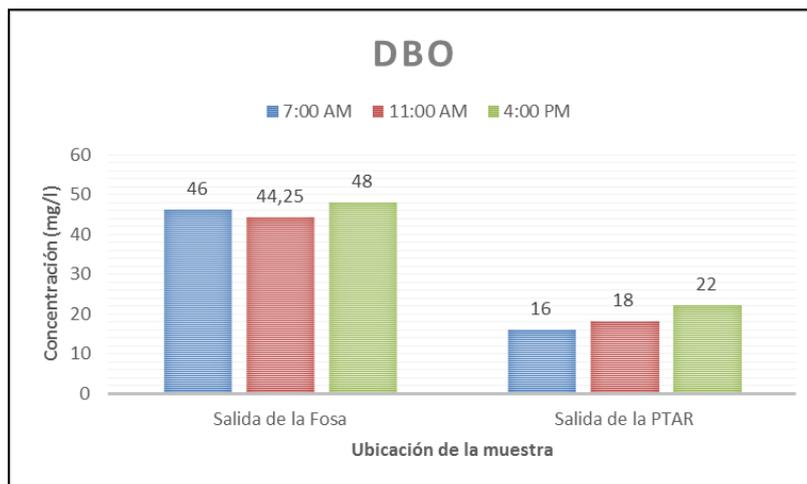


Gráfico 5-10 DBO medida en los picos de caudal en los tres puntos de muestreo
Elaboración: Autores

También se puede observar que los valores de las Tabla 5-21 correspondiente a la salida de la fosa séptica en comparación con la Tabla 5-22 que corresponde a la salida de la planta presentan una reducción en la concentración de los parámetros analizados.

A continuación se presenta los resultados obtenidos en el segundo muestreo en el cual se realizó un seguimiento a la muestra de las 07:00 horas. Para este seguimiento realizado, se procedió a calcular el tiempo de retención teórico de la fosa séptica, así como también el tiempo de retención teórico del filtro anaerobio.

Cálculo del tiempo de retención de la fosa séptica

Para obtener el tiempo de retención, se procedió a dividir en cuatro partes el volumen total de la fosa séptica y según la sección 2.2.3.2.5 se obtuvo los siguientes volúmenes:

VOLUMEN	UNIDADES (m ³)
Vs	30,4
Vd	11,0
V _l	19,5
Vn	12,0
V total	72,9

Tabla 5-23 Distribución de los volúmenes de la fosa séptica
Elaboración: Autores

➤ **Volumen de digestión y almacenamiento de lodos (Vd):**

El tiempo de remoción de lodos fue proporcionado por los técnicos de ETAPA EP y es de 1 año.

➤ **Volumen de lodo producido (V_l):**



De acuerdo al clima de la comunidad y debido a que no existe aporte de aguas provenientes de los fregaderos de cocina, la CEPIS recomienda un volumen de lodos de 50 L/hab*año.

➤ **Volumen de natas (Vn):**

Para el volumen de natas se observó el espesor de la capa de natas que es de aproximadamente 30 cm, el mismo que se observó que es uniforme a lo largo de toda la sección de la fosa.

Por lo tanto, el tiempo de retención está en función únicamente del volumen requerido para la digestión y almacenamiento de lodos (Vd) y se calculó con la Ec. 16, obteniendo lo siguiente:

$$T = 25,8 \text{ horas}$$

Cálculo del tiempo de retención del filtro anaerobio

Para el cálculo del tiempo de retención del filtro anaerobio se observó que el lecho filtrante ocupa el 70% y el 30% restante ocupa el agua residual, obteniéndose lo siguiente:

DIMENSIONES	VALOR	UNIDADES	DESCRIPCIÓN
D	5	m	Diámetro del filtro
h	2,5	m	Altura a la que llega el agua residual
% MATERIAL	70	%	% que ocupa el lecho filtrante
Volumen total	49,087	m ³	Volumen total utilizado
Volumen LF	34,361	m ³	Volumen ocupado por el lecho filtrante
Volumen AR	14,726	m ³	Volumen ocupado por el agua residual

Tabla 5-24 Cálculo del volumen ocupado por el agua residual en el filtro anaerobio

Elaboración: Autores

Utilizando la Ec. 16 se obtuvo que el tiempo de retención es:

$$T = 34,5 \text{ horas}$$

Los resultados obtenidos en el segundo muestreo, donde se consideró el tiempo de retención teórico de cada estructura se presentan en la Tabla 5-25.



Parámetros	Unidad	Ubicación de la muestra			Máximo Permitido (Tulas)	Observ.
		Entrada PTAR	Salida Fosa	Salida PTAR		
Cloruros	mg/l	132,6	60,7	60,9	1000	Cumple
N. Nitratos	mg/l	0,618	0,391	0,195	10	Cumple
N. Amoniacal	mg/l	228,76	3,46	4	15	Cumple
Fosforo Reactivo	mg/l	0,91	0,95	0,53	64	Cumple
DBO5	mg/l	580	52	25,25	100	Cumple
DQO	mg/l	2038,4	160,72	113,68	250	Cumple
S. Suspendidos	mg/l	229	43	21	100	Cumple
Solidos Sedimentables	ml/l	15	0,1	0	1	Cumple
Solidos Totales	mg/l	1236	422	385	1600	Cumple
Coliformes Totales	NPM/100ml	1,6E+12	2,2E+07	2,8E+07	Remoción > al 99,9%	-
E. Coli	NPM/100ml	3,5E+11	2,2E+07	1,7E+07	Remoción > al 99,9%	-
PH		9,24	7,21	7,82	5-9	Cumple
Alcalinidad total	mg/l, CaCO3	503,6	388,4	396,4		

Tabla 5-25 Resultados del segundo muestreo en la PTAR San Pedro
Elaboración: Autores

El análisis de resultados a continuación es únicamente al filtro anaerobio con la finalidad de obtener una eficiencia por parte de esta estructura. No se realizó a la fosa séptica por el tipo de muestreo realizado.

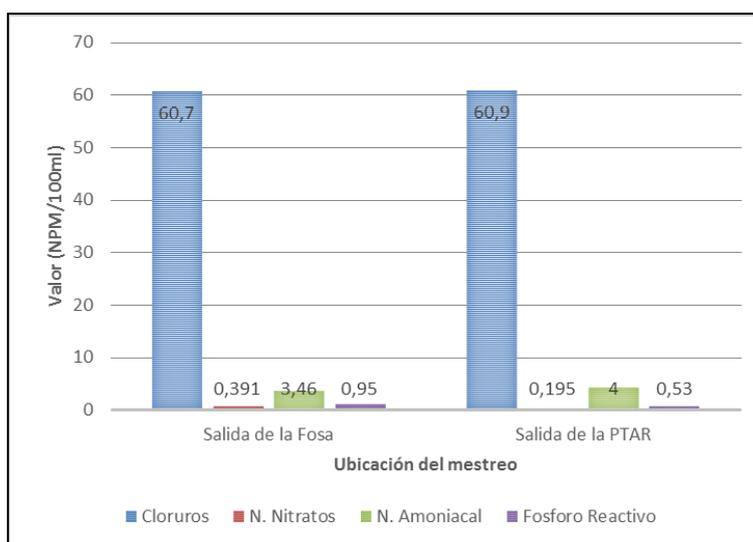


Gráfico 5-11 Resultados del segundo muestreo, PTAR San Pedro (1/4)
Elaboración: Autores

- En cuanto a cloruros se puede ver que no existe ninguna remoción, en los nitratos existe una reducción de 0,196mg/l que corresponde a una

eficiencia del 50% y en cuanto al fósforo reactivo se da una reducción de 0,042mg/l que corresponde a una eficiencia de 44%.

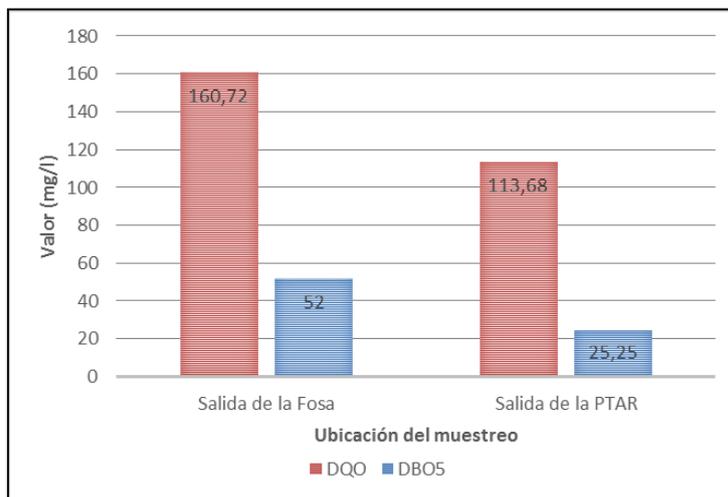


Gráfico 5-12 Resultados del segundo muestreo, PTAR San Pedro (2/4)
Elaboración: Autores

- En el Gráfico 5-12 se puede observar que la DQO presenta una reducción de 47,04mg/l que corresponde a una eficiencia de 29% y la DBO una disminución de 26,75mg/l representando un 51% de eficiencia.
- Los valores de la DBO y DQO del efluente son 25,25mg/l y 113,68mg/l respectivamente, los mismos que se encuentran dentro de los límites establecidos por el TULAS para el vertido de efluentes.
- Como se observa en la Tabla 5-26 y comparando con la Tabla 2-5, el agua residual que ingresa a la PTAR se encuentra en un rango de biodegradabilidad normal la cual la hace óptima para un tratamiento con lecho bacteriano.

Ubicación	Entrada PTAR
Relación DBO5/DQO	0,28

Tabla 5-26 Relación DBO5/DQO, Muestreo 2 - San Pedro
Elaboración: Autores

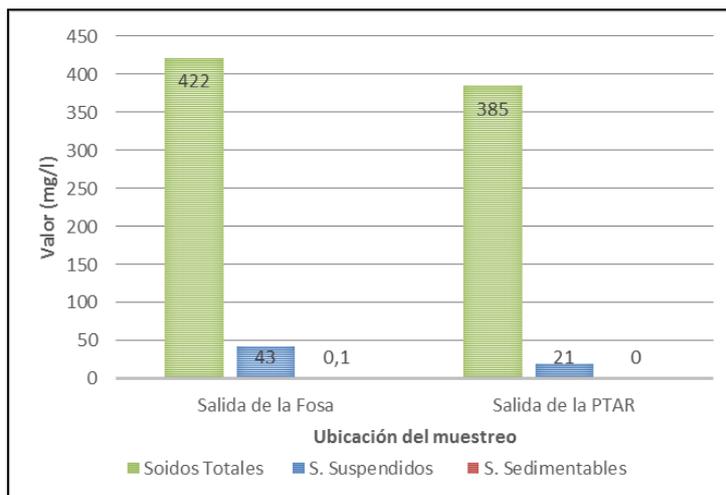


Gráfico 5-13 Resultados del segundo muestreo, PTAR San Pedro (3/4)
Elaboración: Autores

- En lo que se refiere a los sólidos, se puede observar en el Gráfico 5-13 que el agua residual se encuentra dentro del límite establecido por el TULAS. También se puede observar que se da una remoción de 37mg/l, con una eficiencia de 9%.
- En cuanto a los sólidos suspendidos y sólidos sedimentables, presentan una reducción de 22mg/l y 0,1mg/l correspondientes a un 51% y 100% respectivamente.

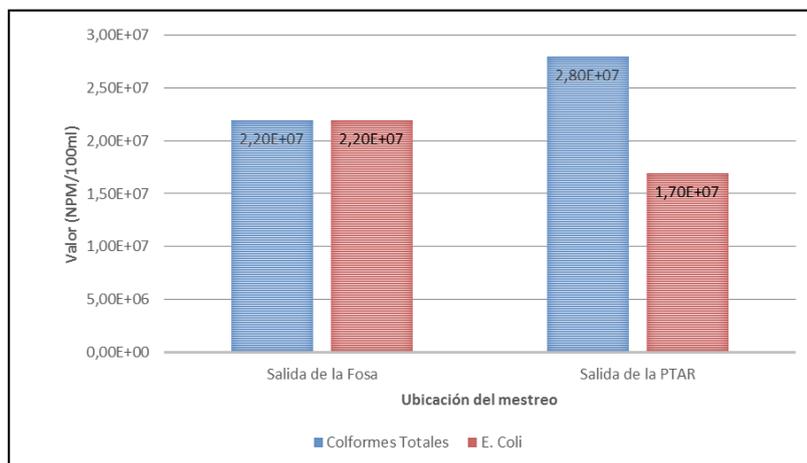


Gráfico 5-14 Resultados del segundo muestreo, PTAR San Pedro (4/4)
Elaboración: Autores

- Los coliformes totales no presentan ninguna remoción sino al contrario aumentan que es probable que sea por contacto con agua con una concentración más alta que ingreso al filtro antes. En cuanto al E. Coli si se da una reducción y es de 5E+06.

Balance de masas

Con el fin de verificar la carga contaminante que ingresa a la PTAR se elaboró un balance de masas utilizando las concentraciones típicas de agua residual mostradas en la Tabla 4-2.

➤ DBO₅

Q1: Caudal de agua residual doméstica (0,067l/s)

C1: Concentración típica de agua residual doméstica fuerte (400mg/l).

Q2: Caudal de infiltración (0,051l/s).

C2: Concentración típica de una agua de infiltración débil (5mg/l).

QT: Caudal del afluente (0,118l/s).

CT: Concentración del afluente (580mg/l).

$$Q_1 C_1 + Q_2 C_2 = Q_T C_T$$

$$0,067 \text{ l/s} * 400 \text{ mg/l} + 0,051 \text{ l/s} * 5 \text{ mg/l} = 0,118 \text{ l/s} * 580 \text{ mg/l}$$

$$27,00 \text{ mg/s} \neq 68,68 \text{ mg/s}$$

Este balance produce una diferencia del 60% y se debe principalmente a que la concentración asumida para el agua residual corresponde a una agua residual domestica típica de concentración fuerte, pero el agua residual domestica que ingresa a la planta proviene únicamente de los servicios higiénicos razón por la cual la concentración es ser superior a los 400mg/l.

Con una concentración de 1000 mg/l para el agua que proviene del servicio higiénico tenemos:

$$0,067 \text{ l/s} * 1000 \text{ mg/l} + 0,051 \text{ l/s} * 5 \text{ mg/l} = 0,118 \text{ l/s} * 580 \text{ mg/l}$$

$$67,12 \text{ mg/s} \approx 68,68 \text{ mg/s}$$

Por lo tanto la concentración del agua residual doméstica para la comunidad de San Pedro es aproximadamente de 1000mg/l y la concentración para el agua de infiltración es de 5mg/l.

➤ DQO

Q1: Caudal de agua residual doméstica (0,067l/s)

C1: Concentración típica de agua residual doméstica fuerte (1000mg/l).

Q2: Caudal de infiltración (0,051l/s).

C2: Concentración típica de una agua de infiltración débil (20mg/l).

QT: Caudal del afluente (0,118l/s).

CT: Concentración del afluente (2038,4mg/l).

$$Q_1 C_1 + Q_2 C_2 = Q_T C_T$$

$$0,067 \text{ l/s} * 1000 \text{ mg/l} + 0,051 \text{ l/s} * 20 \text{ mg/l} = 0,118 \text{ l/s} * 2038,4 \text{ mg/l}$$

$$67,89 \text{ mg/s} \neq 241,37 \text{ mg/s}$$

De igual manera existe una diferencia del 71% debido a la razón anteriormente expuesta.

Con una concentración de 3500 mg/l para el agua que proviene del servicio higiénico tenemos:

$$0,067 \text{ l/s} * 3500 \text{ mg/l} + 0,051 \text{ l/s} * 20 \text{ mg/l} = 0,118 \text{ l/s} * 2038,4 \text{ mg/l}$$

$$234,02 \text{ mg/s} \approx 241,37 \text{ mg/s}$$

Por lo tanto la concentración del agua residual doméstica para la comunidad de San Pedro es aproximadamente de 3500mg/l y la concentración para el agua de infiltración es de 20mg/l.

5.2.4 Problemas encontrados en la PTAR San Pedro

En la PTAR San Pedro se encontraron los siguientes problemas:

- El lugar en donde se encuentra emplazada la planta hace difícil el acceso para vehículos de limpieza como el hidrocleaner.
- En el pozo P2 se queda retenida una gran cantidad de materia orgánica. (Ver ANEXO 5)
- A pesar que existen rejillas que cubren la cámara de la rejilla, hay una gran cantidad de hojas que caen y no permiten un normal funcionamiento de la rejilla. (Ver ANEXO 5)
- El lecho de secado de lodos se encuentra cubierto por vegetación, la misma que no permite realizar un correcto tratamiento de los lodos provenientes de la fosa séptica. (Ver ANEXO 5)

6 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

PTAR Macas

A pesar que la planta en mención tenía solo 5 días de funcionamiento al momento de realizar el muestreo para el análisis de resultados, se observa que existe una pequeña disminución en la concentración de los parámetros analizados. Esta remoción pudo haber sido mayor si se hubieran considerado las recomendaciones para el arranque tanto de la fosa séptica como del filtro anaerobio. También contribuye el hecho de que el agua que ingresa a la planta presenta una carga orgánica muy baja ya que es altamente diluida, razón por la cual se dificulta la depuración.

Como ya se mencionó, el sistema de tratamiento empleado presenta remoción en los parámetros más importantes como DBO, DQO y coliformes; pero la remoción de este último parámetro no es la suficiente para cumplir las normas de vertido, por lo que el efluente de la planta al ser descargado sobre un cuerpo de agua tan pequeño como el río Pillachiquir implica una gran contaminación del mismo para la población que se encuentra río abajo.

La fosa séptica presenta una remoción considerable en cuanto a los sólidos sedimentables y suspendidos, debido a que se generan tiempos de sedimentación altos como consecuencia del caudal bajo que entra en la PTAR. Este panorama cambia radicalmente cuando existe precipitación, ya que esta planta no dispone de aliviadero de aguas lluvias lo que implica el ingreso de una mayor carga hidráulica y por ende una reducción en el tiempo de reducción y en la efectividad del proceso de sedimentación.

El ingreso de un caudal extra por parte de las precipitaciones es un problema muy notorio en esta planta, ya que si éste ocasiona que la velocidad de ascenso del flujo en el filtro anaerobio supere los 0,4m/hora traerá como consecuencia un arrastre de la biomasa y una disminución en la efectividad del tratamiento.

Recomendaciones:

Se recomienda a la empresa ETAPA EP que se realice una revisión de la red de alcantarillado en busca de puntos de acceso de agua de infiltración, ya que el 65% del caudal que ingresa a la planta corresponde a esta agua.

Las tuberías de ingreso, conexión y salida de la planta no cumplen con las especificaciones y por ello imposibilitan un mantenimiento, generando una mayor probabilidad de obstrucciones y taponamientos.



Se recomienda a la empresa ETAPA EP que realicen una prueba de trazadores en el filtro anaerobio de esta PTAR con el fin de obtener un tiempo de retención hidráulico real y así poder establecer la eficiencia real del mismo.

Según lo observado en el filtro anaerobio, se recomienda una remodelación del filtro con el fin de establecer un régimen de flujo ya sea ascendente o longitudinal para aprovechar el 100% del lecho bacteriano.

Se requiere de un plan de mantenimiento, el mismo que debe ser ejecutado a cabalidad para mantener una eficiencia.

Por lo observado al momento de realizar la rehabilitación a la planta, se sugiere que la empresa encargada de lo mismo, capacite a sus operadores para así evitar arranques defectuosos de la planta.

Es de gran importancia la construcción de un sistema de tratamiento preliminar que permita retener sólidos y residuos que interfieran con el tratamiento posterior.

PTAR San Pedro

La ubicación en la que se encuentra emplazada la planta no es la óptima porque no permite el ingreso de vehículos para mantenimiento y limpieza, siendo posible un mantenimiento realizado por operadores en forma manual.

Aproximadamente la cuarta parte de la población que se encuentra en el área de influencia de la PTAR no se encuentran conectados al sistema de alcantarillado, por lo que la cobertura para el tratamiento del agua residual es incompleta, esto conlleva a que el agua residual se trate en pozos sépticos e incluso sea vertida al aire libre con una posible afección de la salud de los moradores de la comunidad.

A pesar de que los muestreos elaborados en esta planta no son los adecuados para proporcionar una eficiencia del sistema, se puede apreciar que los valores del análisis del efluente cumplen a excepción de Coliformes con la norma de vertido de aguas.

Existe un total cumplimiento por parte de los usuarios con respecto a la exigencia de ETAPA de conectar al sistema de alcantarillado solo los servicios higiénicos.

A pesar de lo mencionado en el punto anterior, se observa que el agua residual proveniente de los domicilios solamente constituye el 56% del caudal de ingreso a la planta, dejando el porcentaje restante al agua de infiltración lo que trae consigo una dilución del agua y por ende una disminución en la efectividad del tratamiento.



Recomendaciones:

Se recomienda a ETAPA que se realice una revisión y mantenimiento de la red de alcantarillado para detectar puntos de infiltración evitar la alta influencia de esta agua.

Se debe realizar una limpieza general de la vegetación que se encuentra alrededor de las estructuras, ya que la maleza presenta una gran altura.

Dar un mejor tratamiento a los sólidos extraídos de la cámara de la rejilla, ya que estos son depositados junto a la estructura y no se procede a enterrarlos o incinerarlos.

Limpiar el lecho de secado de lodos que se encuentra cubierto por hierba, con el fin de realizar un óptimo tratamiento de los lodos provenientes de la fosa.



7 BIBLIOGRAFÍA

Alfonso Neira, 2003. *Evaluación de los Sistemas Urbanomarginales y Rurales de Tratamiento de Aguas Residuales del Cantón Cuenca*, Cuenca: s.n.

Alvarado, A., 2011. *Evaluación de Materiales de Desechos como Medio Filtrante en Filtros Anaerobios de Flujo Ascendente*, Cartago - Costa Rica: s.n.

Arboleda Rodríguez, A. B., 2012. *Diseño del Sistema de Alcantarillado Sanitario y Tratamiento de Aguas Residuales de Pijal, Cantón Otavalo, Provincia del Imbabura*, Quito: s.n.

Babbitt, H., 1962. *Alcantarillado y Tratamiento de Aguas Negras*. Mexico D.F: Compañía Editorial Continental S.A..

CEPIS & OPS, 2005. *Guías para el Diseño de Tecnologías de Alcantarillado*, Lima: s.n.

Chernicharo, C., 2007. *Anaerobic Reactors*. Minas: IWA Publishing.

Cisterna Osorio, P., 2010. *Determinación de la relación DQO/DBO5 en aguas residuales de comunas con población menor a 25000 habitantes*, Santa María: s.n.

Dirección de Agua Potable y Saneamiento Básico, 2000. *Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico*, Bogotá: s.n.

Dominguez Morera, K., 2009. *Evaluación del Funcionamiento de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales del Aeropuerto Internacional Matecaña*, Pereira: s.n.

GAD Municipal de Cuenca, 2013. *Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial de la Parroquia Quingeo*, Cuenca: s.n.

INEN, 1997. *Código de Práctica para el diseño de Sistemas de Abastecimiento de Agua Potable, Disposición de Excretas y Residuos Líquidos en el Área Rural*, Quito: s.n.

Instituto Ecuatoriano de Normalización, 1997. *Código de Práctica para el Diseño de Sistemas de Abastecimiento, Disposición de Excretas y Residuos Líquidos en el Área Rural*, Quito: Código Ecuatoriano de la Construcción.

Johnny Ruiz & David Once, 2014. *Evaluación de las Plantas de Depuración de Agua Residual de las Comunidades de Soldados y Churuguzo*, Cuenca: s.n.



León Sanabria, D. F., 2011. *La Incidencia de las Aguas Residuales y Pluviales en la Salubridad de los Habitantes de la Comunidad Ishcayacu, Canton Santa Clara, Provincia de Pastaza, Ambato*: s.n.

López Cualla, R., 1997. *Elementos de Diseño para Acueductos y Alcantarillados*. Bogotá: Escuela Colombiana de Ingeniería.

Maita Abad, J., 2012. *Dimensionamiento de una planta de tratamiento de AR para la cabecera Parroquial de Lican, Chimborazo*: s.n.

Mara, D., 2003. *Domestic Wastewater Treatment in Developing Countries*. London : Earthscan.

Martin Garcia, I., 2006. *Guia sobre tratamientos de aguas residuales urbanas para pequeños núcleos de población*, España: Daute Diseño, S. L..

Metcalf & Eddy, 1995. *Ingeniería de Aguas Residuales Tratamiento, Vertido y Reutilización*. Madrid: McGraw Hill.

Metcalf & Eddy, 2003. *Wastewater Engineering Treatment and Reuse*. Hong Kong: Mc Graw Hill.

MSP & OPS, 2009. *Estrategia de Cooperación de País, de la OPS/OMS en Ecuador, Periodo 2010-2014*, s.l.: s.n.

Ordoñez, G., 2008. *Evaluación de los sistemas Urbano-Marginales y rurales de tratamiento de aguas residuales del Cantón Cuenca*, Cuenca: s.n.

Orozco S., C., s.f. *Tratamiento de Residuos del Cafe*, s.l.: s.n.

Patricio Morocho & Maria B. Arevalo, 2010. *Evaluación de la Planta de Depuración de Agua Residual que sirve a la parroquia Tarqui* , Cuenca: s.n.

PNUD, 2006. *Informe sobre Desarrollo Humano*, Madrid: Mundi-Prensa Libros S.A..

Rodríguez, J. A., s.f. *Tratamiento Anaerobio de Aguas Residuales*, Cali: s.n.

Romero Rojas, J. A., 2000. *Tratamiento de Aguas Residuales, Teoría y principios de Diseño*. Colombia: Escuela Colombiana de Ingeniería.

Sierra, J. H., 1987. *Análisis de Aguas y Aguas Residuales*. Medellín: s.n.

Sperling, M. V., 2007. *Wastewater Characteristics, Treatment and Disposal*. Londres, Inglaterra: IWA Publishing.

Suarez Marmolejo, C., 2010. *Tratamiento de Aguas Residuales Municipales en el Valle del Cauca*, Santiago de Cali: s.n.



Tchobanoglous, C. &., 2000. *Tratamiento de Aguas Residuales en Pequeñas Poblaciones*. Bogotá: Mc Graw Hill .



8 ANEXOS

ANEXO 1

ENCUESTA SANITARIA

EVALUACION DE LA PTAR DE LA COMUNIDAD

Comunidad: _____ Parroquia: _____, Cuenca

Encuesta #: _____ Fecha: _____

Nombres y Apellidos del encuestado:

DATOS DE LA VIVIENDA

1. Tipo de la edificación:

Vivienda ___ Comercio ___ otros _____

2. Material de la construcción:

Paredes _____

Cubierta _____

Piso _____

3. Número de pisos de la edificación: _____

4. Número de familias que habitan: _____

5. Número de personas que habitan la vivienda.

Permanentes: _____ Ocasionales: _____

De los habitantes permanentes

Cuántos son de la tercera edad: _____

Cuántos son adultos: _____

Cuántos son menores de 18 años _____

6. La vivienda cuenta con los siguientes elementos:

Jardín/huerta: Sí _____ No _____ Area aproximada _____

Fregadero de platos Sí _____ No _____

Ubicación del fregadero: Dentro de la vivienda _____ Fuera de la vivienda _____

Tanque de lavar: Sí _____ No _____

El tanque de lavar está: Dentro de la vivienda _____ Fuera de la vivienda _____

El tanque de lavar está conectado al alcantarillado: Sí _____ No _____

7. La vivienda tiene: Calefón: _____ Ducha eléctrica: _____ Ninguno: _____

8. Cuantos servicios higiénicos posee la vivienda: _____

9. Cuantos lavamanos (lavabos) posee la vivienda: _____

10. Cuantas duchas posee la vivienda: _____

SERVICIO DE ABASTECIMIENTO DE AGUA

11. Posee instalación domiciliaria: Sí _____ No _____

12. Si la respuesta es NO, especifique de donde se abastece: _____

13. Posee medidor: Sí _____ No _____

14. Nombre del titular del medidor: _____

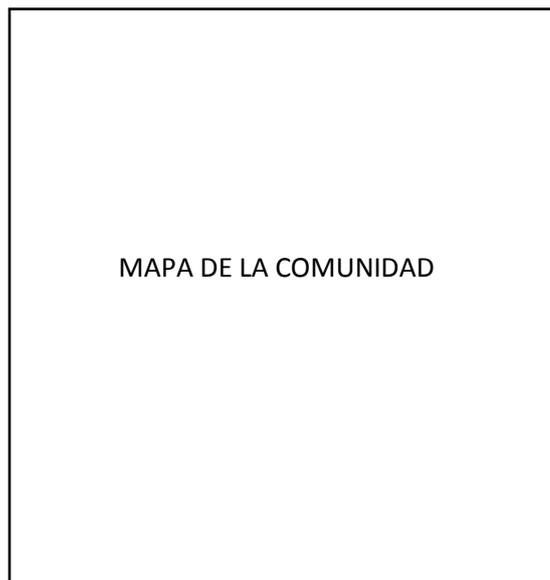
15. ¿Quién le brinda el servicio? Junta _____ ETAPA _____ Otro _____

16. Ud. considera que la cantidad de agua satisface sus necesidades:

Sí _____ No _____

17. Ud. considera que la presión del agua es: Alta _____ Baja _____

18. ¿Es el servicio de agua potable continuo? Sí _____ No _____



MAPA DE LA COMUNIDAD



19. Si la respuesta 17 es NO, cada cuanto tiempo dispone del servicio: _____
20. Ud. como considera la calidad del agua:
Buena _____ Regular _____ Mala _____
21. Aproximadamente, ¿cuánto paga mensualmente por el servicio de agua? _____
22. Dispone de agua para riego: Sí _____ No _____
23. En caso de ser afirmativa la respuesta 21:
Ésta se distribuye por: Canal _____ Tubería _____
En caso de ser tubería, la presión es: Alta _____ Baja _____
El costo es: Alto _____ Adecuado _____ Bajo _____
El flujo es: Constante _____ Intermitente _____
Usa ésta agua para el aseo de la casa: Sí _____ No _____

SERVICIO DE ALCANTARILLADO

24. Está conectado al sistema de alcantarillado: Si _____ No _____
25. Si la respuesta es NO, de qué dispone:
Pozo séptico _____ Letrina _____ Otros _____

HÁBITOS DE LOS USUARIOS

26. Alimentación diaria en casa:
Cuantas personas desayunan en la vivienda: _____
Cuantas personas almuerzan en la vivienda: _____
Cuantas personas merienda en la vivienda: _____
27. Sin considerar la cocción de alimentos y el baño, ¿En qué actividades usa el Agua y con qué frecuencia?

Actividad	Frecuencia
_____	_____
_____	_____
_____	_____
_____	_____
_____	_____
_____	_____

ENCUESTADOR

27. Estado de la vivienda:
Nueva _____ Buena _____ Regular _____ Mala _____
28. Tronera (Desagüe) en el patio: Si _____ No _____ # _____
29. El agua del patio va hacia la red: Si _____ No _____
30. Canales de cubierta: Si _____ No _____
31. El agua de la cubierta va hacia la red: Si _____ No _____

Encuestador: _____ Firma: _____

OBSERVACIONES

ANEXO 2

Resultados de los análisis de la muestra compuesta de la PTAR Macas

LABORATORIO DE SANEAMIENTO Panamericana Norte Km. 5 y 1/2. – Cuenca Telf : 4175557 - 4175568	Laboratorio de Ensayo Acreditado por el OAE con Acreditación N° OAE LE 2C 06-004	INFORME DE RESULTADOS Página 1 de 1
---	---	---

FECHA: 2015/03/11

INFORME N°: 102/15

CLIENTE

NOMBRE: ING. JOSUE LARRIVA
 DIRECCIÓN: Panamericana Norte Km 5 ½ - Cuenca

MUESTRA

CODIGO: 102/01-02/15
 DESCRIPCIÓN: Agua Residual Doméstica
 PROCEDENCIA: PTAR Macas - Quingeo
 FECHA DE RECEPCIÓN: 2015/03/03
 ENTREGADAS POR: Sr. Adrián Guamán

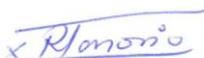
RESULTADOS

PARAMETRO	METODO	FECHA REALIZACION	UNIDADES	1A- ENTRADA DE LA PLANTA 102/01/15	1B- SALIDA DE LA PLANTA 102/02/15
ALCALINIDAD TOTAL *	SM 2320 B	2015/03/03	mgCaCO3/l	87.78	83.79
CLORUROS *	SM 4500 Cl C	2015/03/03	mg/l	10.76	12.91
DBO5	PEE/LS/FQ/01	2015/03/03 2015/03/08	mg/l	35	22
DQO	PEE/LS/FQ/06	2015/03/03	mg/l	100	57
NITRATOS *	SM 4500 NO3 E	2015/03/06	mgN/l	0.62	0.09
NITROGENO AMONIAICAL *	SM 4500 NH3 C	2015/03/09	mg/l	10.61	8.38
pH	PEE/LS/FQ/07	2015/03/03		7.13	7.32
SÓLIDOS SEDIMENTABLES *	SM 2540 F	2015/03/03	ml/l	0.5	0.0
SÓLIDOS SUSPENDIDOS	PEE/LS/FQ/04	2015/03/03	mg/l	61	15
SÓLIDOS TOTALES	PEE/LS/FQ/05	2015/03/03	mg/l	281	303
SÓLIDOS DISUELTOS *	Por diferencia	2015/03/03	mg/l	220	288
COLIFORMES TOTALES *	SM 9221 E	2015/03/03 2015/03/05	NMP/ 100 ml	9.2E+06	>1.6E+06
COLIFORMES TERMOTOLERANTES *	SM 9221 E	2015/03/04 2015/03/06	NMP/ 100 ml	9.2E+06	1.6E+06

SM: STANDARD METHODS, Edición 22

PARÁMETRO	DBO5	DQO (>100)	DQO (<100)	SÓLIDOS SUSPEND.	SÓLIDOS TOTALES	pH
INCERTIDUMBRE	18.12 % (95 %, k=1.96)	12.7% (95 %, k=1.96)	13.05% (95 %, k=1.99)	10.76% (95 %, k=1.96)	17.21 % (95 %, k=1.96)	3.03 % (95 %, k=2.01)

Atentamente,


 Ing. Andrea Arévalo
 RESPONSABLE DEL LABORATORIO

- Los resultados contenidos en el presente informe solo afectan a los objetos sometidos al ensayo.
- Este informe no deberá reproducirse parcialmente sin la aprobación por escrito del laboratorio.
- "Los ensayos marcados con (*) NO están incluidos en el alcance de la acreditación del OAE"

MC0406-13

ANEXO 3

Puntos de acceso de agua de precipitación a la red de alcantarillado



Presencia de ramas, hojas y envolturas de caramelos en la fosa séptica.





ANEXO 4

Resultados de los análisis de las muestras de la PTAR San Pedro
Muestreo 1

LABORATORIO DE SANITARIA

RESULTADOS DE ANALISIS FISICO-QUIMICO DE AGUA	
Muestra procedencia:	Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de la Comunidad de "San Pedro"- Parroquia Santa Ana - Azuay.
Tipo de fuente:	Aguas Residuales
Fecha de toma y análisis:	22 de Enero de 2015
Análisis solicitado por:	Sr. Adrián Guamán - Sr. Manuel Molina

PARAMETROS	1A	1B	1C	UNIDAD	OBSERVACIONES
	Entrada a la Planta	Salida de la Fosa	Salida de la Planta		
Hora	7:00:00	7:00:00	7:00:00		
Parámetros Físicos					
CONDUCTIVIDAD	2260,0	994,0	1080,0	microsiemens/ cm	
Parámetros Químicos					
PH	9,22	7,53	7,95		
ALCALINIDAD TOTAL	806,0	402,2	481,2	mg/l, CaCO3	
ALCALINIDAD FENOLFTALEINA	20,4	0,0	0,0	mg/l, CaCO3	
CLORUROS	260,0	69,6	71,4	mg/l	
N. NITRATOS	0,453	0,187	0,180	mg/l	como Nitrógeno
N.AMONIACAL	95,09	67,83	77,14	mg/l	como Nitrógeno
FOSFORO REACTIVO	50,00	13,00	13,40	mg/l	como Fósforo
DEMANDA BIOQUIMICA DE OXIGENO	990,0	46,0	16,0	mg/l	
DEMANDA QUIMICA DE OXIGENO	1832,64	131,47	83,66	mg/l	
SOLIDOS SUSPENDIDOS SEDIMENTABLES	16,0	0,6	0,0	ml/L	
SOLIDOS TOTALES	2281,0	428,0	380,0	mg/l	
SOLIDOS TOTALES FIJOS	765,0	257,0	271,0	mg/l	
SOLIDOS TOTALES VOLATILES	1516,0	171,0	109,0	mg/l	
SOLIDOS DISUELTOS TOTALES	2083,0	355,0	353,0	mg/l	
SOLIDOS DISUELTOS FIJOS	745,0	245,0	267,0	mg/l	
SOLIDOS DISUELTOS VOLATILES	1338,0	110,0	86,0	mg/l	
SOLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES	198,0	73,0	27,0	mg/l	
SOLIDOS SUSPENDIDOS FIJOS	20,0	12,0	4,0	mg/l	
SOLIDOS SUSPENDIDOS VOLATILES	178,0	61,0	23,0	mg/l	
Parámetros Bacteriológicos					
COLIFORMES TOTALES	4,00E+10	6,10E+07	6,10E+07	NMP/100 ml	24H- 37°C
E. COLI	1,70E+09	2,00E+06	4,00E+06	NMP/100 ml	24H- 37°C

Responsable:

Dra. Guillermina Pauta C.
QUIMICO-ANALISTA

UNIVERSIDAD DE CUENCA
desde 1867

UNIVERSIDAD DE CUENCA
Facultad de Ingeniería
LABORATORIO DE
INGENIERIA SANITARIA



LABORATORIO DE SANITARIA

RESULTADOS DE ANALISIS FISICO-QUIMICO DE AGUA	
Muestra procedencia:	Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de la Comunidad de "San Pedro".- Parroquia Santa Ana.- Azuay.
Tipo de fuente:	Aguas Residuales
Fecha de toma y análisis:	22 de Enero de 2015
Análisis solicitado por:	Sr. Adrián Guamán - Sr. Manuel Molina

PARAMETROS	2A	2B	2C	UNIDAD	OBSERVACIONES
	Entrada a la Planta	Salida de la Fosa	Salida de la Planta		
Hora	11:00:00	11:00:00	11:00:00		
Parámetros Físicos					
CONDUCTIVIDAD	635,0	985,0	1073,0	microsiemens/ cm	
Parámetros Químicos					
PH	8,28	7,44	7,88		
ALCALINIDAD TOTAL	251,2	402,8	472,6	mg/l, CaCO3	
ALCALINIDAD FENOLFTALEINA	0,0	0,0	0,0	mg/l, CaCO3	
CLORUROS	46,4	65,3	62,5	mg/l	
N. NITRATOS	0,637	0,205	0,191	mg/l	como Nitrógeno
N.AMONIACAL	26,20	65,83	30,59	mg/l	como Nitrógeno
FOSFORO REACTIVO	23,50	12,90	13,90	mg/l	como Fósforo
DEMANDA BIOQUIMICA DE OXIGENO	285,00	44,25	18,0	mg/l	
DEMANDA QUIMICA DE OXIGENO	720,0	354,6	84,0	mg/l	
SOLIDOS SUSPENDIDOS SEDIMENTABLES	10,0	0,6	0,0	ml/L	
SOLIDOS TOTALES	617,0	377,0	367,0	mg/l	
SOLIDOS TOTALES FIJOS	220,0	248,0	246,0	mg/l	
SOLIDOS TOTALES VOLATILES	397,0	129,0	121,0	mg/l	
SOLIDOS DISUELTOS TOTALES	498,0	340,0	339,0	mg/l	
SOLIDOS DISUELTOS FIJOS	215,0	245,0	242,0	mg/l	
SOLIDOS DISUELTOS VOLATILES	283,0	95,0	97,0	mg/l	
SOLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES	119,0	37,0	28,0	mg/l	
SOLIDOS SUSPENDIDOS FIJOS	5,0	3,0	4,0	mg/l	
SOLIDOS SUSPENDIDOS VOLATILES	114,0	34,0	24,0	mg/l	
Parámetros Bacteriológicos					
COLIFORMES TOTALES	1,10E+09	8,10E+06	6,10E+06	NMP/100 ml	24H- 37°C.
E. COLI	1,10E+09	4,50E+05	2,00E+05	NMP/100 ml	24H- 37°C.

Responsable:

Dra. Guillermina Pauta C.
QUIMICO-ANALISTA

UNIVERSIDAD DE CUENCA
Facultad de Ingeniería
LABORATORIO DE
INGENIERIA SANITARIA



LABORATORIO DE SANITARIA

RESULTADOS DE ANALISIS FISICO-QUIMICO DE AGUA	
Muestra procedencia:	Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de la Comunidad de "San Pedro" - Parroquia Santa Ana - Azuay.
Tipo de fuente:	Aguas Residuales
Fecha de toma y análisis:	22 de Enero de 2015
Análisis solicitado por:	Sr. Adrián Guamán - Sr. Manuel Molina

PARAMETROS	3A	3B	3C	UNIDAD	OBSERVACIONES
	Entrada a la Planta	Salida de la Fosa	Salida de la Planta		
Hora	16:00:00	16:00:00	16:00:00		
Parámetros Físicos					
CONDUCTIVIDAD	507,0	980,0	1070,0	microsiemens/ cm	
Parámetros Químicos					
PH	8,23	7,60	8,01		
ALCALINIDAD TOTAL	209,0	408,4	494,6	mg/l, CaCO3	
ALCALINIDAD FENOLFTALEINA	0,0	0,0	0,0	mg/l, CaCO3	
CLORUROS	39,5	59,1	63,6	mg/l	
N. NITRATOS	0,485	0,156	0,225	mg/l	como Nitrógeno
N. AMONIACAL	25,80	58,52	3,24	mg/l	como Nitrógeno
FOSFORO REACTIVO	8,20	13,20	14,40	mg/l	como Fósforo
DEMANDA BIOQUIMICA DE OXIGENO	68,5	48,0	22,0	mg/l	
DEMANDA QUIMICA DE OXIGENO	140,0	108,0	80,0	mg/l	
SOLIDOS SUSPENDIDOS SEDIMENTABLES	0,0	0,0	0,0	ml/L	
SOLIDOS TOTALES	339,0	351,0	94,0	mg/l	
SOLIDOS TOTALES FIJOS	202,0	249,0	12,0	mg/l	
SOLIDOS TOTALES VOLATILES	137,0	102,0	82,0	mg/l	
SOLIDOS DISUELTOS TOTALES	304,0	332,0	85,0	mg/l	
SOLIDOS DISUELTOS FIJOS	199,0	246,0	10,0	mg/l	
SOLIDOS DISUELTOS VOLATILES	105,0	86,0	75,0	mg/l	
SOLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES	35,0	19,0	9,0	mg/l	
SOLIDOS SUSPENDIDOS FIJOS	3,0	3,0	2,0	mg/l	
SOLIDOS SUSPENDIDOS VOLATILES	32,0	16,0	7,0	mg/l	
Parámetros Bacteriológicos					
COLIFORMES TOTALES	1,20E+08	1,70E+06	1,10E+06	NMP/100 ml	24H- 37°C.
E. COLI	6,30E+07	9,30E+05	3,30E+05	NMP/100 ml	24H- 37°C.

Responsable:

Dra. Guillermina Paula C.
QUIMICO-ANALISTA

UNIVERSIDAD DE CUENCA
Facultad de Ingeniería
LABORATORIO DE
INGENIERIA SANITARIA

Muestreo 2

LABORATORIO DE SANITARIA

RESULTADOS DE ANALISIS FISICO-QUIMICO DE AGUA	
Muestra procedencia:	Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de la Comunidad de "San Pedro" - Parroquia Santa Ana - Azuay.
Tipo de fuente:	Aguas Residuales, con periodos de retención hidráulica.
Fecha de toma y análisis:	19 de Febrero de 2015
Análisis solicitado por:	Sr. Adrián Guamán - Sr. Manuel Molina

PARAMETROS	1A	1B	1C	UNIDAD	OBSERVACIONES
	Entrada a la Planta	Salida de la Fosa	Salida de la Planta		
Fecha y hora	19 de febrero 7:00H	20 de febrero 8:00H	20 de febrero 16:00H		
Parámetros Físicos					
CONDUCTIVIDAD	1427,0	1023,0	1040,0	microsiemens/ cm	
Parámetros Químicos					
PH	9,24	7,21	7,82		
ALCALINIDAD TOTAL	503,6	388,4	396,4	mg/l, CaCO3	
ALCALINIDAD FENOLFTALEINA	44,2	0,0	0,0	mg/l, CaCO3	
CLORUROS	132,6	60,7	60,9	mg/l	
N. NITRATOS	0,618	0,391	0,195	mg/l	como Nitrógeno
N.AMONIACAL	*	3,46	4,00	mg/l	como Nitrógeno
FOSFORO REACTIVO	0,91	0,95	0,53	mg/l	como Fósforo
DEMANDA BIOQUIMICA DE OXIGENO	580,0	52,0	25,25	mg/l	
DEMANDA QUIMICA DE OXIGENO	2038,40	160,72	113,68	mg/l	
SOLIDOS SUSPENDIDOS SEDIMENTABLES	15,0	0,1	0,0	ml/L	
SOLIDOS TOTALES	1236,0	422,0	385,0	mg/l	
SOLIDOS TOTALES FIJOS	460,0	288,0	279,0	mg/l	
SOLIDOS TOTALES VOLATILES	776,0	134,0	106,0	mg/l	
SOLIDOS DISUELTOS TOTALES	1007,0	379,0	364,0	mg/l	
SOLIDOS DISUELTOS FIJOS	435,0	277,0	271,0	mg/l	
SOLIDOS DISUELTOS VOLATILES	572,0	102,0	93,0	mg/l	
SOLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES	229,0	43,0	21,0	mg/l	
SOLIDOS SUSPENDIDOS FIJOS	25,0	11,0	8,0	mg/l	
SOLIDOS SUSPENDIDOS VOLATILES	204,0	32,0	13,0	mg/l	
Parámetros Bacteriológicos					
COLIFORMES TOTALES	1,60E+12	2,20E+07	2,80E+07	NMP/100 ml	24H- 37°C.
E. COLI	3,50E+11	2,20E+07	1,70E+07	NMP/100 ml	24H- 37°C.

* No se pudo determinar.

Responsable:


Dra. Guillermina Pauta C.
QUIMICO-ANALISTA

UNIVERSIDAD DE CUENCA
Facultad de Ingeniería
LABORATORIO DE
ING. NITRATA SANITARIA

ANEXO 5

Gran cantidad de materia orgánica retenida en el pozo P2



Presencia de hojas en la cámara de la rejilla



Lecho de secado de lodos cubierto de vegetación





ANEXO 6

Composición típica del agua residual domestica según Metcalf & Eddy

Contaminantes	Unidades	Concentración		
		Débil	Media	Fuerte
Solidos Totales (ST)	mg/l	350	720	1200
Disueltos Totales (SDT)	mg/l	250	500	850
Fijos	mg/l	145	300	525
Volátiles	mg/l	105	200	325
Sólidos en suspensión (SS)	mg/l	100	220	350
Fijos	mg/l	20	55	75
Volátiles	mg/l	80	165	275
Solidos Sedimentables	mg/l	5	10	20
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO5)	mg/l	110	220	400
Carbono Orgánico Total (COT)	mg/l	80	160	290
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg/l	250	500	1000
Nitrógeno (total en la forma N)	mg/l	20	40	85
Amoniaco Libre	mg/l	12	25	50
Nitratos	mg/l	0	0	0
Fosforo (total en la forma P)	mg/l	4	8	15
Cloruros	mg/l	30	50	100
Sulfato	mg/l	20	30	50
Alcalinidad	mg/l	50	100	200
Coliformes totales	n°/100ml	10E6 - 10E7	10E7 - 10E8	10E7 - 10E9

ANEXO 7

Límites de descarga a un cuerpo receptor de agua dulce (TULAS)

Parámetros	Expresado como	Unidad	Límite máximo permisible
Aceites y Grasas.	Sustancias solubles en hexano	mg/l	0,3
Alkil mercurio		mg/l	No detectable
Aldehidos		mg/l	2,0
Aluminio	Al	mg/l	5,0
Arsénico total	As	mg/l	0,1
Bario	Ba	mg/l	2,0
Boro total	B	mg/l	2,0
Cadmio	Cd	mg/l	0,02
Cianuro total	CN ⁻	mg/l	0,1
Cloro Activo	Cl	mg/l	0,5
Cloroformo	Extracto carbón cloroformo ECC	mg/l	0,1
Cloruros	Cl ⁻	mg/l	1 000
Cobre	Cu	mg/l	1,0
Cobalto	Co	mg/l	0,5
Coliformes Fecales	Nmp/100 ml		[§] Remoción > al 99,9 %
Color real	Color real	unidades de color	* Inapreciable en dilución: 1/20
Compuestos fenólicos	Fenol	mg/l	0,2
Cromo hexavalente	Cr ⁺⁶	mg/l	0,5
Demanda Bioquímica de Oxígeno (5 días)	D.B.O ₅	mg/l	100
Demanda Química de Oxígeno	D.Q.O.	mg/l	250
Dicloroetileno	Dicloroetileno	mg/l	1,0
Estaño	Sn	mg/l	5,0
Fluoruros	F	mg/l	5,0
Fósforo Total	P	ma/l	10
Sulfatos	SO ₄ ⁻	mg/l	1000
Sulfitos	SO ₃	mg/l	2,0
Sulfuros	S	mg/l	0,5
Temperatura	°C		< 35
Tensoactivos	Sustancias activas al azul de metileno	mg/l	0,5
Tetracloruro de carbono	Tetracloruro de carbono	mg/l	1,0
Tricloroetileno	Tricloroetileno	mg/l	1,0
Vanadio		mg/l	5,0
Zinc	Zn	mg/l	5,0

* La apreciación del color se estima sobre 10 cm de muestra diluida.

Parámetros	Expresado como	Unidad	Límite máximo permisible
Nitrógeno Total Kjeldahl	N	mg/l	15
Organoclorados totales	Concentración de organoclorados totales	mg/l	0,05
Organofosforados totales	Concentración de organofosforados totales.	mg/l	0,1
Plata	Ag	mg/l	0,1
Plomo	Pb	mg/l	0,2
Potencial de hidrógeno	pH		5-9
Selenio	Se	mg/l	0,1
Sólidos Sedimentables		ml/l	1,0
Sólidos Suspendidos Totales		mg/l	100
Sólidos totales		mg/l	1 600
Hierro total	Fe	mg/l	10,0
Hidrocarburos Totales de Petróleo	TPH	mg/l	20,0
Manganeso total	Mn	mg/l	2,0
Materia flotante	Visibles		Ausencia
Mercurio total	Hg	mg/l	0,005
Níquel	Ni	mg/l	2,0
Nitratos + Nitritos	Expresado como Nitrógeno (N)	mg/l	10,0